

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**BALANÇO DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E VARIÁVEIS DE
CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO SEMIPERENE, CULTIVAR BRS 200**

RAIMUNDO DE SÁ BARRETO GRANGEIRO

CAMPINA GRANDE – PB
SETEMBRO DE 2004

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BALANÇO DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E VARIÁVEIS DE
CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO SEMIPERENE, CULTIVAR BRS-200

AUTOR: RAIMUNDO DE SÁ BARRETO GRANGEIRO

SETEMBRO – 2004

RAIMUNDO DE SÁ BARRETO GRANGEIRO

**BALANÇO DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E VARIÁVEIS DE
CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO SEMIPERENE, CULTIVAR BRS 200**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Meteorologia da Universidade Federal de Campina
Grande em cumprimento às exigências para a
obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia

Sub-Área: Agrometeorologia

Orientador(es): Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Campina Grande – PB

Setembro/2004



G757b Grangeiro, Raimundo de Sá Barreto.
Balanço de energia, evapotranspiração e variáveis de crescimento do algodoeiro semiperene, cultivar BRS 200 / Raimundo de Sá Barreto Grangeiro. - Campina Grande, 2004. 68 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2004.

"Orientação : Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva".

Referências.

1. Meteorologia Agrícola. 2. Algodoeiro Semiperene. 3. Cultivar BRS 200. 4. Balanço de Energia. 5. Evapotranspiração. 6. Dissertação - Meteorologia. I. Azevedo, Pedro Vieira de. II. Silva, Bernardo Barbosa da. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 551.5:63(043)

RAIMUNDO DE SÁ BARRETO GRANGEIRO

BALANÇO DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DO
ALGODOEIRO SEMIPERENE, CULTIVAR BRS – 200 MARROM

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/10/2004

BANCA EXAMINADORA



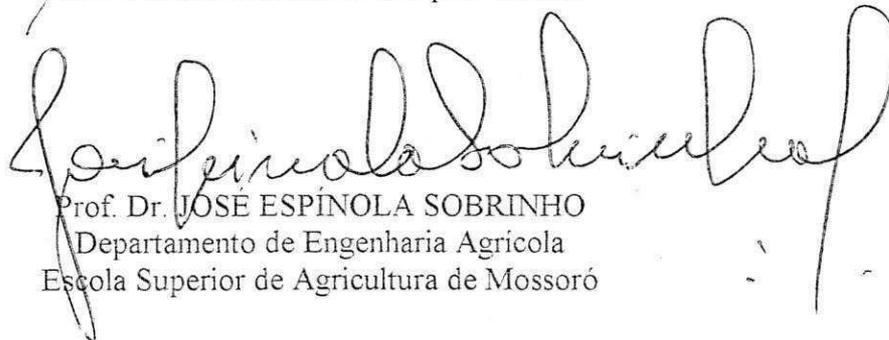
Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO
Departamento de Engenharia Agrícola
Escola Superior de Agricultura de Mossoró

DEDICATÓRIA

A Deus criador do universo, luz e guia do meu caminho e o grande responsável por minha existência. Aos meus pais Raimundo Filgueiras de Sá Barreto e Maria Miranda de Sá Barreto, responsáveis pela minha vinda ao mundo, pelo amor e dedicação, agradeço de coração por tudo que fizeram por mim.

À minha esposa Maria Zélia de Sá Barreto que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me em todos os momentos desta minha caminhada.

Às minhas filhas, continuidade da minha vida na Terra: Clara Meline de Sá Barreto Grangeiro, Morgana de Sá Barreto Grangeiro e Marine de Sá Barreto Grangeiro.

Aos colegas de Mestrado que estiveram sempre ao meu lado, bem como à secretária do Curso de Mestrado em Meteorologia Divanete Rolim Cruz.

Aos meus irmãos Francisco Filgueiras de Sá Barreto e Antonio Odoton de Sá Barreto, que muito ajudaram na minha formação moral e intelectual.

À Francisco Adávio de Sá Barreto e Lindete Leite de Sá Barreto, alicerce de minha formação cultural.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC, pela cooperação e oportunidade, sem o qual seria impossível realizar este curso, em especial ao Diretor Presidente Dr. Antonio Amaury Oriá Fernandes.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 'Embrapa-Algodão', pela indispensável cooperação, custeando as despesas de execução do experimento, sem a qual seria impossível realizar os trabalhos de campo; aos técnicos José Rodrigues Pereira, Dalfran Gonçalves Valle, Francisco das Chagas Vidal Neto, José Nilson de Oliveira, Tarcísio Marcos de Souza Gondim e, em especial, ao doutorando José Renato Cortez Bezerra pela dedicação, espontaneidade e préstezza dispensados durante a realização deste trabalho.

Aos colegas da Unidade Descentralizada do CENTEC-Cariri, nas pessoas do prof. Wagner Borges Machado, Antonio Araújo, José Araújo, Vilma Sudério, Hilton Luís Leite Cruz, Ademar Gonçalves Mota, José Ronaldo da Cruz e ao aluno estagiário Paulo Sérgio Saraiva de Lima pelo apoio dado durante a execução da pesquisa.

Ao Prof. João Hilário Coelho Correia pela colaboração na tradução do resumo.

Aos Doutores do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo (orientador), por sua paciência, ajuda e encorajamento durante o curso e ao Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva (Orientador e Coordenador do Curso), Prof. Dr. Renilson Targino Dantas, Prof. Dr. Enio Pereira de Souza, Prof^a. Dr.^a Célia Campos Braga.

Aos colegas de turma, Marcus Vinícius Bezerra e Airuska Kelly, que foram muito importantes durante o curso.

RESUMO

Realizou-se um experimento de campo na fazenda experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Algodão, no município de Barbalha-CE, (07°18'39''S; 39°23'39''W; 415,7 m) de agosto a dezembro de 2003, com o objetivo de avaliar os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração em um cultivo de algodão geneticamente colorido, cultivar BRS 200 Marrom, irrigado, nas condições edafoclimáticas do Cariri cearense. Na área experimental foi montada uma torre micrometeorológica na qual foram instalados sensores para medição dos componentes do balanço de energia sobre a vegetação. Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (Datalogger 21X da Campbell Sci), programado para efetuar leituras a cada 5 segundos e extrair médias a intervalos de 20 minutos. Foram avaliadas algumas variáveis de crescimento como área foliar, índice de área foliar e altura de plantas, cujos valores máximos foram de 1.965,7 cm², 2,2 cm²/cm² e 75,1 cm, respectivamente. O ciclo fenológico da cultura foi dividido em quatro fases, com um consumo hídrico médio diário de 5,0 mm, 5,0 mm, 6,2 mm e 6,0 mm, nas fases I, II, III e IV, respectivamente. O volume total de água consumida pela cultura foi de 582,2 mm. Foram estudados os componentes do balanço de energia antes, durante e depois das irrigações, efetuadas por meio de sulcos entre as fileiras duplas, obtendo-se resultados semelhantes da radiação líquida, fluxo de calor latente, fluxo de calor no solo e fluxo de calor sensível, antes e depois das irrigações, ao passo que durante as irrigações todos os componentes do balanço de energia apresentaram redução. Foi analisado, também, o comportamento dos componentes do balanço de energia para dias com e sem nebulosidade em cada fase fenológica da cultura. Observou-se uma semelhança nas curvas com pequenas variações ao longo do período diurno. Verificou-se, ainda, que os valores máximos ocorreram por volta do meio-dia e que o saldo de radiação (R_n) foi superior aos demais componentes do balanço de energia. Entretanto, no final do ciclo os valores de R_n e LE se aproximaram muito, observando-se a mesma tendência para os valores de G e H. Porém, para dias com céu encoberto o saldo de radiação determinou o comportamento das curvas dos demais componentes com picos máximos por volta do meio-dia.

SUMÁRIO

Item	Página
Resumo	
Abstract	
Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
1. Introdução	1
2. Revisão bibliográfica	3
2.1 Considerações gerais sobre a cultura	3
2.2 Considerações sobre o balanço de energia	11
3. Material e métodos	15
3.1 Material	15
3.1.1 Área experimental	15
3.1.2 Clima da região	16
3.1.3 Cultura utilizada	16
3.1.4 Característica do solo da área experimental	17
3.1.5 Instrumentos meteorológicos utilizados	17
3.1.6 Caracteres morfológicos a serem estudados	18
3.1.7 Método de irrigação	19
3.1.8 Tratos culturais	19
3.1.9 Análise das variáveis de crescimento	19
3.2 Métodos	20
3.2.1 Balanço de energia sobre a cultura	20
3.2.2 Evapotranspiração	21
4. Resultados e Discussão	22
4.1 Comportamento do balanço de energia para as fases fenológicas do algodoeiro BRS 200	22
4.2 Comportamento dos componentes do balanço de energia para condições de céu claro e dias nublados.	24
4.3 Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS 200, antes, durante e depois da irrigação.	32

4.4 Comportamento dos componentes do balanço de energia para o ciclo do algodoeiro BRS 200.	35
4.5 Área foliar da planta	39
4.6 Índice de área foliar	41
4.7 Altura de plantas	43
4.8 Evapotranspiração	45
5. Conclusões	47
6. Referências Bibliográficas.	48

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1. Torre micrometeorológica contendo os sensores utilizados no cômputo dos dados do balanço de energia na área experimental. 18
- Figura 2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro, na fase I do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 25
- Figura 3. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade, na fase I do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 26
- Figura 4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro, na fase II do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 27
- Figura 5. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade, na fase II do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 28
- Figura 6. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro, na fase III do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 29
- Figura 7. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade, na fase III do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 30
- Figura 8. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro, na fase IV do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 31
- Figura 9. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade, na fase IV do ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200. 32
- Figura 10. Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS 200, antes da irrigação. 33
- Figura 11. Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS-200, durante a irrigação. 33
- Figura 12. Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS 200, depois da irrigação. 34

LISTA DE TABELAS

Página

- Tabela 1. Variação estacional dos valores médios diurnos do fluxo de calor latente (LE), saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G) e fluxo de calor sensível (H) para as diferentes fases da cultura do algodoeiro BRS-200 em Barbalha-CE, 2003. 23
- Tabela 2. Valores morfológicos médios dos parâmetros de crescimento: altura de plantas, área foliar e índice de área foliar do algodoeiro BRS-200 em Barbalha-CE, 2003. 41
- Tabela 3. Valores diurnos médios, mínimos e máximos da evapotranspiração, do consumo hídrico de cada fase fenológica e do ciclo total do algodoeiro BRS-200 em Barbalha-CE, 2003. 46

Figura 13. Comportamento do balanço de energia para a Fase I do ciclo do algodoeiro BRS 200.	36
Figura 14. Comportamento do balanço de energia para a Fase II do ciclo do algodoeiro BRS 200.	37
Figura 15. Comportamento do balanço de energia para a Fase III do ciclo do algodoeiro BRS 200.	38
Figura 16. Comportamento do balanço de energia para a Fase IV do ciclo do algodoeiro BRS 200.	39
Figura 17. Área foliar das plantas em função do dias após a emergência.	41
Figura 18. Índice de área foliar do algodoeiro BRS 200, em função do número de dias após a emergência.	43
Figura 19. Altura de plantas do algodoeiro BRS 200, em função do número de dias após a emergência.	44

1. INTRODUÇÃO

Dentre as fibras têxteis naturais ou artificiais o algodão é a mais importante, quer seja em quantidade e ou qualidade, com um valor econômico bastante elevado, sendo responsável por um grande número de empregos no campo e na indústria. Para que o produtor obtenha sucesso é preciso que ele tenha conhecimento da cultura, bem como de toda a cadeia produtiva do agro-negócio do algodão.

Em decorrência das irregularidades pluviométricas, o cultivo de algodão em áreas irrigadas vem se expandindo consideravelmente, principalmente o algodão herbáceo de alta produtividade; em especial, a cultivar BRS 200 marrom, tendo em vista ser uma variedade de fibra geneticamente colorida, reduzindo assim custos na indústria com o tingimento.

O fornecimento de água à planta através da irrigação vem suprir as suas necessidades hídricas, podendo assim, a planta atingir todo o seu potencial genético produtivo. O algodoeiro não suporta solos encharcados em razão da falta de oxigênio parcial ou total, provocando sérios danos ao seu metabolismo, conforme o estágio de desenvolvimento da planta. Por outro lado, a duração do encharcamento pode afetar o seu rendimento. Essa é uma das razões pela qual necessita-se de um maior aprofundamento no estudo das necessidades hídricas da cultura, para que se possa atingir a otimização de uso da água.

O algodão é também cultivado sob condições de sequeiro e/ou com irrigação complementar. Mesmo sendo uma cultura tolerante a pequenos veranicos, estes provocam retardamento no seu desenvolvimento, prolongando suas atividades produtivas. Chuvas intensas podem causar acamamento das plantas e na fase de floração provocam abortamento dos botões florais e maçãs mais jovens, bem como, chuvas ininterruptas no período de floração, prejudicam a polinização e a qualidade da fibra.

O Nordeste brasileiro apresenta clima bastante favorável à exploração de várias culturas principalmente pela disponibilidade de energia, embora haja restrições hídricas (precipitação). Porém, o desenvolvimento da cultura pode ser assegurado suprindo-se as suas necessidades hídricas através da irrigação, razão pela qual é preciso a adoção de técnicas de manejo e controle de água, em qualidade e quantidade, garantindo assim, a sustentabilidade agrícola (Silva, 1994).

O crescimento e o desenvolvimento das plantas levam em conta o fato de que 90% em média da matéria seca acumulada pelas plantas durante o seu crescimento, originam-se da atividade fotossintética, a qual pode ser afetada pela disponibilidade da radiação solar, sendo que as demais atividades estão relacionadas com a absorção de nutrientes do solo.

O crescimento da planta pode ser estimado através das variações em tamanho de alguns órgãos ou da planta como um todo. Na maioria das vezes pelo o aspecto morfológico, do ponto de vista fisiológico o acúmulo da matéria fotossintética líquida é considerado da maior importância para análise de crescimento.

A energia solar é a principal fonte de energia para o meio ambiente e a principal responsável pelos processos fotossintéticos, bem como, pela produção e produtividade das plantas. Influencia no desenvolvimento vegetativo, na época de floração, frutificação, na cor, no odor e no sabor das frutas dos vegetais de um modo geral. Assim, o estudo do balanço de energia em superfícies vegetadas é fundamental na determinação da perda de água por evapotranspiração e no acúmulo de matéria seca pelos vegetais, bem como pela caracterização do seu microclima. A determinação do saldo de radiação em áreas vegetadas possibilita determinar estágios térmicos, hídricos e várias outras atividades biofísicas das plantas.

Este trabalho teve por objetivo avaliar os componentes do balanço de energia nas diversas fases fenológicas do algodoeiro colorido, cultivar BRS 200, bem como determinar a evapotranspiração da cultura através do balanço de energia para as condições edafoclimáticas da região sul do Estado do Ceará (cariri cearense).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Considerações gerais sobre a cultura

Os primeiros estudos sobre o algodão datam de muitos séculos antes de Cristo. Nas Américas, foram encontrados indícios desta planta no litoral norte do Peru, cujas evidências apontam que os povos milenares daquela região já utilizavam o algodão. A comunidade dos Incas atingiu a culminância com o artesanato têxtil, uma vez que diversas amostras de tecidos de algodão foram deixadas por eles, os quais se destacavam pela sua beleza, perfeição e combinação de cores.

Espécies e raças de algodões (*Gossypium spp*) produtoras de fibras coloridas são tão antigas quanto as produtoras de fibras brancas, tendo sido cultivadas por diversos povos da antiguidade como os Incas, os Astecas e outros povos que viveram na Ásia, na África e na Austrália (Freire, 1999). No Brasil pouco se sabe sobre a pré-história do algodão. No entanto, sabe-se que por ocasião do descobrimento do Brasil, os indígenas já o cultivavam e transformavam seus fios em tecidos (Rodrigues 2003). Dentre as fibras têxteis naturais e artificiais, o algodão é considerado como a mais importante, como também é a planta com maior aproveitamento, oferecendo os mais diversos produtos de utilização universal (Neves *et al.*, 1986).

Para que se obtenha sucesso com o cultivo do algodão é necessário que o produtor tenha uma visão holística da cultura, assim como o conhecimento da cadeia produtiva dentro do agronegócio do algodão, o que requer um planejamento da cultura a partir de um estudo de mercado visando o consumidor final. A partir do momento em que o algodão tomou aspecto de cultura econômica, tem figurado no grupo das atividades que trazem divisas para o nosso país.

O algodoeiro tem um desenvolvimento estrutural bastante complexo, com crescimento indeterminado dos ramos frutíferos e vegetativos. Na parte basal da folha da

haste principal existem duas ou raramente três gemas, onde uma delas é chamada de primeira axilar, a qual dá origem aos ramos vegetativos e ou frutíferos, uma segunda gema conhecida como segunda axilar comumente em estágio de dormência. A menos que haja algum problema de crescimento da primeira axilar, a segunda gema pode dá origem a um ramo. Para Maundy (1984) não é comum surgir uma terceira gema.

O crescimento dos ramos frutíferos é do tipo simpodial onde sua gema após produzir o prófílo (folha verdadeira) e o entre nó termina por uma flor. Já o crescimento dos ramos vegetativos é do tipo monopodial, cuja gema apical continua produzindo folhas indefinidamente até que, por um outro motivo qualquer ainda desconhecido pare de produzir.

O aparecimento do primeiro ramo frutífero com relação ao número de nós, difere de cultivar para cultivar, entre espécies, raças etc., podendo também sofrer influência do meio ambiente. No entanto, para o algodoeiro herbáceo a altura da inserção destes ramos se dá entre o terceiro e o sétimo nó.

Durante o período de desenvolvimento da planta há uma concorrência dentro da própria planta por carboidratos produzidos durante o processo fotossintético. Portanto, se ocorrer uma redução das partes produtivas conseqüentemente haverá um desenvolvimento vegetativo exagerado, havendo um auto-sombreamento, provocando queda das partes produtivas, afetando assim sua produtividade (Oosterhuis, 1922).

Imediatamente após a emergência, a planta é autotrófica, surgindo a primeira folha entre 6 e 8 dias após a germinação e a segunda entre 8 e 11 dias. O crescimento da planta depende de algumas condições básicas ao seu desenvolvimento como umidade do solo, luminosidade e temperatura. Segundo Souza & Silva (1992) as temperaturas ideais ao desenvolvimento vegetativo estão entre 27 e 32°C.

O algodão herbáceo tem o seu crescimento mais rápido até os 60 dias, sendo muito mais lento a partir dos 70 dias; de acordo com a carga genética da planta as primeiras flores podem aparecer dos 45 aos 55 dias. Nessa fase, os produtos fotossintéticos assimilados no estágio vegetativo poderão ser translocados para os órgãos florais, os quais são altamente competitivos (Souza & Silva, 1992).

Pode-se avaliar a precocidade de uma cultivar pelo número de nós, o que significa dizer que, quanto menor o número de nós para inserção do primeiro ramo frutífero, menor o ciclo do cultivar. No caso do algodão arbóreo de ciclo longo, o primeiro ramo frutífero surge a partir do décimo quinto nó, enquanto que nas cultivares precoces a inserção do

primeiro ramo frutífero é muito parecido com o algodão herbáceo, inserindo-se a partir do quinto nó (Souza & Silva, 1993).

O porte (altura média) de um cultivar é um fator genético da planta, mas que pode sofrer influência do meio ambiente tal como: umidade, fertilidade do solo, etc. Algumas variedades, dependendo das condições edafoclimáticas favoráveis, podem alcançar 2,5m; a cultivar “Rim de Boi” aos 3 anos pode atingir de 3 a 4m; algumas plantas podem atingir até 10m de altura, como também, existem variedades de porte bastante pequeno (Souza & Silva, 1993).

O surgimento dos primeiros botões florais e floração está relacionado ao crescimento vegetativo, em função dos diversos ramos frutíferos e dos pontos florais dos ramos. É necessário que haja um balanço, ou seja, um equilíbrio entre os ramos frutíferos e os ramos vegetativos para que ocorra uma boa produção, geralmente afetada pelas condições ambientais como fertilidade do solo, umidade etc. A temperatura é um fator climático que influencia bastante, desde a germinação da semente até a qualidade da fibra; a intensidade luminosa é um outro fator climático que exerce forte influência sobre a cultura do algodão.

Conforme Gridi-Papp (1965) a abertura das flores do algodão lembra uma espiral, onde as primeiras flores que se abrem são as do primeiro nó do primeiro ramo frutífero. Logo em seguida, abre-se a primeira flor do segundo ramo frutífero e assim sucessivamente, até chegar ao mesmo plano vertical do ramo frutífero; logo a seguir nasce a flor no segundo nó do primeiro ramo frutífero, a flor do segundo nó do segundo ramo frutífero, continuando assim nos demais nós. Parry (1982), estudando a abertura de flores no sentido horizontal em seis variedades de *Gossypium hirsutum* na África Central, observou que a abertura em um nó e no seguinte do mesmo ramo frutífero se deu entre 5 e 9 dias, já no sentido vertical em um nó do mesmo ramo, ou seja, em posição idêntica sobre o ramo imediatamente superior aconteceu entre 2 e 3,5 dias. Barreiro Neto *et al.* (1983) estudando a cultivar CNPA Acala-1 de origem nordestina, encontraram 8,8 dias como intervalo da floração horizontal e de 3,9 dias para a posição vertical, mas a abertura em forma de espiral pode sofrer alterações mudando-se a ordem de florescimento, caso ocorra queda de botões florais e diferenças das condições ambientais ao longo da fase de crescimento dos botões florais.

Após a abertura e polinização da flor, o fruto alcançará seu tamanho normal entre 21 e 25 dias e maturação das maçãs aos 40 dias. Segundo Grimes & El-Zik (1990), as sementes crescem até os 21 dias e completam sua maturação antes da abertura da maçã. O

número de flores que surgem é muito maior do que o número de capulhos produzidos, causados por diversos fatores como: flor mal fecundada, grande competição por assimilados, condições edafoclimáticas desfavoráveis, ocorrência de doenças e infestação de pragas etc.

Conforme as condições ambientais e a forma de condução da cultura, cerca de 80% das maçãs produzidas são oriundas dos primeiros dias da floração, ou seja, entre 21 e 41 dias (Grimes & EL-Zik, 1990).

A taxa de crescimento foliar é determinada pela intensidade luminosa. Então, havendo uma diminuição ou encurtamento do período de iluminação haverá conseqüentemente redução da área foliar. Portanto, considerando que todos os fatores climáticos que afetam a fotossíntese, também afetam a qualidade do produto o que torna necessário numa região produtora de algodão de alta qualidade, condições satisfatórias de temperatura e luminosidade.

Mesmo conhecendo os fatores climáticos que controlam as perdas de água pelas plantas e que afetam o desenvolvimento e o rendimento é de suma importância o conhecimento do comportamento fisiológico das plantas cultivadas sob determinadas condições climáticas. Estes fatores ambientais são representados pela temperatura, umidade do solo e pela energia disponível para os processos metabólicos e fisiológicos que ocorrem no interior da planta.

Vários estudos com alguns cultivares de algodão herbáceo plantado em jarros em casa de vegetação têm mostrado resultados semelhantes entre as cultivares estudadas em relação ao consumo de água, transpirando cerca de 46 litros de água por planta durante o seu ciclo. Observa-se, ainda diferenças significativas ao considerar a eficiência de uso da água na formação da biomassa, onde o consumo foi de 423g e 538g de água/grama de biomassa total (Souza & Silva, 1993). Ao comparar o algodoeiro á outras culturas, verifica-se que, para a produção de 1g de biomassa, o algodoeiro necessitou de 646g de água, enquanto o milho precisou apenas de 368g e o sorgo somente 322g (Ray *et al.*, 1974).

Segundo Grimes & EL-Zik (1990) "cut-out" é um fenômeno provocado por estresse hídrico ou térmico, o qual pode provocar redução no desenvolvimento e crescimento da planta, prejudicando na formação dos ramos frutíferos e na emissão dos botões florais, refletindo na quantidade e qualidade da produção (fibra).

Para Beltrão & Azevedo (1993) o algodão herbáceo teria uma capacidade genética produtiva em torno de 17.500 Kg/ha de algodão em caroço, isso considerando um peso

médio de 5g por capulho para um crescimento máximo possível. No entanto, alguns fatores ambientais internos e externos à planta, limitam essa produção. Como fatores externos pode-se citar a arquitetura da planta, caso seja muito plano-foliar, coeficiente de extinção da luz maior ou igual a unidade, área foliar, conformação e distância vertical entre folhas. Essas condições influenciam na alta incidência de luz, conseqüentemente em alta produtividade. Dentre os fatores internos pode-se citar a falta de sincronismo entre o período de desenvolvimento do fruto e o pico fotossintético das folhas, que é alcançada antes da máxima exigência, a alta taxa foto-respiratória (38% da fotossíntese em média), o máximo de compensação do CO₂ com a utilização mínima possível de nitrogênio.

A análise de crescimento é um elemento importante para o reconhecimento das plantas como entidade biológica qualquer que seja o sentido da exploração. Fica claro que a taxa fotossintética é um fator limitante ao crescimento e que é influenciada pela temperatura foliar. A fotossíntese aumenta com a temperatura até um certo ponto, decaindo à medida que as condições ambientais favoráveis são alcançadas, tornando-se desprezível mesmo até as altas temperaturas. Mota (1983) apresenta algumas diferenças básicas entre crescimento e desenvolvimento:

- i) crescimento é um aumento de volume ou peso em determinado órgão ou da planta como um todo, num certo intervalo de tempo ou até mesmo durante o seu ciclo:
- ii) desenvolvimento é o surgimento de uma determinada fase da vida da planta, o que nos leva a concluir que o crescimento pode ser mensurado, enquanto que o desenvolvimento é uma característica morfológica e fenológica da cultura.

Frota (1994) considera que a matéria seca total depende da magnitude da área foliar, da eficiência e duração da área fotossinteticamente ativa (RFA), onde a maior ocorrência é no limbo foliar. O tamanho da área foliar é importante para o estabelecimento da eficiência de produção da matéria seca.

A análise de crescimento da planta pode ser determinada por meio de índices tais como: a taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e o índice de área foliar (IAF).

Há uma estreita correlação entre o crescimento (altura) e o conteúdo de umidade na cultura do algodão (King, 1922). Eaton (1955) observou que o desenvolvimento e o crescimento das plantas de algodão se dá num intervalo de 5 a 8 semanas ou até mesmo por um período mais longo, principalmente para cultivares de algodão adaptados a dias curtos quando são trabalhados em condições de dias longos. No entanto, Gridi-Papp (1965)

observou que o crescimento da planta pode cessar quando submetida a temperaturas inferiores a 20°C e superiores a 37°C.

De acordo com Pearce et al. (1965) e Welbank et al. (1966), várias pesquisas foram realizadas sobre o crescimento em diversas culturas, enfocando o relacionamento das produções biológicas e econômicas entre o IAF e a área foliar. Pesquisadores como Williams et al.; (1965) concluíram que a área foliar para uma cultura qualquer é a principal medida de sua grandeza fotossintética, na qual sua produção é uma resultante da fotossíntese em função da proporcionalidade entre a superfície foliar e a razão fotossintética; é importante relacionar a variação da superfície foliar para que se possa estimar o rendimento fotossintético (Ometto, 1981).

A área foliar indica a capacidade fotossintética das plantas, razão pela qual tem sido utilizada em estudos da dinâmica da água e na assimilação do CO₂ e do nitrogênio. Assim, o desenvolvimento das plantas cultivadas fica estreitamente relacionado com altura e área foliar (Benbi, 1994). O desenvolvimento da área foliar pode ser expresso através do índice de área foliar (IAF), o qual é muito importante e sua variação pode ser usada para determinação da taxa de variação da produção de matéria seca. Em culturas de ciclo vegetativo curto, o IAF pode ser estimado através do número de dias após a semeadura ou poda (Azevedo *et al.*;1993).

Monteith (1965) e Anderson (1971) confirmaram no índice de área foliar como um parâmetro para definir uma cultura pela interceptação e penetração da radiação fotossinteticamente ativa, já que é necessário para a fotossíntese ou para modelo de crescimento da cultura (Arkin *et al.*, 1976 e Ross, 1970), como também, a divisão energética entre a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas (Kanemasu *et al.*; 1976 e Tanner & Jury, 1976).

Para Azevedo *et al.* (1993) o índice de área foliar é um parâmetro de crescimento importante para observações do comportamento fisiológico das plantas, sendo um forte indicador da taxa de crescimento, como também, da sua eficiência no uso da água pelas culturas.

Conforme Aase (1978) e Hodges & Kanemasu (1987), o acúmulo de matéria seca, a respiração e a fotossíntese podem ser definidos através do índice de área foliar, o qual varia durante a fenologia da cultura em virtude das atividades metabólicas e fotossintéticas das plantas. A área foliar é um parâmetro morfológico indispensável para se estudar qualquer cultura. O estudo desta variável fornece importantes e seguras informações a

respeito do crescimento, transpiração, assimilação e diversas outras informações relacionadas à absorção da radiação solar (Blackman, 1956; Monteith & Szeicz, 1962).

Para Shibles & Weber (1965), a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada está diretamente relacionada ao índice de área foliar (IAF) da cultura, bem como ao coeficiente de extinção (K), específico de cada espécie.

Para se avaliar parâmetros de crescimento é importante se conhecer a área foliar ocupada, pois é na folha onde ocorrem as reações químicas que se processam no vegetal, pela qual, pode-se estimar o potencial de assimilação da planta e até mesmo outros parâmetros que despertem interesse como a transpiração, o índice de área foliar, a taxa de assimilação líquida (Soukup *et al.*; 1986).

A disponibilidade de água no solo é muito importante em qualquer fase de desenvolvimento do algodoeiro, principalmente nas fases de floração e frutificação, quando aumentam as necessidades hídricas da planta (Salter & Good, 1967). Para Gates (1968) quando as plantas são desidratadas ocorrem diversas modificações morfológicas com alterações nos processos fisiológicos, o que levou Kramer (1969) a concluir que o material fresco continha de 80 a 95% de umidade, onde este percentual não compromete o armazenamento de água.

Ficher & Hagan (1965) e Hearn (1975) consideram o algodoeiro como uma planta bastante sensível ao déficit hídrico durante algumas fases do seu crescimento. Plantas localizadas em diferentes regiões também diferem entre si em vários aspectos, mesmo que exista alguma semelhança, o equilíbrio entre os pontos favoráveis e desfavoráveis, morfológicos e fisiológicos é que determinam o seu sucesso como concorrentes entre as demais plantas.

Há uma relação proporcional na transpiração entre a evaporação potencial e o índice de área foliar utilizada no Texas (EUA) para o sorgo e o algodão estudados por Ritchie & Brumet (1971). Ritchie (1974) criou uma fórmula empírica para determinar a evapotranspiração das culturas a partir de dados climáticos. Caso haja déficit hídrico no solo o desenvolvimento da cultura será calculado através do índice de área foliar.

O crescimento vegetativo da planta está condicionado a determinados processos fisiológicos, controlados pela expansão e divisão celular. Uma quantidade de água insuficiente na fase de crescimento, mantendo suas células flácidas, prejudica a divisão celular, inibindo assim, a expansão de todas as células (Hsiao, 1973). Há uma relação bastante complexa entre o estresse hídrico e o desenvolvimento dos vegetais em função do número de processos fisiológicos envolvidos e afetados de maneira e intensidade

diferentes. No entanto, o estresse hídrico atua direta e fisicamente diminuindo o crescimento das plantas pela redução na turgência celular (Hsiao, 1973), causando efeitos negativos, principalmente na fase inicial da expansão celular (Krudrev, 1994). Isso provoca uma grande redução na taxa de crescimento da área foliar, o qual é o primeiro sintoma de estresse hídrico na planta (Begg & Turner, 1976).

Para Monteith (1972) a produção de uma cultura está correlacionada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo do seu ciclo. As folhas das plantas expostas ao sol são as que recebem mais irradiação solar, a qual é absorvida e convertida em energia sensível, química e latente. Entretanto, Robertson (1973) acha que o crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem da temperatura acumulada acima da temperatura basal em detrimento ao número de dias do calendário.

Hodges & Kanemasu (1987) concluíram que a fotossíntese, a respiração e a produção de matéria seca podem ser expressas pelo índice de área foliar, o qual é obtido pela razão entre a área foliar e a área da copa da planta projetada sobre a superfície do solo. O índice de área foliar é também um parâmetro de fundamental importância quando utilizado como um indicador da taxa de crescimento e da capacidade de uso de água pelas culturas (Azevedo *et al.*, 1993).

De acordo com Ritchie (1974) o crescimento e o desenvolvimento da cultura é limitado pelo estresse hídrico da planta, ou seja, sofre influência do déficit hídrico do solo e do estresse atmosférico. Para as condições climáticas do semi-árido, o crescimento do algodão é bastante limitado pelas reservas de carboidratos armazenados (Souza *et al.*, 1983). Segundo Charles-Edwards (1982) é muito importante que a análise de crescimento das plantas esteja fundamentada na apreciação da eficiência de interceptação da radiação solar incidente e utilizada na reserva de matéria seca.

Para Ometto & Tubelis (1981) o aumento da área foliar e do número de folhas utilizadas na fotossíntese se dá de acordo com o crescimento da cultura, aumentando assim a absorção do CO₂, incentivando cada vez mais a evapotranspiração, aumentando a matéria seca que intrinsecamente vem a interagir nas relações planta meio ambiente. Relatado por Muchow (1985), nos primeiros 45 dias iniciais, a eficácia de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em matéria seca em duas cultivares de soja foi de 1,2 e 1,32 g/MJ.

Diversos aspectos semelhantes aos parâmetros de crescimento observados por Ferri (1986) foram analisados antes por Felipe *et al.* (1983), que analisaram medidas de

crescimento de diversas culturas, como também por Bergamaschi *et al.* (1988) que estudaram a cultura do feijão.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e o coeficiente de extinção (K) são parâmetros que exercem forte influência no desenvolvimento e longevidade da área foliar, como também no potencial de massa seca (Mayers *et al.*, 1991).

Payne *et al.* (1991) citam a relação entre matéria seca e área foliar como um importante parâmetro dos diversos fatores agronômicos e ecológicos, colocando-se a fotossíntese, a transpiração e o equilíbrio de energia do campo. Para Bergamaschi *et al.* (1988) um aumento no índice de área foliar propicia maior interceptação e fixação da energia luminosa por unidade foliar.

Segundo Gaastra (1958) o aumento da matéria seca numa determinada cultura depende do desenvolvimento e crescimento de sua área foliar. Mas Stoy (1983) enfatiza que o aumento da taxa fotossintética é importante para a determinação das taxas de crescimento. Milthorpe (1986) cita a importância da área foliar como fator limitante no crescimento e desconsidera a importância da taxa fotossintética, enquanto Stoy (1983) considera a taxa fotossintética como fator determinante da taxa de crescimento.

2.2 - Considerações sobre o balanço de energia

O balanço de energia foi estudado pela primeira vez em superfícies naturais por Bowen (1926), através da relação entre o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE) em uma superfície com água, com base na pressão de vapor e na temperatura obtida na superfície em estudo em função da evaporação, a qual foi denominada de razão de Bowen (β).

O método do balanço de energia tomou um grande impulso com o aparecimento do radiômetro e dos medidores de fluxos de calor no solo. Para Monteny (1972) quando usado em regiões semi-áridas, pode evidenciar a existência de alguma outra fonte de energia como a advecção, podendo superar em mais de 100% a evaporação. Esse fenômeno foi confirmado também por Rosenberg (1972) através de observações diárias de 12 mm de evapotranspiração para um saldo de energia correspondente à uma perda de apenas 6,7 mm para o mesmo espaço de tempo.

Segundo Jackson *et al.* (1985) é possível avaliar o fluxo de energia em áreas extensas através da combinação de sensores remotos com dados de superfície. Clothier *et al.* (1986) confirmam que a energia disponível e o fluxo de calor sensível podem ser analisados por medidas observadas em sensores remotos combinados com dados de

superfície, assim como, o fluxo de calor no solo pode ser determinado com bastante precisão a partir do saldo de radiação.

Para Azevedo *et al.* (1989), o comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, num cultivo de soja irrigada, é bastante afetado conforme o estresse hídrico da planta, bem como o fluxo de calor no solo que significou em média 5,68% do saldo de radiação e menos de 5% durante o desenvolvimento da cultura. A energia utilizada nos processos fotossintéticos representa 1,68% em média da energia líquida e valores bem menores que 3,62% para o período de máxima atividade fotossintética.

Cunha *et al.* (1996) ao estudarem a cultura do milho sob diversas condições evaporativas atmosféricas verificaram que entre os componentes do balanço de energia, o fluxo de calor no solo mostrou-se como o de menor valor em termos absoluto, variando entre 3% e 12% da energia disponível, bem como uma relação inversa com o índice de área foliar.

Teixeira *et al.* (1997) estudando a cultura da videira em Petrolina-PE determinaram a energia líquida superior (R_{ns}) e inferior (R_{ni}) da folhagem e sua correlação com o índice de área foliar (IAF). Observaram também que quando o quociente R_{ni}/R_{ns} diminui, o índice de área foliar aumenta rapidamente, alterando as proporções de energia disponível ao sistema de cultivo absorvida pelo solo e pelas plantas. Porém, Alves & Azevedo (1997) ao determinarem o balanço de energia num cultivo de melão, verificaram que o saldo de radiação significou 55%, 59% e 64% da radiação solar incidente no 5º, 20º e 48º dia após o plantio, respectivamente.

O balanço de energia radiante é o saldo de radiação sobre uma superfície, o qual é a principal fonte de energia para os processos naturais como metabolismo biológico, perda de água pelas plantas (transpiração) e decomposição orgânica (Azevedo *et al.*, 1991). O saldo de radiação é fundamental na determinação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e é um parâmetro muito importante para estudos micrometeorológicos. Para Pereira *et al.* (1997) o balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície.

Para se obter o saldo de radiação é necessário estimar ou determinar a radiação de ondas curtas ($\lambda < 3\mu\text{m}$) e a radiação térmica (ondas longas) incidentes ou refletidas pela superfície. Jensen *et al.* (1990) afirmam que a atmosfera é menos transparente à radiação de ondas longas do que a radiação de ondas curtas.

Yao & Schaw (1964) observaram que o saldo de radiação, em experimento com a cultura do trigo, apresentou variações significativas com o espaçamento, tanto entre fileiras

quanto em densidade de plantas. Owonubi *et al.* (1975) mediram a interceptação da radiação solar através das plantas e observaram a disposição na quantidade de energia absorvida por estas. Segundo Hankis *et al.* (1961) o saldo de radiação aumenta com o umedecimento da superfície em função da diminuição do albedo. Enquanto que Denmead *et al.* (1962) utilizando diversos saldos radiômetros na cultura do trigo, observaram que se aumentar o espaçamento entre fileiras menor que 1m, poderá haver um aumento de 15 a 20% no processo fotossintético.

A energia solar é a principal fonte de energia para o meio ambiente, é responsável pelos processos fotossintéticos, bem como pela produção das plantas cultivadas. A radiação solar ao ser interceptada por um cultivo, como saldo de radiação da cultura, desempenha um papel muito importante no microclima do ambiente da planta, determinando assim, a energia disponível para os processos fisiológicos associados a produção de biomassa como a evaporação.

A irradiação solar, a umidade e a temperatura influenciam no desenvolvimento e crescimento da cultura, de maneira que esses fatores podem ser utilizados para ajuste de modelos para simulação de desenvolvimento e produção das culturas. Para qualquer espécie vegetal em condição hídrica satisfatória e boa fertilidade de solo, existe uma relação linear entre o acúmulo de matéria seca, aérea foliar e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada pela planta, permitindo assim, ajustar-se modelos simples à estimativa da capacidade de produção em um dado local (Gosse *et al.*, 1986).

Na agricultura a radiação solar é responsável pelas transformações bioquímicas nos vegetais, proporcionadas pelo número de horas de brilho sol sobre as culturas. Influência também na época de floração, frutificação, bem como no sabor, no odor e na coloração das frutas. No entanto, a distribuição da energia disponível incluindo o montante utilizado na evaporação, está sujeita à oscilações significativas em função da existência de períodos secos e úmidos.

O balanço de energia baseado na Razão de Bowen, tem sido usado em diversos estudos com a finalidade de estimar a evapotranspiração (ETc) em diferentes culturas.

A evapotranspiração da cultura (ETc) é um dos principais processos do balanço hídrico, imprescindível no manejo da irrigação. A sua determinação em projetos irrigados geralmente é feita quando isso ocorre, com base em coeficientes de cultivo (Kc) e dados meteorológicos obtidos em estações automatizadas, hoje tão difundidas, ou estações climatológicas, o que possibilita o cômputo da evapotranspiração de referencia (ETo). No

entanto, em diferentes áreas irrigadas do Brasil ainda é comum o uso de Tanques Classe A, através do qual é definida a ET_0 .

Embora existam vários estudos destinados ao cômputo da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo (K_c), ainda há muito a ser feito para que o manejo da irrigação seja pautado em base sustentável. Nesse sentido, é dado uma contribuição ao estudo da ET_c do algodão colorido, cultivar BRS 200.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Material

3.1.1 - Área Experimental.

O experimento de campo foi conduzido no período de agosto a dezembro de 2003, na fazenda experimental da Embrapa Algodão, localizada no município de Barbalha-CE, (latitude de 7°18'39" S; longitude de 39°23'39" W e altitude de 415,74m), em uma área de 1 hectare, rodeada por outras áreas irrigadas de dimensões iguais ou superiores a do experimento.

Foi montada uma torre micrometeorológica na área do experimento, posicionada de maneira que viesse a possibilitar o monitoramento dos dados meteorológicos utilizados pelo método do balanço de energia, com base na razão de Bowen, objetivando estimar a evapotranspiração da cultura etc. Foram instalados dois piranômetros para medição da radiação solar global (R_g) e a radiação refletida (R_r); um saldo radiômetro para determinação do saldo de radiação (R_n), em torno de 1m acima do dossel da cultura; dois conjuntos de termômetros de bulbos seco e úmido, em dois níveis para medir temperatura seca e úmida, respectivamente, através de psicrômetros com termopares de cobre-constantan, dois anemômetros do tipo "Young" em dois níveis, sendo o primeiro instalado a 0,5m acima do dossel da cultura, podendo ser regulado mediante o desenvolvimento da cultura e o segundo 2m da superfície do solo para determinar a velocidade do vento (U). Para medir o fluxo de calor no solo (G) foram instalados dois fluxímetros a 0,02m de profundidade, posicionados entre as fileiras e bem próximos às plantas ao longo da fileira, respectivamente. Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de coleta de dados (Datalogger 21X da Campbell Sci).

3.1.2 - Clima da região

Com base na classificação climática de Thornthwaite & Mather (1955), o clima na região do Cariri, especificamente do município de Barbalha-CE, onde foi instalado o experimento é do tipo C₁S₂A'a', o qual é considerado um clima sub-úmido, com pequeno excesso de água na estação chuvosa, megatérmico e vegetação praticamente o ano todo.

3.1.3 – Cultura utilizada

As sementes de algodão usadas para o plantio foram da cultivar BRS 200 marrom, semiperene geneticamente colorido, obtidas através do melhoramento convencional pelo método da seleção genealógica, ou seja, é um bulk composto pela mistura em partes iguais de sementes das linhagens CNPA 92 1139, CNPA 94 362 e CNPA 95 653, com fibras de coloração marrom claro, as quais foram selecionadas em 1992, 1994 e 1995, a partir do Banco de Germoplasma do Algodoeiro Arbóreo perene ou mocó (*Gossypium hirsutum L. marie galante H*) da Embrapa, o qual deu origem à cultivar estudada. É uma cultivar produtora de fibra de cor marrom, variando do creme ao marrom escuro, com um percentual máximo de 5% de plantas com fibra de cor branca. Tem ciclo trianual, rendimento de fibra 36% em média, resistência de fibra superior a 25,0 g/tex (superior as cultivares estrangeiras do Peru e USA), boa finura, resistência a seca, embora susceptível a bacteriose, rendimento médio de 1.300 Kg/ha de algodão em caroço (468 Kg.fibra/ha) para as condições de sequeiro, podendo atingir rendimentos de até 3.300 Kg/ha de algodão em caroço sob condições irrigada no semi-árido nordestino.

A semeadura foi realizada em fileira dupla no espaçamento de 1,8m x 0,40m x 0,20m entre fileiras, com uma densidade populacional de 100.000 plantas/ha, o equivalente a 10 plantas por metro quadrado.

3.1.4 - Características do solo da área experimental

A área do campo experimental está subdividida em lotes, no caso o lote utilizado para condução do experimento foi o 10A, com classificação textural argilosa, o qual possui torrões endurecidos quando seco, e quando molhado apresentam-se plástico, podendo facilmente ser manuseado sem se romper.

Característica física do solo: Textura argilosa (51,15% de argila, 31,82% de areia e 17,03% de limo).

Caracterização físico-hídrica: (cc = 27,82%; pmp = 14,11%; dg = 1,29g/cm³)

3.1.5 - Instrumentos meteorológicos utilizados

Foi montada uma torre micrometeorológica na área do experimento (Figura 1), posicionada de maneira que viesse a possibilitar o monitoramento dos dados meteorológicos utilizados pelo método do balanço de energia, com base na razão de Bowen. A torre continha dois piranômetros de Eppley para medição da radiação solar global (R_g), o qual foi instalado a 2m acima da superfície do solo e o outro para medir a radiação refletida (R_r), instalado a 1,5m da superfície; um saldo radiômetro da Keep Zonen para determinação do saldo de radiação (R_n), colocado a 1,5m acima da superfície do solo; dois termômetros seco e úmido em dois níveis para medir temperatura seca e úmida, respectivamente, através de psicrômetros com termopares de cobre-constantan; dois anemômetros do tipo “Young” em dois níveis, cujo primeiro mais ou menos 0,5m acima do dossel da cultura, podendo ser regulado mediante o desenvolvimento da mesma e o segundo a 2m da superfície do solo para determinar a velocidade do vento (U). Para medir o fluxo de calor no solo (G) foram instalados dois fluxímetros a 0,02m de profundidade, posicionados entre as fileiras e bem próximos às plantas ao longo da fileira. Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de coleta de dados (datalogger 21X da Campbell Sci).

Os dados de R_g , R_r , R_n , T_a , T_u e U , foram coletados a cada 5 segundos e extraídos a média a cada 20min. A cada 8 dias os dados armazenados no datalogger eram transferidos para um módulo de armazenamento (SM-192 da Campbell Sci) e em seguida transferidos para um microcomputador por meio de uma interface (SC-532 da Campbell Sci) e Software (PC-208W 3.3) apropriados.

3.1.6 - Caracteres morfológicos estudados

No experimento foi demarcada uma área amostra de 10m X 10m, na qual foram escolhidas ao acaso 20 plantas que tiveram suas alturas medidas semanalmente, como também, cinco plantas fora do stand foram tomadas para determinação das fitomassas epígea fresca (FF) e seca (FS), procurando-se assegurar a representatividade da cultura como um todo. Neste caso foram tomadas medidas de 20 plantas do stand que serviram como referência padrão. Nas cinco plantas foram medidas: o comprimento de cada folha pelo método destrutivo, com vistas à determinação da área foliar (AF) de cada planta e do índice de área foliar (IAF), o qual foi calculado a partir da área foliar pela área total ocupada pela planta.

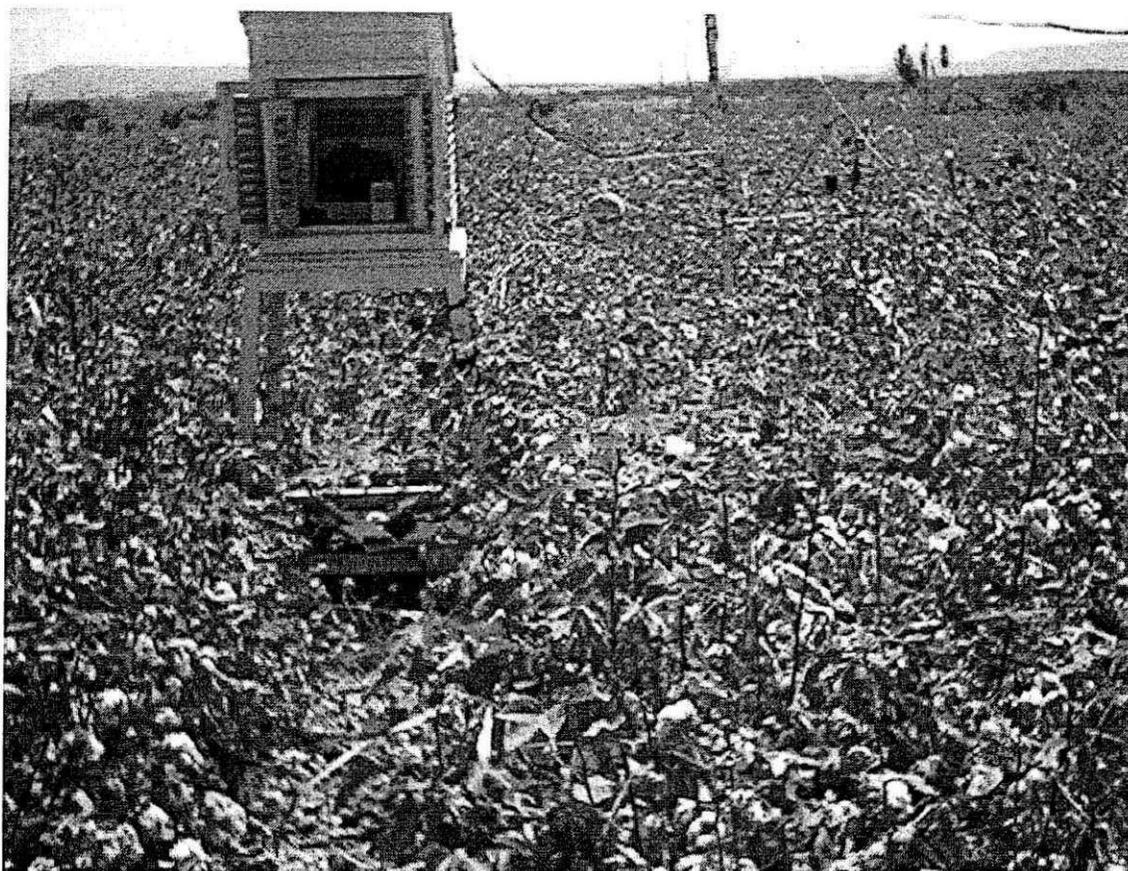


Figura 1. Torre micrometeorológica, com destaque para o abrigo meteorológico com o (Datalogger)

3.1.7 - Método de irrigação

Antes do plantio da cultivar BRS 200, foi efetuada uma irrigação na área experimental por sulcos, capaz de levar o solo a capacidade de campo a uma profundidade de 0,60m e após o plantio, nos primeiros 20 dias, a área experimental foi irrigada a cada 4 dias, para assegurar ao solo condições de umidade suficiente para uma boa germinação das sementes. Após este período, foi provocado um déficit hídrico com duração de 28 dias, após o qual as irrigações foram efetuadas a cada 7 dias, onde a lâmina de reposição foi calculada em função da evapotranspiração de referencia (ET_o), calculada pelo método de Penman-Montheith, com base nos dados de campo, e a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi calculada utilizando os dados da torre micrometeorológica instalada na área experimental através do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

De acordo com Beltrão (1999) o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) vem sendo cultivado através de diversos métodos de irrigação, e que o sistema de sulcos é o mais

usado, com exceção de solos de textura arenosa e regiões com deficiência de água. Este sistema de irrigação consiste em levar água em sulcos situados entre as fileiras duplas das plantas, o tempo necessário para que a água infiltrada ao longo do sulco seja suficiente para alcançar a zona radicular da planta.

3.1.8 - Tratos culturais

Durante a execução do experimento, a cultura permaneceu isenta de ervas daninhas, através de capinas manuais, aplicações de herbicidas e conjuntamente os dois sistemas, de modo a manter a cultura sempre limpa, sem competir com outras plantas por nutrientes e água.

Adubação: fundação 30 - 80 - 10 Kg/há de N, P₂O₅ e K₂O e cobertura de 60 -10 Kg de N e K₂O conforme a análise de solo, o controle de pragas e tratos culturais ficaram sobre a responsabilidade dos técnicos da Embrapa.

3.1.9 - Análise das variáveis de crescimento

Para análise das variáveis de crescimento foram aproveitadas as plantas que foram coletadas para determinação das fitomassas fresca e seca e área foliar, as quais tiveram início a partir do 21º dia após o plantio. A área foliar (Y) em cm² foi calculada em função do comprimento da folha (X), em cm, através da expressão (Grimes & Carter, 1969):

$$Y = 0,4322 X^{2,3032} \quad (3.1)$$

A área foliar da planta foi obtida pela somatória dos valores da área foliar de cada folha. O índice de área foliar (IAF) foi obtido pela razão entre a área foliar da planta (AF) e a área de projeção da copa (A) sobre a superfície do solo.

$$IAF = \frac{AF}{A} \quad (3.2)$$

3.2 – Métodos

3.2.1 - Balanço de energia sobre a cultura

O balanço de energia fundamenta-se nas medições do saldo de radiação R_n (W/m²), no fluxo de calor no solo G (W/m²), na variação vertical de temperatura do ar ΔT(°C), no gradiente vertical de pressão de vapor d'água Δe (KPa) e nos fluxo de calor latente LE

(W/m^2) e calor sensível (H), os quais foram obtidos por meio do balanço de energia baseado na razão de Bowen, conforme as expressões a seguir (ROSENBERG et al., 1983)

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (3.3)$$

$$LE = \frac{(R_n - G)}{1 + \beta} \quad (3.4)$$

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p P_o K_h \partial T / \partial z}{L \varepsilon K_w \partial q / \partial z} = \gamma \frac{K_h \partial T / \partial z}{K_w \partial e / \partial z} = \gamma \frac{K_h \Delta T}{K_w \Delta e} \quad (3.5)$$

onde β é a razão de Bowen, H o fluxo de calor sensível (W/m^2), C_p é o calor específico do ar à pressão constante ($J/Kg^\circ C$), K_h e K_w coeficientes de difusão turbulenta do calor sensível do ar e do vapor d'água, respectivamente, ΔT e Δe são as variações de temperatura e pressão de vapor d'água medidas em dois níveis, P_o a pressão atmosférica local (KP_a), ε a razão entre as massas moleculares da água e do ar, L calor latente de vaporização da água (J/Kg) e $\gamma = C_p P_o / L \varepsilon$ fator psicrométrico ($KP_a / ^\circ C$).

Não havendo variações de temperatura, diferença de umidade, ocorrência de pragas e doenças, o algodoeiro poderá ter o seu ciclo dividido em quatro estágios de desenvolvimento, onde a primeira fase compreende do plantio (semeadura) à emergência, a qual abrange da embebição da semente e germinação ao surgimento dos cotilédones, o que ocorre em média de 04 a 10 dias, podendo prolongar-se caso haja modificações das condições ambientais como umidade e temperatura; a segunda fase vai da emergência da plântula ao surgimento do primeiro botão floral e compreende um intervalo de 20 a 26 dias; a terceira fase que se estende do primeiro botão floral ao aparecimento da primeira flor, ocorrendo por volta dos 45 dias; a quarta fase corresponde ao período entre a abertura da primeira flor e o surgimento do primeiro capulho.

3.2.2 - Evapotranspiração

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada pelo método do balanço de energia baseado na Razão de Bowen, segundo (ROSENBERG et al., 1983),

$$LE = \left(\frac{R_n - G}{1 + \beta} \right) \quad \beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.6)$$

onde LE é o fluxo de calor latente ($W.m^{-2}$); R_n é o saldo de radiação ($W.m^{-2}$); G é o fluxo de calor no solo ($W.m^{-2}$) e β é a razão de Bowen. A obtenção da razão, foi através de psicrômetros à temperatura seca e úmida de modo a determinar ΔT e Δe ,

respectivamente, os gradientes de temperatura e pressão real de vapor d'água medida nos dois níveis acima do dossel da cultura. A ET_c (mm/dia) foi obtida pela divisão do calor latente de vaporização (LE) integrado e acumulado a cada 20 minutos pelo calor latente de vaporização da água (L) ao longo do período diurno em que $R_n - G > 0$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Componentes do balanço de energia para as fases fenológicas do algodoeiro

Neste trabalho, os componentes do balanço de energia foram estimados para períodos horários e diários, através do balanço de energia baseado na Razão de Bowen. Os componentes do balanço de energia foram analisados para as quatro fases do ciclo fenológico do algodoeiro BRS 200 – Marrom, que corresponderam aos seguintes períodos: Fase I, da emergência das plantas à 10% de cobertura do solo (15 dias); Fase II, de 10% de cobertura do solo ao início da floração (39 dias); Fase III, do início da floração ao início da maturação (31 dias) e Fase IV, do início ao final da maturação (20 dias). Os valores diários médios dos componentes do balanço de energia para as diversas fases do ciclo fenológico da cultura estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Variação estacional dos valores médios diurnos do fluxo de calor latente (LE), saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G) e fluxo de calor sensível (H) para as diferentes fases da cultura do algodoeiro BRS 200 em Barbalha- CE, 2003. $R_n - G > 0$

Fase	Duração (Dias)	Rn (MJ.m ⁻²)	LE (MJ.m ⁻²)	G (MJ.m ⁻²)	H (MJ.m ⁻²)	LE/Rn (%)	G/Rn (%)	H/Rn (%)
I	15	13,6	10,2	2,1	1,3	75,4	15,3	9,3
II	39	14,5	12,1	1,2	1,2	83,7	8,1	8,2
III	31	16,7	15,5	0,6	0,6	92,9	3,4	3,7
IV	20	15,6	14,9	0,4	0,2	95,9	2,7	1,4
Ciclo	105	15,3	13,5	0,9	0,8	88,6	6,1	5,3

Conforme pode ser visualizado na Tabela 1, o fluxo médio diário de calor latente (LE) foi crescente da fase I ($10,2 \text{ MJ.m}^{-2}$) até a fase III ($15,5 \text{ MJ.m}^{-2}$), a partir da qual o valor volta a decrescer. Considerando que a fase III corresponde à fase de maior demanda hídrica da cultura, está justificado o maior valor de LE nesta fase. Trabalho realizado por Rodrigues (2003), mostra que o maior valor médio diário de LE, ocorreu na fase de desenvolvimento reprodutivo do algodoeiro herbáceo BRS – 201.

Foi observado na Fase I o menor valor no saldo de radiação, fato que pode ser justificado em função da baixa umidade no solo neste período, por ter ocorrido um intervalo de 28 dias sem irrigação da cultura, ou seja, de 05/08 a 02/09/2003. Neste intervalo a evaporação foi limitada pelo déficit hídrico no solo e grande parte do saldo de radiação foi usada para aquecer o solo e o ar (calor sensível), também observado por Alves & Azevedo (1997). A partir desta fase até a Fase III ($16,7 \text{ MJ.m}^{-2}$), a energia disponível é crescente, passando a decrescer para a fase seguinte

A densidade de fluxo de calor no solo (G), foi decrescente da Fase I para as demais fases, ou seja, até o final do ciclo da cultivar BRS-200. Resultado semelhante foi verificado por Rodrigues (2003) com a cultivar BRS-201. No entanto, esse fluxo foi superior a densidade de fluxo de calor sensível (H).

Observou-se também uma variação percentual de 57,14% do fluxo de calor no solo (G), decrescente da Fase I ($2,1 \text{ MJ.m}^{-2}$) para a Fase II ($1,2 \text{ MJ.m}^{-2}$), diminuindo linearmente até o final do ciclo da cultura, mas bem inferior aos componentes calor latente (LE) e saldo de radiação (Rn).

De acordo com a Tabela 1, o fluxo de calor sensível do ar (H) tem comportamento semelhante ao fluxo de calor no solo (G), ou seja, diminuindo a densidade de fluxo com o desenvolvimento das plantas. Essa redução de densidade de fluxo de calor no solo é em função do aumento do índice de área foliar com as irrigações, altura de plantas, umidade do solo, em fim, uma maior cobertura da superfície do solo.

Observou-se também, que os valores médios diários da densidade de fluxo de calor sensível para o ar (H), são inferiores aqueles observados para fluxo de calor no solo (G) no mesmo período, observado também no algodoeiro, cultivar BRS-201 por Rodrigues (2003).

Durante o desenvolvimento da cultura, 88,6% do saldo de radiação foi utilizado no processo de evapotranspiração do algodoeiro, cultivar BRS-200, 6,1% para aquecimento do solo e 5,3% para aquecimento do ar. Silva (2000) verificou em seus estudos que 77,68% do saldo de radiação (Rn) foi usado no processo de evapotranspiração da mangueira (LE),

18,01% para o aquecimento do ar (H) e 4,36% para o aquecimento do solo (G). Oliveira (1998) estudando o comportamento dos componentes do balanço de energia sobre o cultivo do amendoim, observou que 83,2%, do saldo de radiação foi utilizado na evapotranspiração, 6,8% para aquecimento do ar na forma de calor sensível (H) e 10% para aquecimento do solo. Segundo Cunha et al. (1996), o saldo de radiação na cultura do milho é usado em proporções médias durante o período de desenvolvimento em 80% para a evapotranspiração, 14% na forma de calor sensível para a atmosfera e 6 % na forma de densidade de fluxo de calor no solo.

4.2 - Comportamento dos componentes do balanço de energia para condições de céu claro e dias nublados

Ao longo do ciclo da cultura foi realizada a análise dos valores diários médios dos componentes do balanço de energia para cada fase fenológica da cultura, considerando-se dias com e sem nebulosidade. Comparando-se as Figuras 2 e 3, as quais representam a fase I, que corresponde a 10% de cobertura do solo, observou-se um consumo hídrico médio de 5,0 mm/dia, totalizando 70,90 mm, onde se pode observar que a trajetória traçada pelos componentes do balanço de energia para os dias sem e com nebulosidade são diferentes.

A Figura 2 apresenta o comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia sem nebulosidade. Observa-se que o traçado dos componentes do balanço de energia indica uma parábola cuja concavidade está voltada para baixo, com pequenas variações no período diurno.

Observou-se também que o comportamento das curvas dos fluxos de calor sensível e latente foi semelhante ao da energia disponível (R_n). Porém, os componentes do balanço de energia (R_n e LE) atingem valores máximos próximo ao meio-dia (11h:40min), 633,8 W/m^2 e 443,9 W/m^2 , respectivamente. Nesta situação, 70% da energia disponível foi utilizada sob a forma de calor latente para evapotranspiração.

Mesmo o solo um pouco úmido, em consequência de uma irrigação ocorrida 4 dias antes, o fluxo de calor sensível para aquecimento do solo representou 26,18% da energia disponível, alcançando o valor máximo por volta das 13h:40min com valor de 165,9 W/m^2 . No entanto, o fluxo de calor sensível para aquecimento do ar H, atingiu o máximo as 8h:20min, no valor de 69,7 W/m^2 , representando 11% da energia disponível.

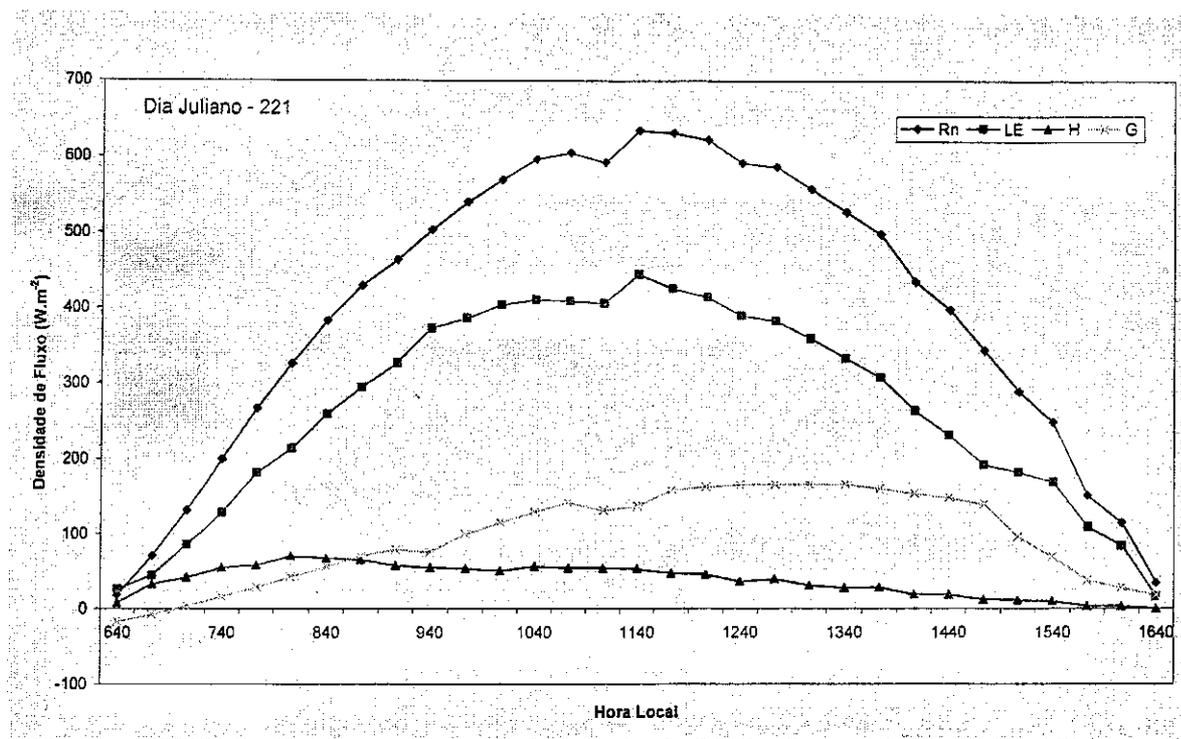


Figura 2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro na fase I do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200

Conforme a figura 3, na condição de céu encoberto, verifica-se que o comportamento das curvas de densidades de fluxo de calor latente (LE) e saldo de radiação são semelhantes, bem como o fluxo de calor sensível no ar (H) e no solo (G), indicando que o saldo de radiação influencia no comportamento das curvas dos demais componentes do balanço de energia.

Nessa Figura, observou-se uma redução e uma grande variabilidade nos valores do saldo de radiação, bem como, dos demais componentes do balanço de energia em resposta à intensidade da nebulosidade. Os componentes do balanço de energia (Rn, LE, H e G) alcançaram seus valores máximos de 689,2; 467,4; 165,1 e 104,8 W/m², respectivamente. Os valores máximos de Rn e LE ocorreram às 12h, o pico do fluxo de G ocorreu às 13h:20min, enquanto que o valor máximo observado para H, aconteceu às 9h:20min.

A Figura 4 representa um dia com pouca nebulosidade na fase II, onde as curvas de tendência dos componentes do balanço de energia são bastante semelhantes, com um traçado que muito se aproxima da curva do saldo de radiação, com valores máximos de 642,4; 524,8; 78,8 e 64,5 W/m², nos horários de 12h, 11h:40min; 11h e 8h, para os componentes Rn; LE; G e H, respectivamente.

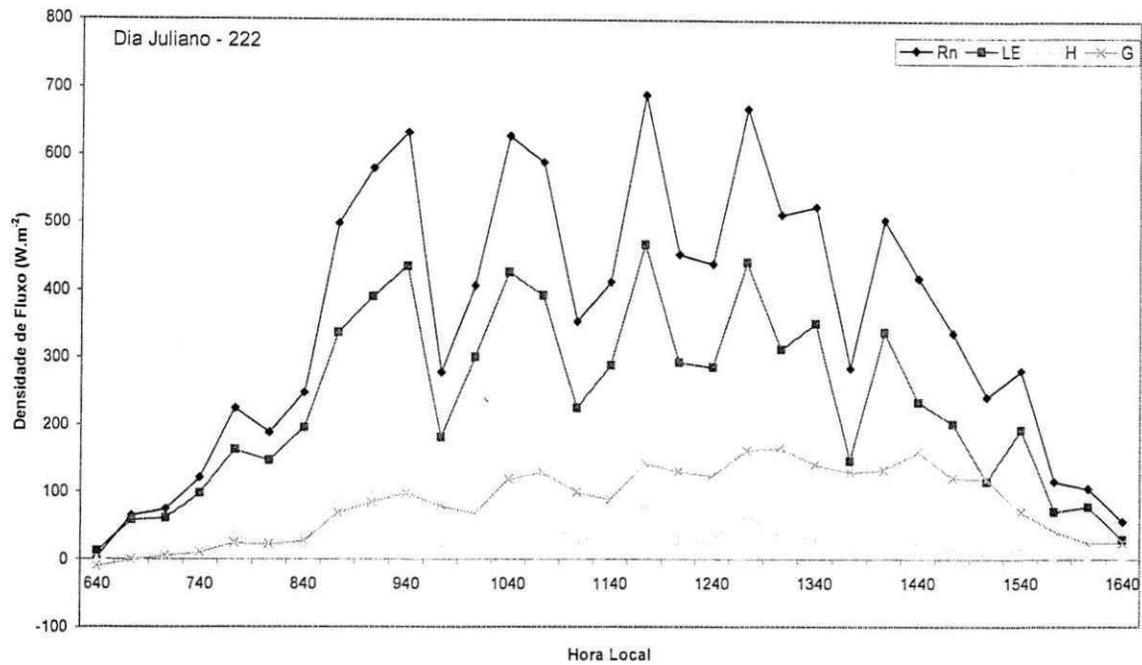


Figura 3 Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade na fase I do ciclo do algodoeiro cultivar BRS 200.

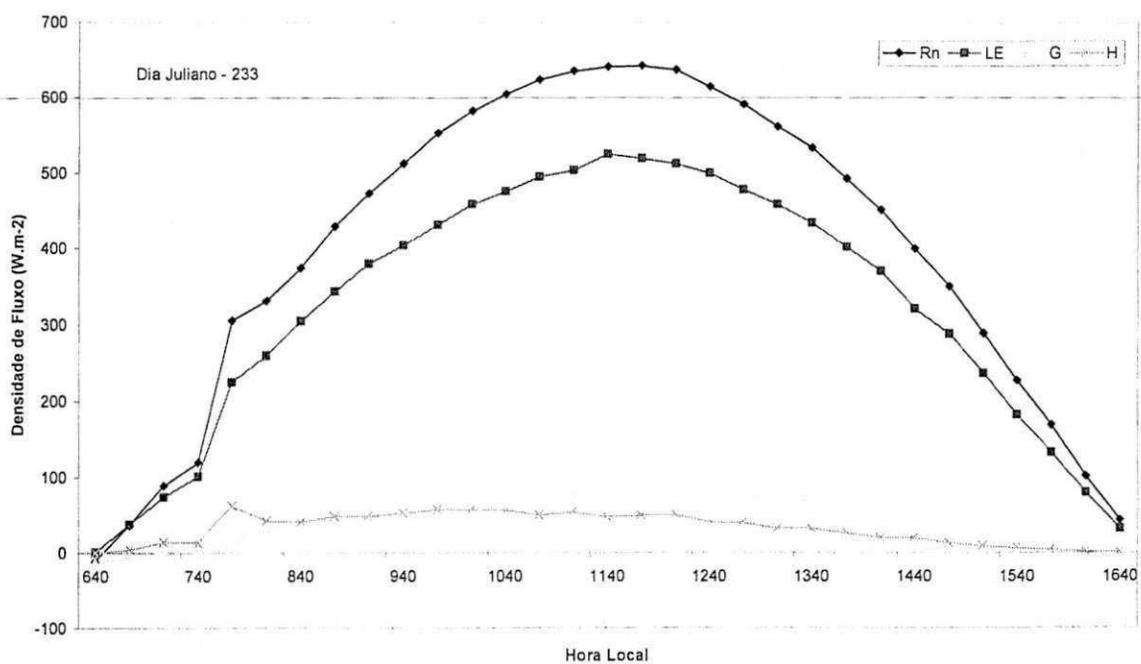


Figura 4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro na fase II do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200

Já a Figura 5, representativa de um dia com nebulosidade também para a fase II, com os gráficos dos componentes do balanço de energia bastante irregulares, ou seja, com alternância de momentos com e sem nebulosidade, com valores máximos de 738,8; 559,8; 83,7 e 125,0 W/m^2 , para os horários de 11h; 13h; 13h:20min e 11h para Rn; LE; G e H, respectivamente. Observou-se também, que o fluxo de calor sensível no ar (H) foi superior ao fluxo de calor no solo (G) até as 12h:40min, sendo em seguida ultrapassado pelo fluxo de calor no solo como mostra a figura.

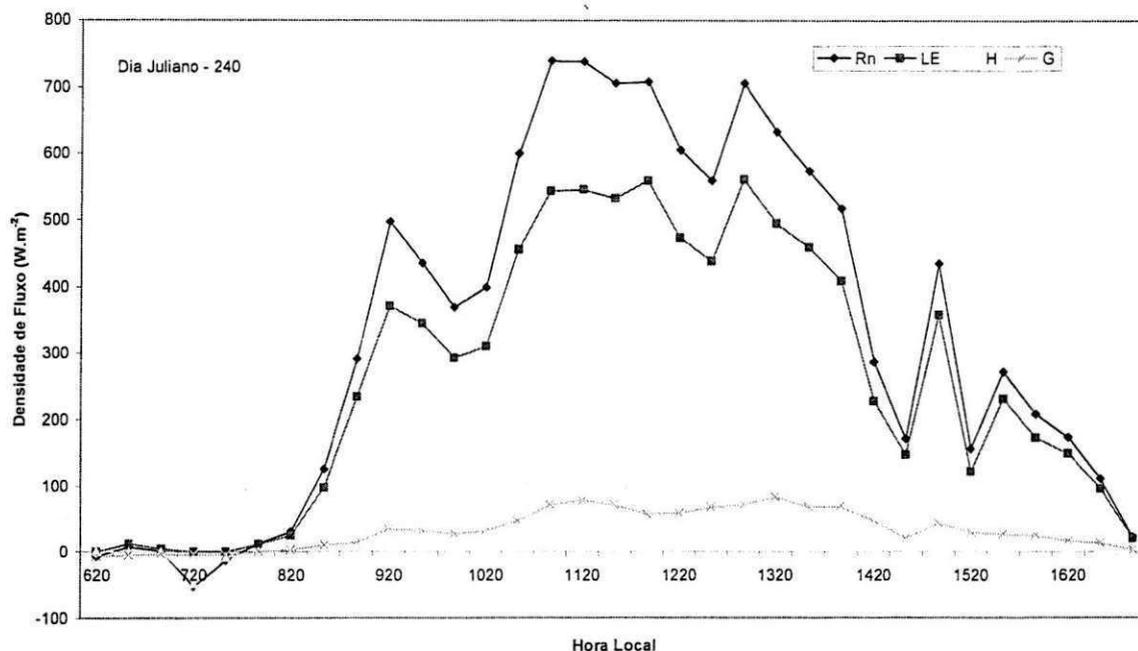


Figura 5. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade na fase II do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200

As Figuras 4 e 5 representam a Fase II, fase da diferenciação floral e floração, 39 dias após emergência (DAE), onde os gráficos mostrados são dias sem e com nebulosidade, com um consumo hídrico médio de 5,0 mm/dia e um volume acumulado de 194,4 mm. Verificou-se ainda um incremento de 18,5% no consumo de energia da Fase I para a Fase II, pelo aumento da área foliar da planta, maior cobertura do solo e conseqüentemente maior consumo pela planta.

A Figura 6 representa a Fase III para um dia com ausência de nebulosidade, fase produtiva, ou seja, de frutificação com duração de 31 dias, totalizando 84 dias após emergência e um consumo médio diário de 6,2 mm/dia, perfazendo um volume acumulado de 193,0 mm.

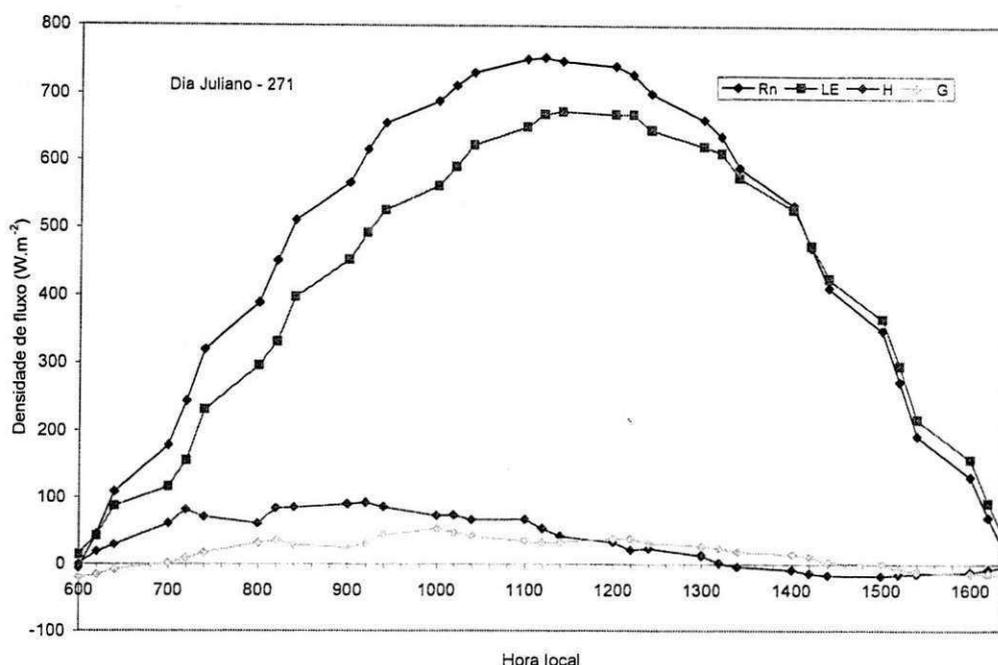


Figura 6. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro, na fase III do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200

Neste gráfico observou-se uma aproximação nas curvas do fluxo de calor latente com a curva do saldo de radiação, atingindo valores máximos às 11h:20min de $752,5 \text{ W/m}^2$, e calor latente (LE) com pico às 11h:40min num valor de $672,7 \text{ W/m}^2$, a partir daí as curvas se aproximam muito uma da outra, ou seja, $533,8$ e $527,6 \text{ W/m}^2$, para Rn e LE, respectivamente, este fato ocorre no intervalo das 14h às 14h:40min. A partir deste momento o calor latente supera o saldo de radiação, embora as curvas estejam bem próximas uma da outra, em função do aumento no déficit da pressão parcial de vapor de água à tarde. Fato também observado por Rodrigues (2003) com o algodoeiro herbáceo cultivar BRS-201.

O fluxo de calor sensível (H), atingiu valor máximo de $92,1 \text{ W/m}^2$ às 9h:20min, passando a decrescer até ser superado pelo fluxo de calor no solo (G) a partir das 12h, com valor de $33,0 \text{ W/m}^2$. Continuando a diminuir até tornarem-se negativos, tanto o fluxo de calor sensível como o fluxo de calor no solo.

A Figura 7 caracteriza um dia com nebulosidade na Fase III, onde o comportamento das curvas dos componentes Rn e LE são semelhantes quase que coincidindo em uma só curva, alcançando um valor máximo de $776,9 \text{ W/m}^2$ por volta do meio-dia. Já os fluxos de calor do solo (G) e do ar (H) foram pequenos, mas o fluxo calor no solo foi sempre

superior ao fluxo de calor sensível, com valores máximos de 35,9 e 26,2 W/m^2 , respectivamente. Através dessa figura verifica-se que um maior percentual do saldo de radiação foi utilizado sob a forma de calor latente.

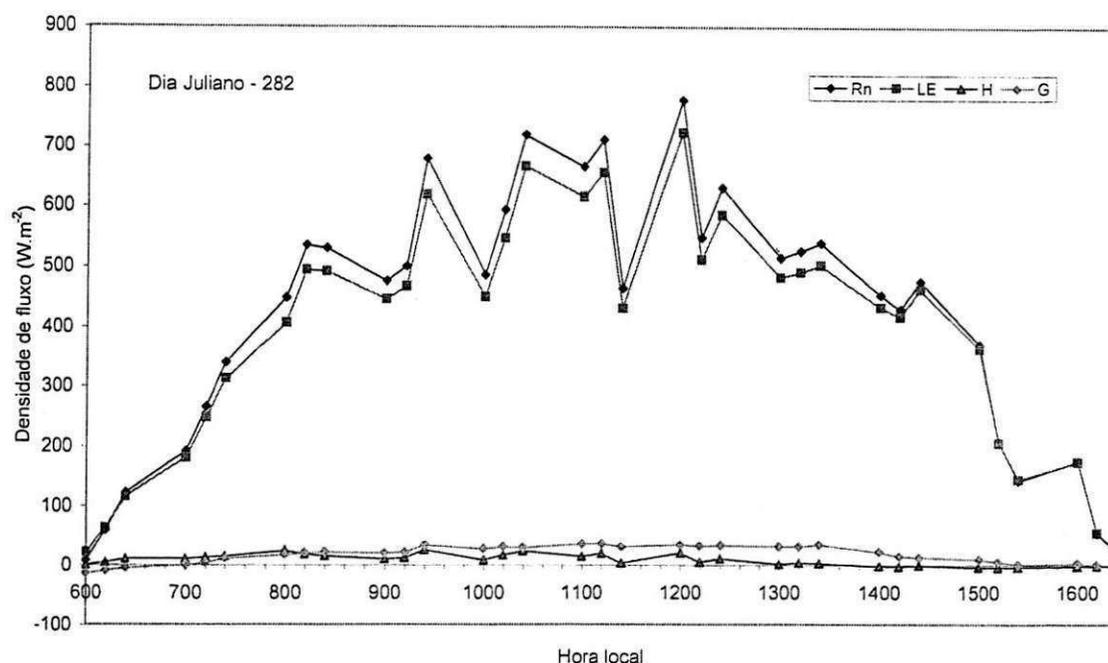


Figura 7. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade na fase III do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200

As Figuras 6 e 7 representam a Fase III, com maiores valores do saldo de radiação e do fluxo de calor latente, com valores de 407,95 e 377,76 W/m^2 , respectivamente.

As Figuras 8 e 9 são representativas da Fase IV, a qual corresponde no ciclo fenológico a abertura dos capulhos, com duração média de 20 dias, num total de 105 dias após a emergência e com um consumo médio diário de 6,0 mm/dia, totalizando durante o período 120,0 mm, para um total acumulado de 582,2 mm.

A Figura 8 representa um dia de céu claro, onde o fluxo de calor latente significou 97,3% do saldo de radiação, enquanto que o fluxo de calor sensível no ar e no solo representou apenas 0,67% e 2,0%, respectivamente. Este alto percentual de utilização do saldo de radiação R_n , sob a forma de calor latente é justificável, o solo estava bastante úmido, pois a área havia sido irrigada dois dias antes e a área foliar das plantas alcançaram o seu máximo valor.

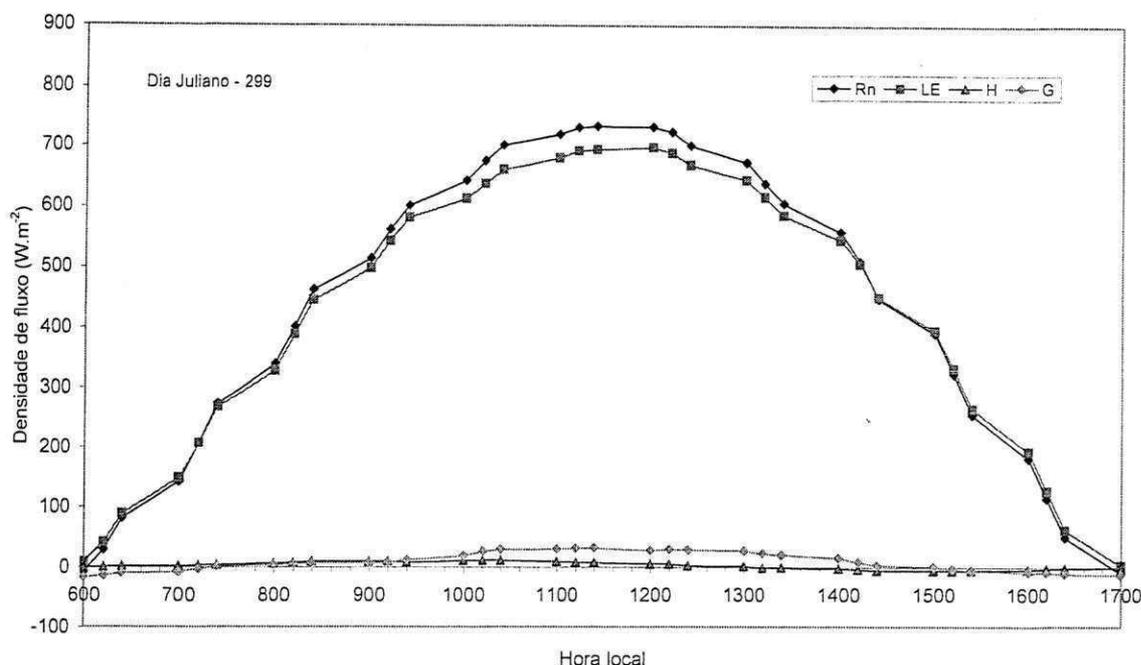


Figura 8. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia de céu claro, na fase IV do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200.

A Figura 9 caracteriza um dia com nebulosidade para a fase IV, onde as curvas de Rn e LE são bastante semelhantes e com valores bem próximos, ou seja, o valor máximo de Rn é $813,7 \text{ W/m}^2$ e de LE é $749,4 \text{ W/m}^2$, o que significa 92,09% de Rn, assim como, as densidades de fluxos de calor no solo e no ar foram $44,1 \text{ W/m}^2$ e $20,2 \text{ W/m}^2$, equivalente a 5,4% e 2,5%, respectivamente. Esses picos ocorreram todos por volta do meio-dia. O alto valor de LE foi em razão do solo está com bastante umidade, pois a área havia sido irrigada três dias antes, daí a alta demanda de calor sob a forma latente para evapotranspiração.

Comparando as figuras 8 e 9, observou-se que as curvas de Rn e LE estavam bem próximas, mostrando que a maior parte do saldo de radiação havia sido utilizada sob a forma de calor latente para evapotranspiração.

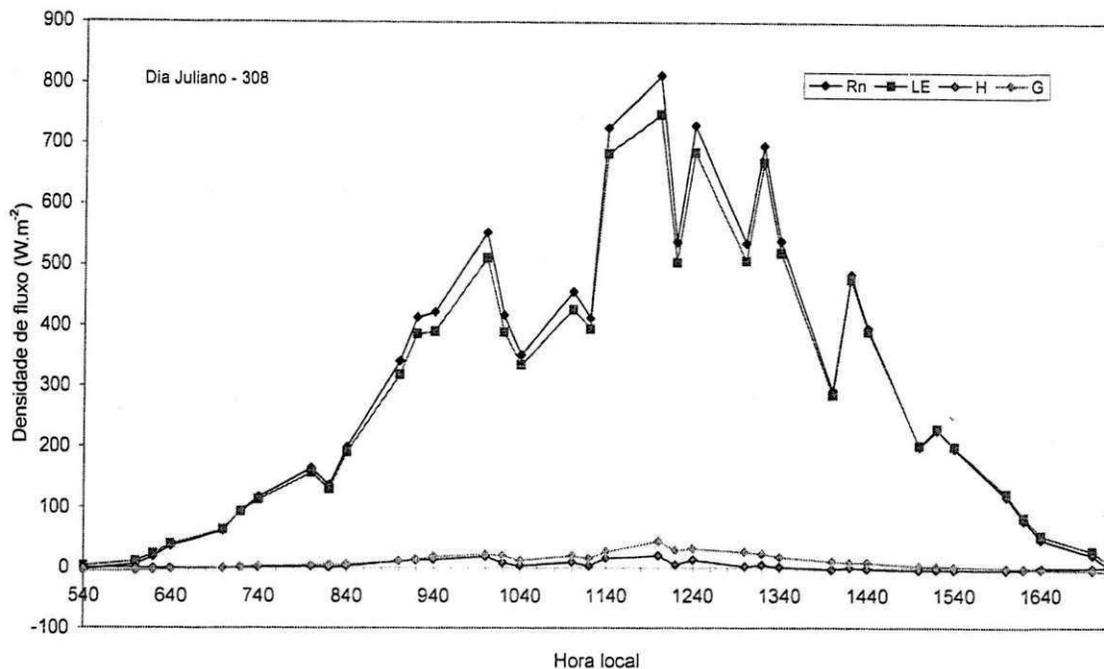


Figura 9. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia para um dia com nebulosidade na fase IV do ciclo do algodoeiro cultivar BRS-200.

4.3 – Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS-200, antes, durante e depois da irrigação.

O comportamento médio diurno do saldo de radiação (Rn), das densidades de fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível para o ar (H) e fluxo de calor no solo (G), sobre a cultivar BRS-200, antes, durante e logo após a irrigação está mostrado nas Figuras 10, 11 e 12. Verificou-se que o comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia, antes e depois da irrigação são bastante semelhantes. Verificou-se também que os valores máximos médios alcançados pelos componentes Rn, LE, G e H, depois da irrigação eram inferiores aos valores alcançados pelos componentes do balanço de energia antes e durante a irrigação. Esta diferença pode estar associada às condições edafoclimáticas local e ao manejo da cultura.

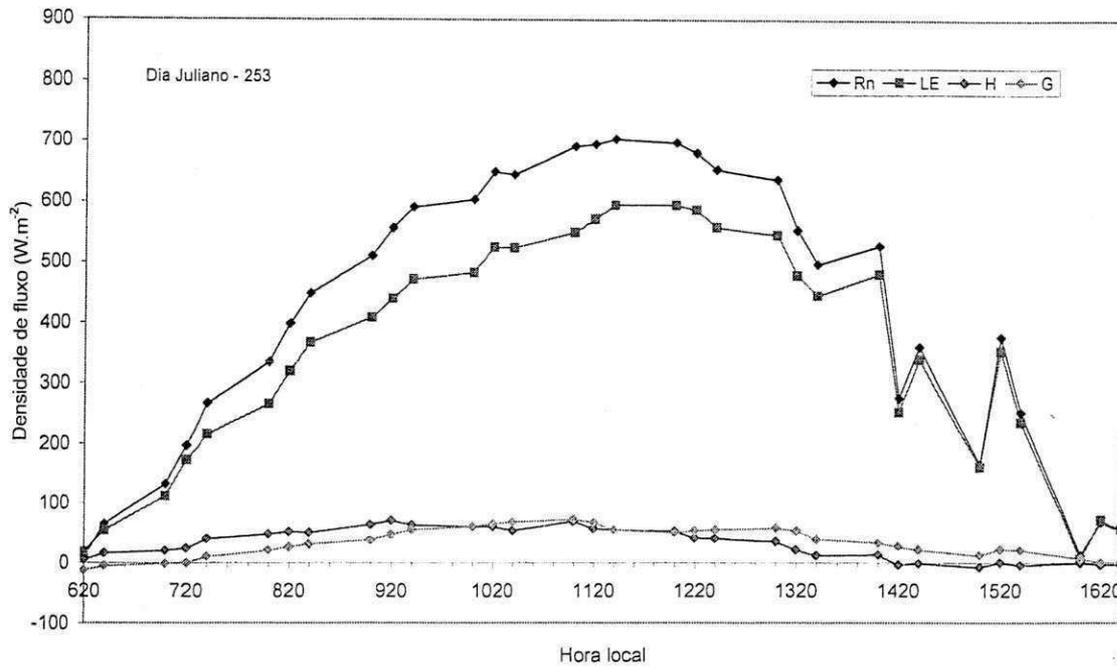


Figura 10. Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS 200, antes da irrigação.

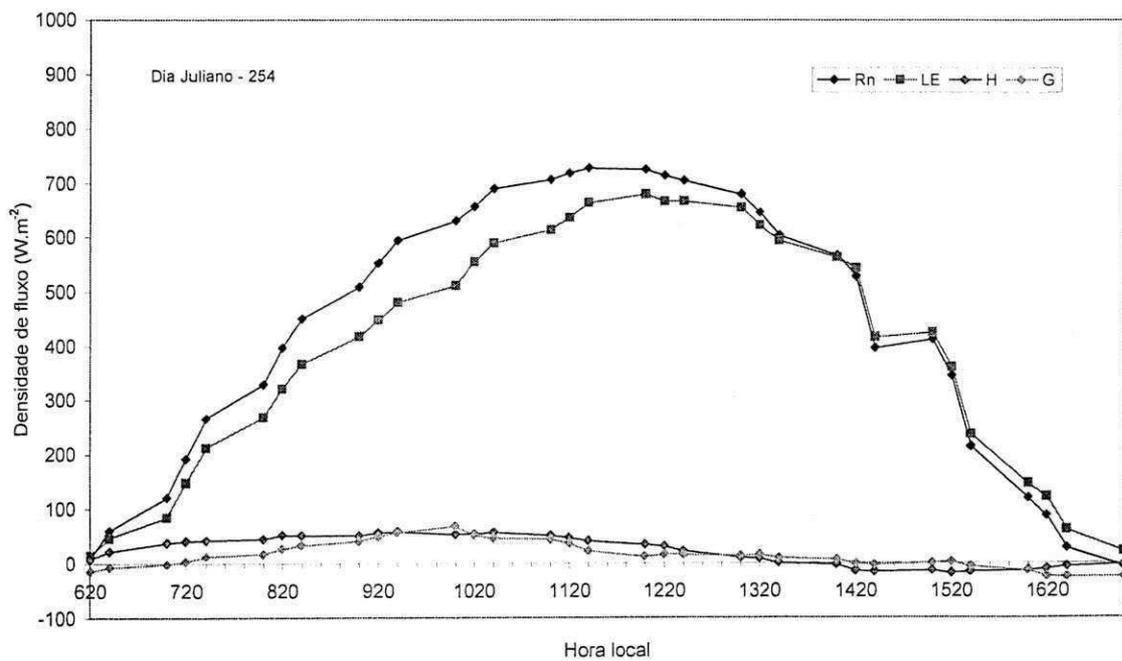


Figura 11. Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS 200, durante a irrigação.

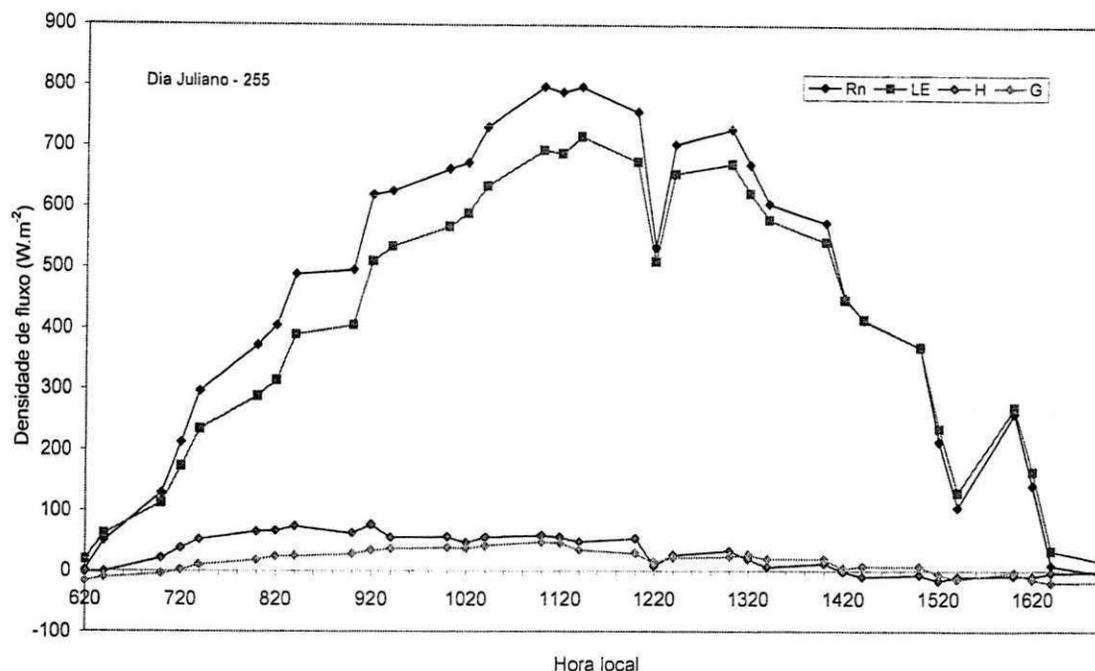


Figura 12. Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro BRS 200, depois da irrigação.

Para Miranda & Pires (2001), quando uma superfície vegetada estiver suprida suas necessidades hídricas, o maior percentual da energia disponível será usada no processo de evapotranspiração. Segundo o autor, pode variar de 75 a 85% de Rn, enquanto o restante é distribuído entre o aquecimento das plantas, do solo e do ar. Entretanto, para as condições de déficit hídrico no solo, a fração de Rn destinada a evapotranspiração diminui, aumentando assim, o percentual da energia destinada ao aquecimento das plantas, do ar e do solo. Pode-se observar que uma baixa disponibilidade de água no solo provoca uma maior fração de Rn sob a forma de calor sensível (H), conseqüentemente menor percentual sob a forma de calor latente (LE), diminuindo assim, o percentual de LE, que fica em torno de 75%, passando a ocorrer a evapotranspiração em função dos elementos meteorológicos e pela umidade do solo. Para Silva (2000), o fato do pomar de mangueiras ter sido irrigado duas vezes ao dia, experimento de campo em 1998, provocou uma menor transferência de calor sensível para o ar (H) e para o solo (G) em todas as fases do ciclo produtivo do cultivo da mangueira. Entretanto, em 1999 a cultura foi irrigada apenas uma vez por dia, o que resultou numa maior intensidade de fluxos, muito influenciado por Rn e pelo teor de umidade do solo.

Ao analisar as fases fenológica de frutificação e maturação, respectivamente, verificou-se que antes da irrigação, o maior percentual do saldo de radiação (R_n) foi sob a forma de calor latente (LE), utilizado na evapotranspiração, ou seja, 93,8%, e o restante foi distribuído em forma de calor sensível para o ar (H) e para o solo (G). Enquanto que durante e após a irrigação o percentual de calor latente (LE) significou 96,2% da energia disponível, entretanto a densidade de fluxo de calor sensível para o ar (H) e calor sensível no solo diminuiu.

4.4 – Comportamento dos componentes do balanço de energia para o ciclo do algodoeiro BRS 200

O comportamento dos componentes do balanço de energia durante o ciclo fenológico do cultivar BRS 200 está apresentado na Figura 13, que caracteriza a fase I. Esta fase teve duração de 15 dias, correspondente da emergência a 10% de cobertura do solo, tendo-se observado um consumo médio diário de 5,0 mm e um total acumulado no período de 70,0 mm.

Observou-se que o saldo de radiação (R_n) foi superior aos demais componentes, mas no início a curva do fluxo de calor latente se assemelha muito a curva do saldo de radiação e no meio desta fase há um distanciamento das curvas características, ou seja, há uma redução na utilização do calor latente (LE), provocando uma maior densidade de fluxo de calor sensível no ar (H) e no solo (G).

No gráfico representativo da fase fenológica II, Figura 14, observou-se uma grande semelhança nas curvas de cada um dos componentes do balanço de energia. Pode-se observar na figura que do início até o meio da fase as curvas características de R_n e LE, estão mais distanciadas e a partir daí se aproximam muito, o que significa uma maior utilização da energia disponível na forma de calor latente para evapotranspiração. A densidade dos fluxos de calor sensível para o ar (H) e para o solo, estão próximas, havendo uma alternância entre si. Este período corresponde a fase reprodutiva da cultura, (floração), com duração de 39 dias e um consumo médio diário de 5,0 mm para um total acumulado no período de 195,0 mm.

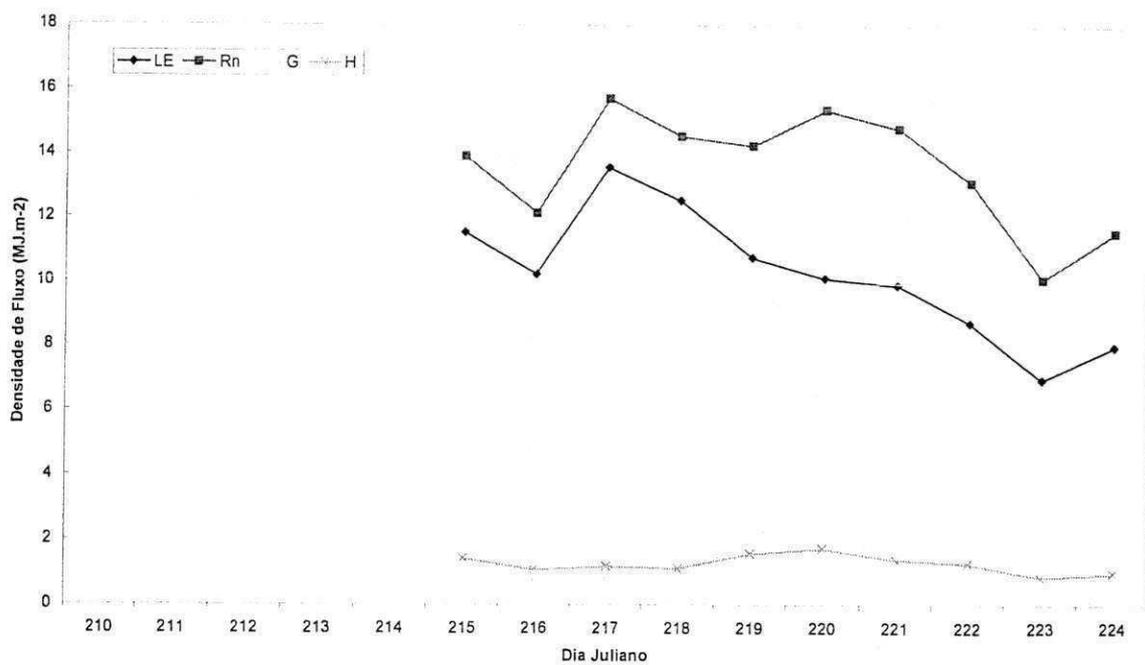
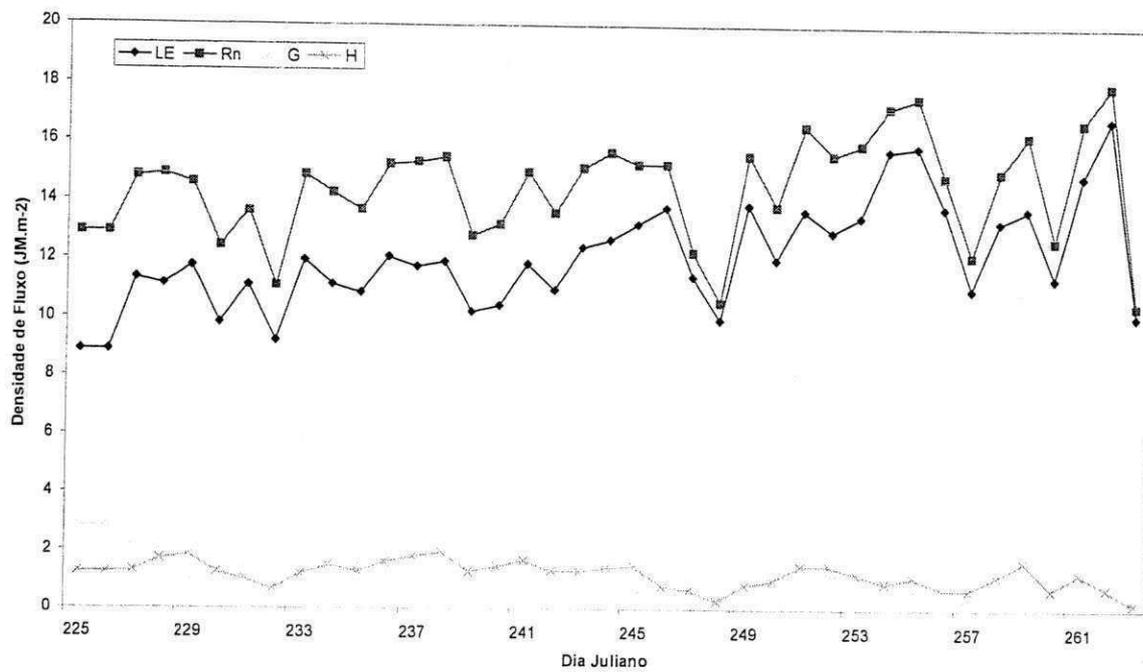


Figura 13. Componentes do balanço de energia para a Fase I do ciclo do algodoeiro BRS 200.

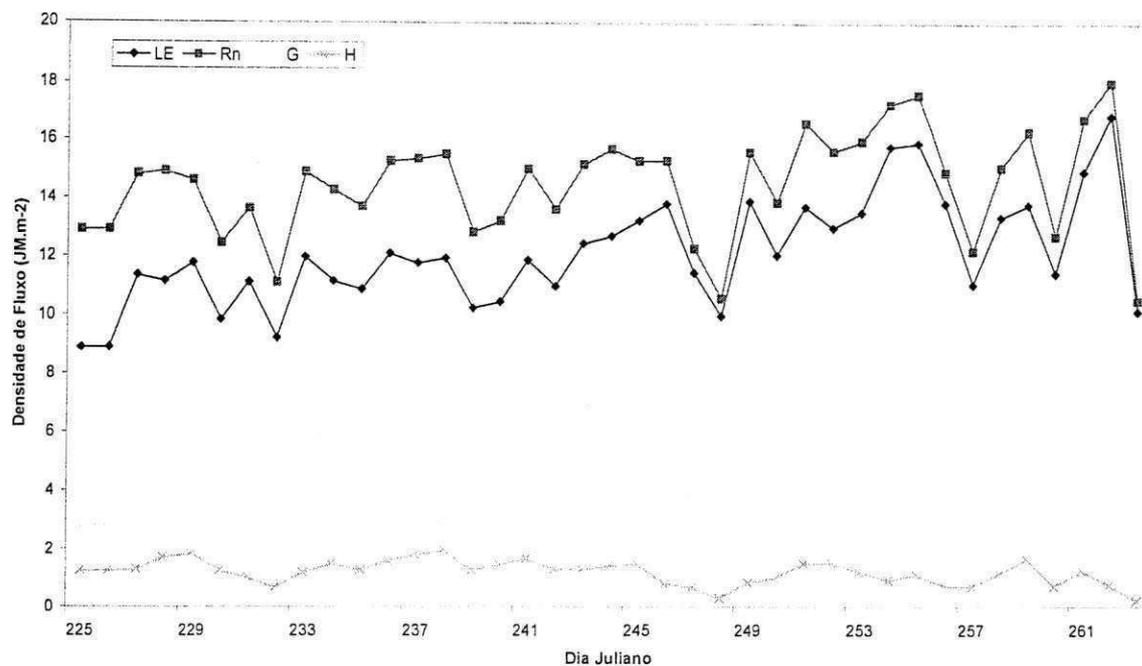


Figura 14. Componentes do balanço de energia para a Fase II do ciclo do algodoeiro BRS 200.

A terceira fase, representada pela Figura 15, correspondente no ciclo fenológico da cultura ao período de maturação, com duração de 31 dias. Neste período, observou-se o maior consumo médio diário de 6,2 mm, para um volume de 192,2 mm acumulado durante o período.

Nota-se que as curvas que definem o saldo de radiação (Rn) e o calor latente (LE), são bastante semelhantes, mas do início até o meio da fase as duas curvas estão um pouco distanciadas, o que pode ser justificado através da menor evapotranspiração da cultura e uma maior densidade de fluxo de calor sensível para o ar (H), para o solo (G) e que a partir daí as curvas do saldo de radiação e do calor latente se aproximam. Neste período, o solo estava úmido justificando a alta evapotranspiração, consequentemente baixo fluxo de calor sensível no ar e no solo.

Analisando a figura 16, representativa da fase IV, que corresponde a fase de abertura dos capulhos, com duração de 20 dias, o consumo médio diário foi de 6,0 mm e o volume acumulado foi de 120,0 mm para o período, com um volume total acumulado durante o ciclo fenológico de 582,2 mm.

Verifica-se que durante esta fase houve uma variação mais uniforme nas curvas de Rn e LE, com um alto percentual de utilização do saldo de radiação na forma de calor

latente para evapotranspiração, conseqüentemente baixa densidade de fluxo de calor sensível para o solo e para o ar.

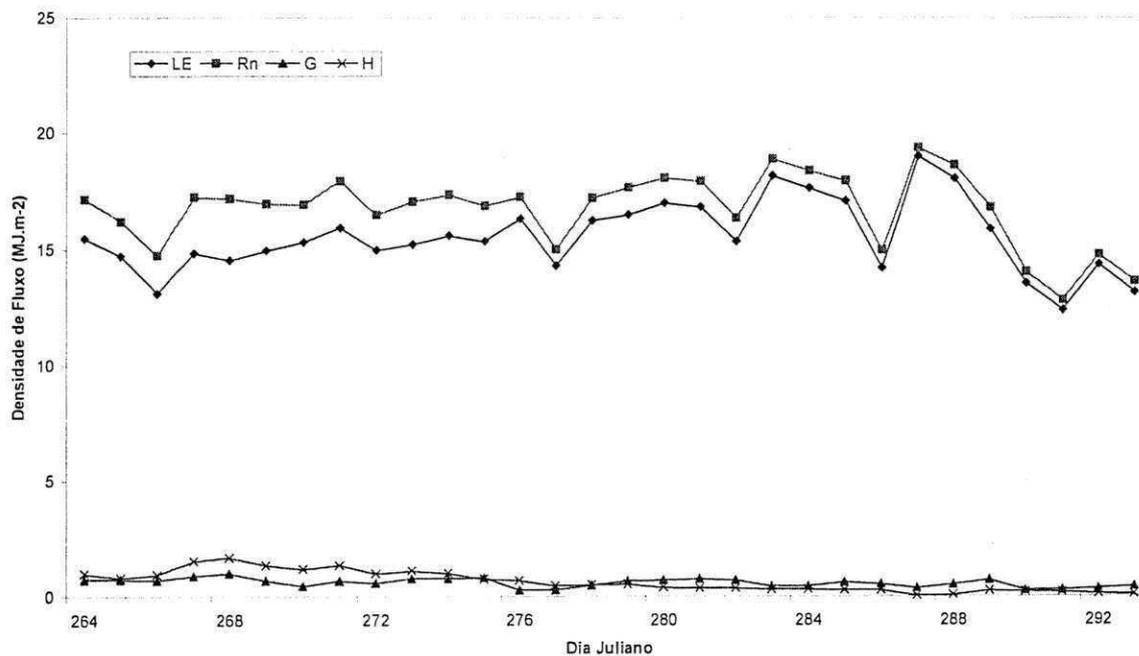
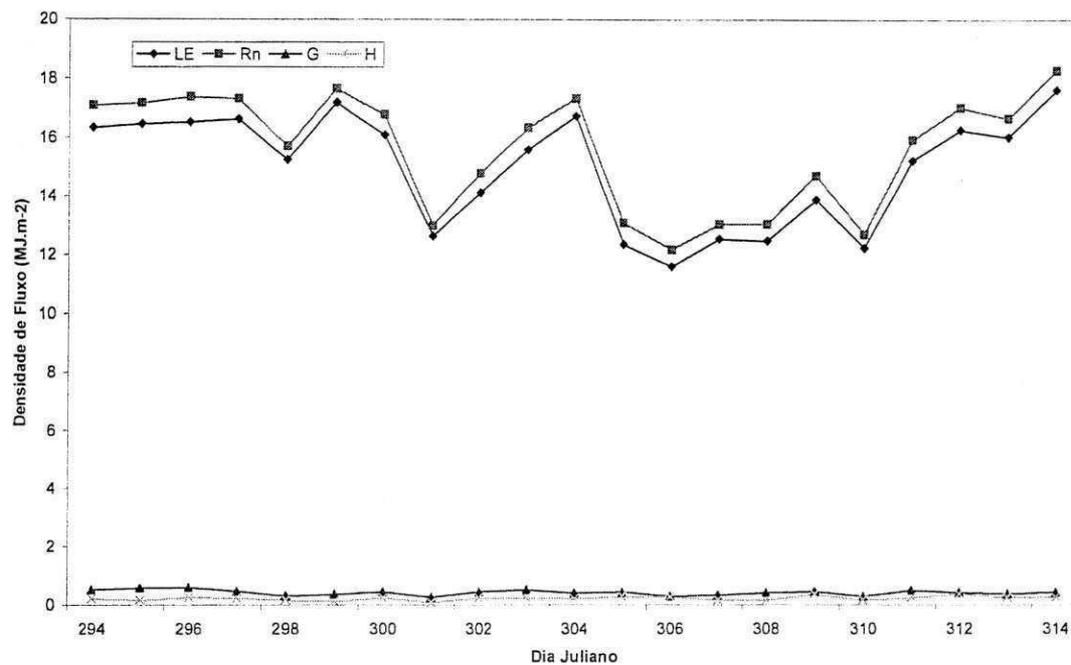


Figura 15. Componentes do balanço de energia para a Fase III do ciclo do algodoeiro BRS 200.

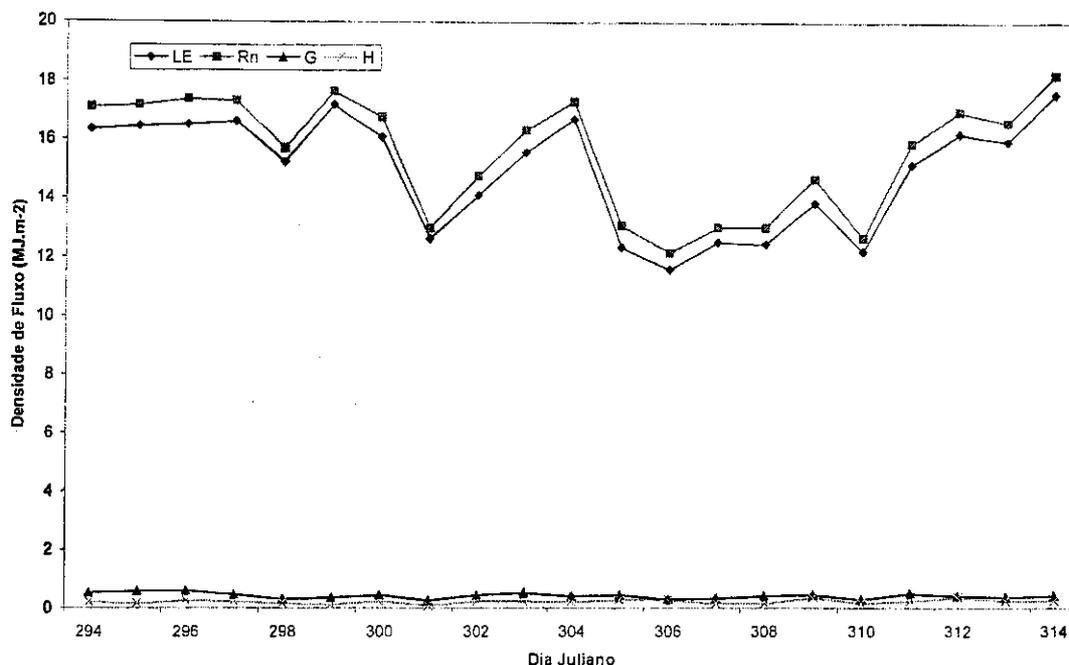


Figura 16. Componentes do balanço de energia para a Fase IV do ciclo do algodoeiro BRS 200.

4.5 - Área foliar da planta

Os valores médios quinzenais da área foliar das plantas do algodoeiro BRS 200 observados estão na Tabela 2. Observou-se que as medições das áreas foliares foram feitas quinzenalmente. As coletas foram iniciadas na segunda fase, ou seja, 21 dias após emergência e finalizadas na última semana da quarta fase, aos 112 DAE. Durante o ciclo fenológico do cultivar BRS 200, a maior área foliar medida foi de 1.956,68 cm², observada aos 95 dias após emergência.

Beltrão et al. (1990) observaram o comportamento do algodoeiro herbáceo cultivar CNPA Precoce 1 no Sertão paraibano, referente ao crescimento e desenvolvimento, a partir de experimentos de campo conduzidos nos anos agrícolas de 1996 e 1997, respectivamente. Segundo os autores, no primeiro ano mesmo com precipitações irregulares e solo não adubado, a cultivar CNPA Precoce 1, alcançou área foliar máxima de 2.912,9 cm², enquanto que em 1997, com chuvas regulares e solo adubado, a cultivar atingiu área foliar máxima de 7.087,90 cm², observado aos 75 dias após emergência.

O gráfico obtido a partir dos valores da área foliar das plantas (AFP) do algodoeiro, cultivar BRS 200 em função do número de dias após emergência (DAE) está representada

na Figura 17. A função que melhor representa o conjunto de dados, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,93, está representada através da seguinte expressão:

$$AFP = -41,975X^2 + 624,47X - 453,62 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Para melhor entender as variações na área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, ocorridas durante o desenvolvimento da cultura, foi feita uma divisão das fases fenológicas em três etapas: inicial, intermediária e final.

A primeira etapa teve duração de aproximadamente de 50 DAE, incluindo as fases I e II. As modificações ocorridas na área foliar das plantas do algodoeiro durante esta etapa foram bastante significativas. Durante este período, a área foliar máxima observada foi de 1.189 cm². Beltrão & Cavalcante, estudando o desenvolvimento da área foliar das plantas do algodão herbáceo cultivar CNPA Precoce 1, observaram que o aumento nos primeiros 42 dias após emergência foi pequeno. Conforme os autores, a área foliar máxima observada foi de 2.500,0 cm².

A etapa intermediária inclui a terceira fase e uma pequena parte da quarta, com duração aproximadamente de 30 dias, estendendo-se dos 50 aos 80 dias após emergência. Durante esta etapa houve oscilações no desenvolvimento da área foliar, alcançando valor máximo de 1.715,27 cm². Conforme Nóbrega et al (2001), as áreas foliares observadas em dois tratamentos de algodão herbáceo, cultivar BRS 187 8H, apresentaram valores máximos aos 120 dias após emergência de 5.000,0 e 2.000,0 cm², respectivamente. Para os autores, estes resultados são justificados pelo fato de que o ciclo das culturas irrigadas pode apresentar-se mais longo, alterando-se as fases fenológicas das plantas.

A última etapa teve início aos 80 dias após emergência, período em que as plantas do algodoeiro atingiram suas áreas foliares máximas observadas, para logo em seguida, assumirem valores decrescentes até o final do ciclo fenológico. Este comportamento pode estar associado a diversos fatores. Para Benincasa (1988), a medida que a área foliar cresce o índice de área foliar também cresce, até atingir um valor a partir do qual o autosombreamento passa a ser prejudicial, aumentando o número de folhas que são mantidas sob muito pouca iluminação, diminuindo assim, sua eficiência fotossintética. Neste período, a planta inicia a fase de senescência, que se reflete na paralisação da produção de matéria orgânica e queda brusca das folhas da planta.

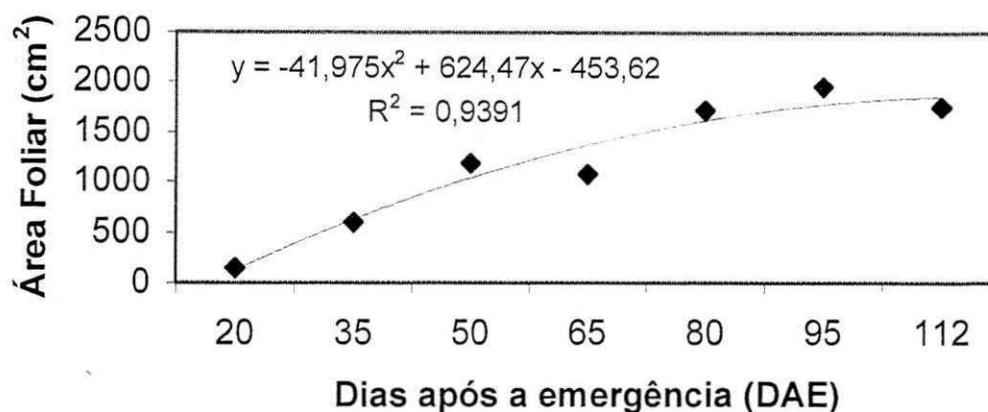


Figura 17. Área foliar das plantas em função do número de dias após a emergência.

4.6 - Índice de área foliar.

O índice de área foliar (IAF) mostra a dimensão do sistema assimilador de uma comunidade vegetal. Através do IAF, é possível avaliar a capacidade de rendimento de uma cultura, baseado no aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa (Benincasa, 1988).

Os valores médios do índice de área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, estão representados na Tabela 2, enquanto que as variações estão representadas em função do número de dias após emergência (DAE), ilustrada na Figura 18.

Tabela 2. Valores morfológicos médios dos parâmetros de crescimento: altura de plantas, área foliar e índice de área foliar.

Dias após a emergência	Caraterísticas do crescimento		
	Alt. Plantas (cm)	Área foliar (cm²)	IAF (cm²/cm²)
20	21,35	143,47	0,1594
35	30,93	596,47	0,6624
50	47,80	1.188,98	1,3211
65	63,13	1.077,00	1,1967
80	70,23	1.715,27	1,9059
95	73,87	1.956,68	2,1741
112	75,13	1.755,70	1,9508

Na tabela acima, os valores do índice de área foliar da cultivar BRS 200, foram obtidos quinzenalmente e as medidas foram tomadas aos 20 dias após emergência e finalizada na última semana da quarta fase, ou seja, aos 112 DAE. Durante o ciclo fenológico do cultivar BRS 200, o índice de área foliar máximo calculado foi 2,17

cm^2/cm^2 , observado aos 95 dias após emergência, muito embora sua média tenha sido em torno de $1,34 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$. Beltrão et al. (1990) afirmaram que a área foliar por planta do algodoeiro herbáceo cultivar CNPA Precoce 1, alcançou valor máximo aos 75 dias após emergência, fornecendo um índice de área foliar de $5,33 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

A curva descrita pelo índice de área foliar é semelhante á outras curvas observadas por outros autores para a cultura do algodão herbáceo (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Silva et al., 1998; Nóbrega et al., 2001). Para melhor entender as alterações ocorridas nos valores do índice de área foliar das plantas do algodão BRS 200, seu ciclo fenológico foi dividido em três etapas, uma inicial, intermediária e final.

A primeira etapa durou aproximadamente 50 dias após emergência, envolvendo as fases I e II. As alterações ocorridas no índice de área foliar das plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200, neste período foram bastante significativas, passando de $0,16$ á $1,32 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$. Os estudos de Beltrão et al. (1990) iniciaram com o índice de área foliar do algodão herbáceo cultivar CNPA Precoce 1, que nos primeiros 30 dias após emergência, alcançou um valor máximo observado de $0,45 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

A etapa intermediária que compreendeu a terceira fase e uma pequena parte da quarta fase, com duração em torno de 40 dias, indo dos 50 aos 90 dias após emergência. Nesse período, o índice de área foliar do cultivar BRS 200 atingiu seu valor máximo observado de $1,9059 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$. Verificado por Beltrão et al. (1989) o índice de área foliar no algodão herbáceo cultivar CNPA Precoce 1, foi de $5,53 \text{ m}^2/\text{m}^2$, observado aos 75 dias após emergência.

A etapa final teve início aos 90 dias após a emergência, período em que as plantas do algodoeiro atingiram suas áreas foliares máximas observadas e, por conseguinte, os índices de áreas foliares máximos, para logo em seguida, assumirem valores decrescentes até o final do ciclo fenológico. Observando-se ainda no gráfico a função que melhor representa o conjunto de dados, com coeficiente de determinação (r^2) de $0,93$ está expressa pela seguinte equação: $Y = -0,0466X^2 + 0,6938X - 0,5041$.

4.7 – Altura de plantas

Os valores médios quinzenais de altura das plantas do algodão BRS 200, foram obtidos através de uma régua graduada em centímetros, os quais estão apresentados na Tabela 2, enquanto suas variações em função do número de dias após emergência (DAE) estão ilustradas na Figura 19.

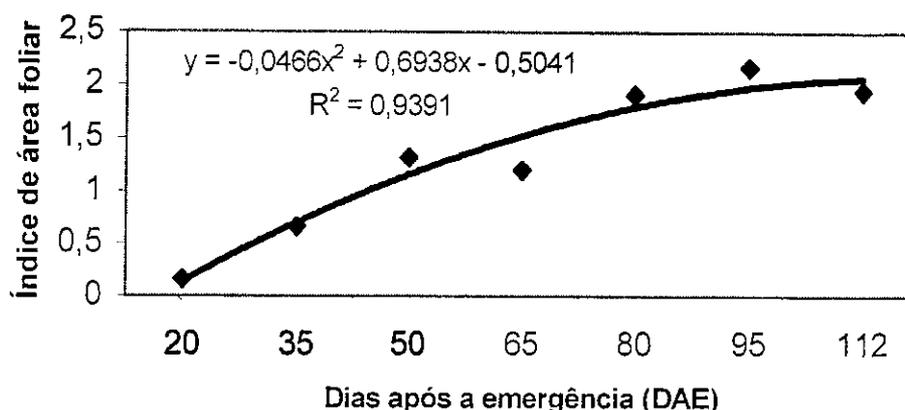


Figura 18. Índice de área foliar do algodoeiro BRS 200, em função do número de dias após a emergência

As medidas foram iniciadas na primeira semana da fase II, ou seja, 20 dias após emergência e finalizadas na última semana da quarta fase, isto é, 112 DAE. Durante o ciclo fenológico do cultivar BRS 200, a altura máxima obtida foi de 75,13 cm, aos 112 dias após emergência, a partir do crescimento total da cultura.

Silva et al. (1998) estudando os efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e tecnologia da fibra do algodoeiro herbáceo cultivar CNPA 6H, verificaram que no tratamento não estressado (TNE) a altura máxima medida foi 93,0 cm, embora a média aritmética das vinte plantas, tenha sido igual a 76,5 cm, verificado aos 86 dias após semeadura. Porém, no tratamento estressado (TE), a altura média das vinte plantas ficou em torno dos 71,6 cm, observado aos 72 dias após a semeadura. Ainda segundo os autores, as diferenças encontradas entre as alturas nos tratamentos podem ser atribuídas principalmente ao fator água. Beltrão et al. (1990) estudando o comportamento do algodoeiro herbáceo cultivar CNPA Precoce 1, para as condições médias do Sertão paraibano, sobre os padrões de crescimento e desenvolvimento, conduziram experimentos nos anos de 1986 e 1987. Observaram no primeiro ano mesmo com precipitações irregulares e solo não adubado, que a cultivar CNPA Precoce 1, alcançou altura máxima de 61,3 cm, enquanto que em 1987 com chuvas mais regulares e solo adubado, a cultivar atingiu altura máxima de 70,8 cm, observado aos 75 dias após emergência.

A curva característica de regressão obtida a partir dos valores da altura (H) em função do número de dias após emergência está representada na Figura 19. A função que

melhor caracteriza o conjunto de dados, coeficiente de determinação (r^2) de 0,98 está representada pela expressão: $H = -1,4787X^2 + 21,46X - 1,6314$ (cm).

Para Benincasa (1988) o uso de equações de regressão para representar a progressão de crescimento durante o ciclo fenológico, possibilita uma avaliação mais precisa das variações no padrão de crescimento de plantas em relação a um dado atributo. Magalhães (1979) analisando uma curva hipotética sobre o crescimento vegetal expresso em termos de peso seco, área foliar e altura de plantas, observou que existe inicialmente um período onde o crescimento desses dois valores primários e dessa característica é lento, seguido de uma etapa de rápido aumento de peso seco, altura e área foliar e finalmente uma redução no acúmulo de matéria seca, da área foliar e uma constância no valor da altura das plantas.

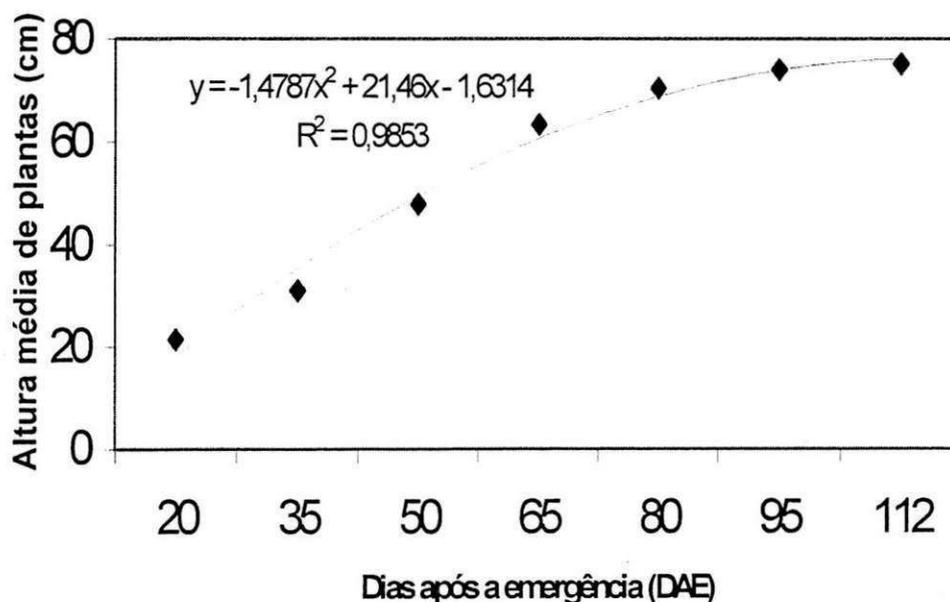


Figura 19. Altura de plantas do algodoeiro BRS 200, em função do número de dias após emergência

4.8 Evapotranspiração

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios, mínimos e máximos da evapotranspiração (ETc) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, estimados pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, assim como, o consumo hídrico do algodoeiro em suas diversas fases do ciclo fenológico

Tabela 3. Valores diários médios, mínimos e máximos da evapotranspiração e do consumo hídrico de cada fase fenológica considerada e do ciclo total do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom em Barbalha – CE, em 2003.

Fases fenológicas	Duração da fase (dias)	ETc (mm/dia)			Consumo hídrico acumulado (mm)
		Médio	Mínimo	Máximo	
I	15	5,0	3,9	6,0	75,0
II	39	5,0	3,8	6,8	195,0
III	31	6,2	5,0	7,7	192,2
IV	20	6,0	4,7	7,1	120,0
Média		5,5	4,3	6,9	-
Consumo hídrico total					582,2

De acordo com os dados da tabela, verificou-se que durante o desenvolvimento vegetativo, a cultivar BRS 200 teve um consumo hídrico diário médio, mínimo e máximo de 5,5 mm, 4,3 mm e 6,9 mm, respectivamente e um volume total acumulado de 582,2 mm. Na fase I (germinação plena) ocorreu o menor consumo hídrico médio (ETc = 3,9 mm). Observou-se também, um decréscimo nos valores médios diários da ETc em cada uma das fases do ciclo fenológico da fase inicial até a fase de crescimento vegetativo, aumentando até a fase de frutificação, diminuindo na fase de maturação, porém com valor médio superior ao da fase vegetativa. Foi observado um comportamento diferente no consumo médio diário da cultivar BRS 200 em relação ao algodoeiro herbáceo cultivar CNPA 6H observado por Bezerra et al. (1994) e Azevedo et al. (1993) com a cultivar CNPA Precoce 1 estudado através de evapotranspirômetro de lençol freático constante, foi observado um consumo hídrico na cultura maior na fase vegetativa quando comparado ao crescimento inicial. Enquanto Rodrigues (2003) usando o método da estimativa do balanço de energia através da razão de Bowen com o algodoeiro herbáceo cultivar BRS 201, obteve um consumo hídrico crescente da germinação da semente a fase final do ciclo fenológico. Este resultado pode ter sido influenciado pelo déficit hídrico no solo em função da área experimental ter ficado 28 dias sem ser irrigada, provocando uma menor evapotranspiração em decorrência da pouca disponibilidade de água à cultura. De acordo com Miranda e Pires (2001), o saldo de radiação no meio ambiente é distribuído nos processos de aquecimento do ar e das plantas calor sensível (H), para aquecimento do solo (G), para a

evapotranspiração e calor latente (LE). Significa que se uma superfície vegetada estiver bem suprida de água, a maior parte do saldo de radiação será usada no processo de evapotranspiração das plantas. Caso haja pouca disponibilidade hídrica no solo, o calor latente diminui, aumentando assim a fração de energia destinada para aquecimento do solo, do ar e das plantas.

Observou-se que o consumo hídrico do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, em todo o seu ciclo fenológico (582,2 mm) é menor do que o obtido com o evapotranspirômetro de lençol freático constante observado por Bezerra et al. (1994) e de 616,49 mm para o algodoeiro herbáceo cultivar CNPA 6H, em Ipanguaçu RN. Azevedo et al. (1993) utilizando a mesma metodologia, obteve para o algodoeiro herbáceo CNPA Precoce-1, um consumo de 440,0 mm. Silva et al. (2003) estudando o algodoeiro herbáceo BRS 201 em Sousa PB, observou um consumo hídrico de 450,9 mm usando o evapotranspirômetro de drenagem e de 517,0 mm através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas através deste trabalho de pesquisa foram:

- a) O fluxo médio diário de calor latente (LE), que representa o consumo hídrico da cultura, assim como o saldo de radiação (Rn), foi crescente da fase I até a fase III, a partir de então foi decrescente.
- b) A densidade de fluxo de calor no solo (G), bem como o fluxo de calor sensível (H), foi decrescente da fase I até o final do ciclo da cultivar BRS 200.
- c) Durante o desenvolvimento da cultura 87% da energia líquida disponível foi utilizada no processo de evapotranspiração do algodoeiro BRS 200. Da fase I para a fase II houve um incremento de 18,5% no consumo de energia líquida pelo aumento da área foliar.
- d) Observa-se que o comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia, antes e depois da irrigação, são semelhantes e que os valores máximos de Rn, LE, G e H depois da irrigação são inferiores aos valores alcançados pelos componentes antes e durante as mesmas.
- e) O consumo hídrico diário do algodoeiro cultivar BRS 200 – Marrom, estimado através do balanço de energia baseado na razão de Bowen, nas condições edafoclimáticas de Barbalha – CE, é em torno de 5,5 mm, para um volume total acumulado em todo o ciclo da cultura de 582,2 mm.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASE, J.K. Relationship between leaf and dry matter in winter wheat. **Agronomy Journal**, v.70, p.563-565, 1978.
- ALVES, A.V.; AZEVEDO, P.V. Balanço de radiação num cultivo de melão. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 10, 1997, Piracicaba.
- ANDERSON, M.C. Radiation and crop structure. In: Z. Sestak, J. Castsky, and P.G. Jarvis (eds) **Plant Photosynthetic Production..** The Haque. Juuk, p.412-466, 1971.
- ARKIN, G.F.; VANDERLIP, R.L AND RITCHIE, J.T. A dynamic grain sorghum growth model. *Transactions American Society of Garishly Engineering.*, v.19, p.622 – 626, 1976.
- AZEVEDO, P.V. de A., RAMANA RAO, T.V., AMORIM NETO, M. da SILVA et al. Estimativa do consumo hídrico de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 7., 1991, Viçosa. **Resumos...**Viçosa: Universidade federal de Viçosa, 1991. p.229-231.
- AZEVEDO, P. V. de; RAMANA-RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. da S.; BEZERRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.
- AZEVEDO, P.V. de; B.B.da; RAMANA RAO, T.V.; FROTA, R.N.B. e SOBRINHO, J.E. Modelos de estimativa da área foliar do algodoeiro herbáceo. **In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, VIII Porto Alegre. **Resumos**, p. 197, 1993b.
- AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; COSTA, J.P.R. Balanço de energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste. **In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**; 6, 1989, Maceió-Al. Anais 01: 427-425, 1989.

BARREIRO NETO, M. SOUZA, J.G de; BRAGA SOBRINHO, R.; VIEIRA, R. de M. Arquitetura da planta e queda de botões, flores e frutos em algodoeiro herbáceo tolerante à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.10, p.1085-1088, 1983.

BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.28, p.161-217, 1976.

BELTRÃO, N. E. de M. NÓBREGA, L. B. da., VIEIRA, D.J., et al. Crescimento e desenvolvimento da algodoeiro herbáceo de curta duração cultivar CNPA Precoce, no Sertão paraibano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1990. V 25, n. 7, p. 991 1001.

BELTRÃO, N. E. de M., CAVALCANTI, M. A. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, no semi-árido paraibano e suas relações com o bicudo. IN: EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 1989. 8p. (Comunicado Técnico, 32).

BELTRÃO, N.E. de M. VIEIRA, D.J.; NOBREGA, L.B. da; AZEVEDO, D.M.P.; SOUZA, R.P. & SILVA, S.F. – **Análise de crescimento do algodoeiro herbáceo de curta duração, cultivar CNPA precoce 1**. IN: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do algodão. Campina Grande, PB. **Relatorio Tecnico Anual – 1985-86**. Campina Grande, PB. 1988.

BELTRÃO, N.E. de M.; AZEVEDO, D.M.P. de **Defasagem entre as produtividades real e potencial no algodoeiro herbáceo: Limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais**. Campina Grande, PB: Embrapa-CNPA. 1993. 108p. (Embrapa CNPA, Documentos, 39).

BELTRÃO, N.E. de M.O. **Agronegocio do Algodão no Brasil**, Embrapa Algodão, organizador. Embrapa Comunicação para Transferencia de Tecnologia, v.1, p.92, 1999.

BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. Boletim informativo, FUNEP, Joticabal – SP, 1988. 42p.

BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.733-743, jul. 1988.

- BLACKMAN, G. E., Influence of light and temperature on leaf growth. In: F. L. Milthorpe (ed). **The growth of leaves**. Butterworths, London, p. 151 – 167, 1956.
- BEZERRA, J.R.C.; BARRETO, A. N.; SILVA, B. B. da; ESPÍNOLA SOBRINHO, J; RAMANA RAO, T. V.; LUZ, M. J. da S. e; MEDEIROS, J. D. de; SOUZA, C. B. de; SILVA, M.B. da **Consumo hídrico do algodoeiro herbáceo** In: EMBRAPA-CNPA (Campina Grande, PB). **Relatório técnico anual 1992-1993**. Campina Grande, 1994. p.151-154.
- BEZERRA, J.R.C. & LUZ, M.J. da L. Efeito do déficit hídrico do solo no rendimento do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum L*), In CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande. **Anais...**: Embrapa Agropecuária Oeste / Embrapa Algodão /UFMS, 2001. p. 680-682
- CHARLES-EDWARDS, D.A. Physiological determinants of crop growth. London, **Academic Press**, 1982. 235p.
- CLOTHIER, B.E.; CLAWSON, K.L.; PINTER, P.J.Jr.; M.S.; REGINATO, R.J. JACKSON, R.D. Estimation of heat flux net radiation during the growth of alfafa. *Agric. and Forest. Meteorol.*, 37: 319 – 329, 1986.
- CUNHA, G. R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1 – 14, 1996.
- DENMEAD, O.T.; FRITSCHEN, L.J. & SHAW, R.H. Spatial distribution of net radiation in a cornfield. **Agron.J.**, 54: 505-510, 1962.
- DONALD, W. GRIMES and LYIE M, CARTER A Linear Rule For Direct Nondestructive Leaf Area Measurements. **Agronomy Journal**, v.61, 1969.
- EATON, F.M. Physiology of cotton plant. **Annals Review Plants Physiology**, 6: 299-328, 1955.
- FELIPPE, G.M.; VALIO, I.F.M.; PEREIRA, M.F.A.; SHARIF, R.R.; VIEIRA, S.R.; **Fisiologia do Desenvolvimento Vegetal** – Rio de Janeiro. 66p, 1983.
- FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. 2ª.ed. São Paulo: EPU, Volume 2. 401p, 1986.
- FISCHER, R. A & HAGAM, R. M.; Plant water relations. Irrigation management and crop yield. **Experimental Agricultural**. v.1, p.101-117, 1965.

FREIRE, E. C. Algodão colorido: biotecnologia. **Ciências e desenvolvimento**, v.2, n.9 p.36-39, 1999.

FROTA, R.N.B. Comportamento fisiológico e morfológico da cultura do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* r.latifolium), irrigado nas condições do Nordeste Brasileiro, Campina Grande, (Tese de Mestrado), 1994.

GAASTRA. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. *Meded. Landbowhogesch.*, Wageningen 59: 1-68, 1958.

GATES, C.T. Water deficits and growth of herbaceous plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed), **Water Deficits and Plant Growth**, New York, Academic Press, vol.2, p.135-190, 1968.

GOSSE, G; VARLET-GRANCHER, C; BONHOMME, R; CHARTIER, M; ALLIRAND, J.M. & LEMAIRE, G. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert vegetal. **Agronomie.**, v.6, p.47-56, 1986.

GRIDI-PAPP, IL. Botânica e genética. INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. **Cultura e adubação do algodoeiro**. São Paulo, p.117-160, 1965.

GRIMES, D.W.; EL-ZIK, K.M Cotton. STWART, B.A; NIELSEN, D.R. Irrigation of agricultural crops. *Wisconsin: [s.n]*, p.741-773 (Série Agronomy, 30), 1990.

HANKIS, R.J.; BOWERS, S.A; BARK, I.D. Influence of soil surface conditions on net radiation, soil temperature and evaporation. **Soil Science**, 91: 233-238, 1961.

HEARN, A. Response of cotton water and nitrogen in tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen. **Journal of Agricultural Science**, v.p.407-417, 1975.

HODGES, T. & KANEMASU, E.T. Modeling daily dry mater production of winter wheat. **Agronomy Journal**, v.69, p.674-678, 1987.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annuals Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.570-591, 1973.

JACKSON, R.D.; PINTER. Jr.; P.J.; REGINATO, R.J. Net radiation calculated from remote multispectral and ground station meteorological data. *Agric. Forest. Meteorol.*, **35**: 153 – 164, 1985.

- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1990. 332p. (ASCE – **Manual and reports on engineering practice, 70**).
- KANEMASU, E.T.; STONE, L.R and POWERS, W.L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. **Agronomy Journal**, v.68, p.569 – 572, 1976.
- KING, E.J. **Water stress behavior of Pima cotton in Arizona**, U.S. Dep. Agr. Bull (1018): 1-24, 1922.
- KRAMER, P. J. Plant and Soil Water Relationships. A. Moderna Synthesis. McGraw-Hill, **Book Company**, Inc., New York 1969.
- KRUDEV, T.G. **Água, vida das plantas**. São Paulo. Ícone, 1994.178p.
- MAUNDY, J.R. Anatomy and morphology of cultivated cottons. In: KOHEL, R.J.;
- LEWIS, C.F. Cotton. Madison, Winconsin: **American Society of Agronomy**, 1984. p.58-80.
- MAYERS, J.D.; LAWN, BYTH, D.E. Agronomiy studies on soybean (*Glycinemax* (L.) Merrii) in the dry seasons of the tropics. I Limits to yield imposed by phenology. **Australlan Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.42, p.1075-1092, 1991.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In FERRI, M. G. (Coordenador). *Fisiologia vegetal I*. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. P 331-350.
- MILTHORPE, F.L. The relative importance of the different stages of leaf growth in determining the resultant area. In MILTHORPE, F.L. (Ed). *The Growth of leaves*. London: **Butterworths Scientific**, 1986, p.141-50.
- MIRANDA , J. H. de., PIRES, R. C. de M. Irrigação. Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia (FUNEP). Piracicaba, 2001, 410p.
- MONTEIH, J.L. Solar radiation and productivity in tropiacal ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, v.9, p747-766, 1972.
- MONTEITH, J.L Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annais of Botany.**, N.S. v.29, p.17-37, 1965.
- MONTEITH, J.L. and SZEICZ, G. Radioative temperature in the heat balance of natural surface. **Quarterly Journal of Royal Meteorology Society** v.88, p. 496-507, 1962.

MONTENY, B. Evapotranspiration de diferents couverts vegetaux in region mediterrané semi-áride. *Agric. Meteorol.*, 10: 19-38, 1972.

MOTA, F.S. Meteorologia Agrícola. Biblioteca Rural, Livraria S/A, 7ª ed, 376p, 1983.

MUCHOW, R.C. An analysis of the effects of water deficits on grains legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its use. **Field Crops Resesearch**, Amsterdam, v.11, p.309-323, 1985.

NEVES, O.S.; CAVALEIRI, P.A.; VERDADE, F.C.; JUNQUEIRA, A.A.B. e GRIDI-PAPP. **I L. Cultura e adubação do algodoeiro**. 67p. Editor Instuto Brasileiro de Potassa. São Paulo, 1986.

NÓBREGA, J. Q., FIDELIS FILHO, J. BELTRÃO, N. E. de M. et al. Analise de crescimento do algodoeiro irrigado com água de esgotos tratados e de abastecimento. In: III Congresso Brasileiro de Algodão. Campo Grande, MS, 2001. P. 431 –434.

OLIVEIRA, G.M. **Advecção sobre uma cultura de amendoim irrigado**. DCA/CCT/UFPB, Campina Grande – PB, 111p. 1998 (Dissertação de Mestrado).

OMETTO, A.C. Bioclimatologia Vegetal. Ed. **Agronômica Ceres**. São Paulo – SP, 1981. 225p.

OOSTERHUIS, D.M. Growth and development of a cotton plant. Fayetteville: University of Arkansas, **Arkansas Cooperative Extension Service**, 1922. 24p. (MP332-4M-92R).

OWONUBI, J.J.; KANEMASU, E.T. & POWER, W.L. The microclimate of marrow and wide-row sorghum with equal plant densities. **Agric, Meteorol.**, 15: 61-69, 1975.

PARRY, G. Le cotonneir et sés produites. Paris: **G.P. Missonneuve & Larose**, 502p, 1982.

PAYNE, W.; WENDT, C.W.; HOSSNER, L. R. and GATE, C.E. Estimating peari unilet leaf area and specific leaf area. **Agronomy Journal**, v.83, p. 937-941, 1991.

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

PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A., SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração. Fundação de Estudos Agrários Luís de Queiroz São Paulo, 1997. 183p.

- PEREIRA, A.B. SENTELHAS, P.C. NOVA, N.A.V. Estimativa do balanço de energia radiante em função de elementos climáticos. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v.6, n.2 p201-206, 1998.
- RAY, L.L.; WEDT, C.W.; ROARK, B.; QUISEMBERRY, J.E. Genetic modification of cotton plants for more efficient water use. *Agricultural Meteorology*, c.14, p.31-38, 1974.
- RITCHIE, J.T. Atmospheric and soil-water influences on the plant-water balance. *Agricultural Meteorology*, v.14, p.183-198, 1974.
- RITCHIE, J.T. BURNETT, E. Dryland. Evaporative Flux in a Subhumid Climate II. Plant Influence *Agronomy Journal*, v.63, p.51-55, 1971.
- ROBERTSON, G.W. Development of simplified agroclimatic procedures for assessing temperature effects on crop development. Plant response to climatic factors. **In: UPPSALA SYMPOSIUM/RESPONSE DES PLANTS AUX FACTEURS CLIMTIQUES**, 1973, Paris, Proceedings... Paris: UNESCO, 1973. p.327-43.
- RODRIGUES, M. F. G. Necessidades Hídricas, Crescimento e Desenvolvimento do Algodoeiro Herbáceo, cultivar BRS 201. Campina Grande: 2003. 132p. (Tese de Doutorado)
- ROSENBERG, N.J. Frequency of evapotranspiration rates in Central Great Plains. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Engers.*, 98 (2): 203 –206 p., 1972.
- ROSS, J. Mathematical models of photosynthesis in a plant stand. In: I. Seltik (ed) Prediction and measurement of photosynthesis production. Produc. Wageningen. The Netheriands, p.29 – 45, 1970.
- SALTER, R.Y. & GOOD, J.E. **Crop response to water at different stages of growth**. England. CAB. 1967. 246p.
- SHIBLES, R. M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation and dry matter production by soybeans. *Crop Science, Madison*, v.5, p.575-577, 1965.
- SILVA, B.B. da RAO, T.V.R., AZEVEDO, P.V. de, SOUZA, C.B.de. Quantificação de estresse hídrico em algodoeiro herbáceo com termometria infravermelha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, p.45-51, 1995.
- SILVA, B.B. da S. Estresse hídrico em algodoeiro herbáceo irrigado evidenciado pela termometria infravermelha. Campina Grande: 1994. 144p. (Tese de Doutorado).

SILVA, M. J. da., HOLANDA, A. F. de., MATIAS FILHO, J. Necessidades de água de irrigação no cultivo do algodoeiro no Nordeste brasileiro. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 1988. p. 179 – 181. (Relatório Técnico Anual 1985 – 1986).

SILVA, V. P. R da. Estimativa das necessidade hídricas da mangueira. Campina Grande: 2000.125p. (Tese de Doutorado).

SILVA, B. B. da; RODRIGUES, M. F. G.; AZEVEDO, P. V. de; BEZERRA, J. R. C.; BORGES, P. F. Energy balance in a cotton crop in Northeast of Brazil. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY, 25., 2002, Norfolk. **Anais**, Norfolk: American Meteorological Society, 2002. p.3-4.

SOUKUP, C.V.B.; PERECIM, D., DEMATTE,, M.E.P. Equações de regressão para estimativa de área foliar. **Aplicações a duas espécies de begônias**. Científica, v. 14, n. 1/2, p.93-99, 1986.

SOUZA, J.G. de.; SILVA, J.V. da. Influência da manipulação genética do teor de acumulação de amido na raiz sobre a fenologia do algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.9, p.1303-1309, 1992.

SOUZA, J.G. de; SILVA, J.V. da. Fenologia e fisiologia do algodoeiro arbóreo após a seleção para acúmulo de amido nas raízes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.6, n.9, p.145-148, 1994.

SOUZA, J.G.; SILVA, da Contribuição de material genético do algodoeiro de espécies selvagens para o melhoramento para as condições de escassez hídrica. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 7., 1993, Cuiabá. **Resumos**. Cuiabá: EMPAER, P.160, 1993.

SOUZA, J.G; BARROS, A.C.Q.T. e SILVA, J.V. Reservas de hidratados de carbono e resistência do algodoeiro herbáceo à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.269-273, 1983.

STOY, U. The translocation of C¹⁴ labelled photosynthetics from the leaf of the eap in wheat's. **Physiology of plants**. v.16, p.851-866, 1983.

TANNER, C.B. and JURY, W.A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. **Agronomy Journal**, v.68, p.239-243, 1976.

TEIXEIRA, A.H.C.; LIMA FILHO, J.M.P.; SOARES, J.M. Saldo de radiação e índice de área foliar na cultura da videira, conduzida em um sistema de latada. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 10,1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: **Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 1997, p.523.

THORNTHWAITE, C.W. and MATHER, J.R. The computation of soil moisture. **Publications in Climatology**, Cinteron, N.J., 7:397-402, 1955.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, 4: 101-145, 1952.

WELBANK, P. J.; FRENCH, S.A.W. and Witts, K.j. Dependence of yields of wheat varieties on the leaf area duration. **Annals of Botany**, v.30, p.291 – 299, 1966.

WENDT W CARLES. Use of relationship between leaf length and leaf area to estimate the leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), castors (*Ricinus communis* L.), and sorghum (*Sorghum vulgare* L.)¹ **Paginação e data.**

WILLAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. **Ann. Bot.**, v.10, n, p.40-72 1946.

WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S. e LELEY, C.R. Vegetive growth of com as affected by population density. II. Components of growth net assimilation rate and leaf area index. **Crop Science**, v.5, p.215-219, 1965.

YAO, A.Y.M. & SHAW, R.H. Effect of plant population and pattern on the radiation. **Agron. J.**, pp. 165-170, 1964.