

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

FLUXOS DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE
PASTAGENS NO AGRESTE MERIDIONAL PERNAMBUCANO

PATRÍCIA SOUSA DE SALES GONDIM

SOB ORIENTAÇÃO DOS PROFESSORES

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA
ANTONIO CELSO DANTAS ANTONINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Produção Agrícola, para obtenção do título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO - 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

FLUXOS DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE
PASTAGENS NO AGRESTE MERIDIONAL PERNAMBUCANO

PATRÍCIA SOUSA DE SALES GONDIM

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO - 2012

Ficha Catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

G637f Gondim, Patrícia Sousa De Sales
 Fluxos de energia, evapotranspiração e desenvolvi-
 mento de pastagens no agreste meridional pernambu-
 cano/ Patrícia Sousa De Sales Gondim. _Garanhuns,2012.

51f.

Orientador: José Romualdo de Sousa Lima
Dissertação (Curso de Mestrado Produção Agrícola –
Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade
Acadêmica de Garanhuns, 2012
Inclui bibliografia

CDD: 633.2

1. Pastagem
2. Pastagem – Pernambuco
3. Energia – Pastagem
- I. Lima, José Romualdo de Sousa
- II. Título

**FLUXOS DE ENERGIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE
PASTAGENS NO AGRESTE MERIDIONAL PERNAMBUCANO**

PATRÍCIA SOUSA DE SALES GONDIM

APROVADO EM: 10 DE JULHO DE 2012

SUZANA MARIA GICO LIMA
MONTENEGRO

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA
(Orientador)

ANTONIO CELSO DANTAS
ANTONINO (Co-Orientador)

Willames de Albuquerque Soares

DEDICATÓRIA

À meus pais

Fernando Antonio de Souza Gondim e Sandra Sousa de Sales Gondim.

Aos meus irmãos

Fernanda, Francisco, André e Miriam.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha família.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola (PGPA/UAG/UFRPE), pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor José Romualdo de Sousa Lima, pela confiança nas minhas proposições e suporte incondicional para a realização deste trabalho.

Ao Professor Antonio Celso Dantas Antonino pelo suporte experimental, sem o qual esse trabalho não poderia ser realizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros por meio do Projeto “Balanço hídrico e de energia em pastagens na microrregião de Garanhuns-PE” (processo 475094/2009-3), bem como pela bolsa de estudos (processo nº 148467/2010-5).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e de recursos para o Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola (PGPA/UAG/UFRPE).

À FACEPE pelos recursos financeiros por meio dos projetos “Impacto de mudanças climáticas sobre a cobertura e uso da terra em Pernambuco: geração e disponibilização de informações para o subsídio a políticas públicas” (Edital FACEPE 02/2009 - Mudança Climática Global) e “Dinâmica da Água e de Carbono em Ecossistemas no Estado de Pernambuco” (Edital FACEPE 12/2010 PRONEM/FACEPE/CNPq).

À FINEP pelos recursos financeiros por meio do projeto “Estudos hidrológicos e sedimentológicos em Bacias experimentais e representativas do semiárido e cerrado” (Edital MCT/FINEP CT-HIDRO 01/2010).

Aos amigos de turma do “Resto do Mundo”: Juliana, Denise, Larissa, Wéllinton, Ésio e a equipe do Laboratório de Solos da UAG/UFRPE pelo apoio.

Aos colegas de trabalho de campo pelo empenho e colaboração: Abraão, Apolo, Tadeu, Clarissa, Karol, Pollyanna, Lucas e Felipe.

A Rudi, pelo carinho, companheirismo e pelo importante auxílio na resolução das últimas etapas de minha dissertação.

BIOGRAFIA

Patrícia Sousa de Sales Gondim, filha de Fernando Antonio de Souza Gondim e Sandra Sousa de Sales Gondim, nasceu no interior da Paraíba na cidade de Areia, em 21 de maio de 1988.

Em 2010 graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias - Areia- PB.

No mesmo ano de conclusão do curso de graduação, ingressou no Programa de Pós-graduação em Produção Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, em Garanhuns – PE, sob a orientação do professor doutor José Romualdo de Sousa Lima, defendendo a dissertação em 10 de julho de 2012.

Durante o período em que foi aluna do Mestrado publicou 6 resumos simples, 18 resumos expandidos, 1 trabalho completo e enviou 2 artigos, dos quais 1 já foi aceito para publicação. Também participou como revisora ad hoc de 1 congresso brasileiro.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS	vi
BIOGRAFIA.....	viii
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1.INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1 Localização, clima e solo	16
2.2 Balanço de Energia	17
2.2.1 Balanço de Energia – método da razão de Bowen.....	17
2.2.2 Período de Medição e Instrumentação	21
2.3 Medições realizadas na cultura.....	21
2.3.1 Altura e biomassa das plantas	21
2.3.2 Área foliar e índice de área foliar	22
2.3.3 Evolução do sistema radicular	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1 Precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar	24
3.2 Altura da cobertura vegetal, número de folhas, índice de área foliar (IAF) e sistema radicular	27
3.3 Componentes do balanço de energia	31
3.4 Evapotranspiração	39
3.5 Cobertura Morta do Solo Acumulação de Biomassa	41
4. CONCLUSÕES.....	44
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	45

RESUMO

A atividade leiteira destaca-se como a principal atividade agropecuária do Agreste Meridional, sendo que esta região, apesar de apresentar índices pluviométricos maiores que os do Sertão, está sujeita á secas periódicas. A utilização eficiente da água na agricultura garante a produtividade da cultura, para tal, faz-se necessário estudar os processos de evapotranspiração da pastagem. Dessa forma, objetivou-se determinar os fluxos de energia e a evapotranspiração num Neossolo Regolítico cultivado com pastagens, em agricultura de sequeiro, na microrregião de Garanhuns-PE. Para a determinação do balanço de energia foi instalada uma torre no centro da área experimental, contendo dois sensores de medidas da temperatura e da umidade relativa do ar, e da velocidade do vento, em dois níveis ($z_1 = 50$ cm, e $z_2 = 100$ cm) acima do dossel da pastagem. Além desses sensores, foram instalados um piranômetro, um radiômetro, um sensor para a medição da direção do vento, e um pluviógrafo. Para a medida do fluxo de calor no solo, foram instalados fluxímetros em dois locais numa profundidade $z_1 = 5,0$ cm, juntamente com um sensor de umidade do solo na mesma profundidade, além de duas sondas térmicas instaladas horizontalmente nas profundidades de $z_1 = 2,0$ cm e $z_2 = 8,0$ cm. Todas as medidas foram armazenadas como médias a cada 30 minutos, a exceção da pluviometria onde foi calculado seu valor total e diário, em um sistema de aquisição de dados CR 1000 da Campbell Scientific. Foram realizadas ainda as seguintes determinações na pastagem: altura da cobertura vegetal (dossel), acumulação de biomassa, índice de área foliar e evolução do sistema radicular. A evapotranspiração da cultura, em média, foi de $1,5 \text{ mm d}^{-1}$, com um total de 543,43 mm. A maior parte do saldo de radiação (R_n), durante o período de análise da pastagem, foi consumida pelo fluxo de calor sensível (H), com 58%. O fluxo de calor latente consumiu 36% e o fluxo de calor no solo apenas 6% do R_n . A disponibilidade hídrica influenciou na produção de biomassa verde e no IAF, com as maiores produções de biomassa e IAF ocorrendo no período de maior disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

The dairy industry stands out as the main agricultural activity of the Wasteland South, and this region, despite having the highest rainfall of the Wild, is subject to periodic droughts. Efficient use of water in agriculture ensures the crop to this end to it is necessary to study the processes of evapotranspiration from pasture. Thus, the objective was to determine the energy fluxes and evapotranspiration in Entisol cultivated with pastures in rainfed agriculture, in the microregion of Garanhuns-PE. To determine the energy balance was installed a tower in the center of the experimental area, containing two sensors measure temperature and relative humidity, and wind speed at two levels ($z_1 = 50$ cm, e $z_2 = 100$ cm) above the canopy of the pasture. In addition to these sensors were installed a pyranometer, a radiometer, a sensor for measuring the wind direction, and a rain gauge charts. To measure the heat flow in the soil, flowmeters were installed in two places to a depth $z_1 = 5,0$ cm, with a soil moisture sensor at the same depth, and two horizontally installed in the thermal probes depths $z_1 = 2,0$ cm and $z_2 = 8,0$ cm. All the measurements mentioned above were stored as averages every 30 minutes, except where the rainfall was estimated their total value in a data acquisition system from Campbell Scientific CR 1000. There were also the following determinations in the pasture height of the vegetation cover (canopy), biomass accumulation, leaf area index and evolution of the root system. The evaporation of the culture, on average, of $1,5 \text{ mm d}^{-1}$, with a total of 543,43mm. Most of the net radiation (R_n), during the analysis of the pasture, has been consumed by the sensible heat flux (H) with 58%. The latent heat flux consumed 36% and the heat flow in the soil only 6% of R_n . The water availability influenced the production of green biomass and LAI, with the highest yields of biomass and LAI occurring in the higher water availability.

1. INTRODUÇÃO

As pastagens englobam aproximadamente 32% de toda vegetação natural do globo terrestre (Parton *et al.*, 1995). No Brasil, segundo dados do Censo Agropecuário de 2006 do IBGE, existem aproximadamente 172 milhões de hectares cultivados com pastagens sendo elas naturais e plantadas. No estado de Pernambuco a área ocupada com pastagens é de 2.506.730 ha, já a área ocupada por pastagens na mesorregião do Agreste Pernambucano é de 1.066.776 ha, sendo que 276.613 ha estão situados na microrregião de Garanhuns (IBGE, 2008).

A atividade leiteira destaca-se como uma das principais fontes de renda do Agreste meridional de Pernambuco. Uma característica importante da pecuária brasileira é ter a maioria de seu rebanho criado a pasto (Ferraz & Felício, 2010), a alimentação do rebanho à base de pasto é a forma mais barata de explorar gado de leite.

No Brasil, a *Brachiaria decumbens* Stapf. foi introduzida, vinda da África do Sul, como uma espécie de forrageira perene apresentando excelentes características na produção de massa foliar de boa qualidade e boa resistência ao pastoreio intensivo e ao pisoteio, especialmente em vastas regiões do Brasil Central (Bianco *et al.*, 2000). As espécies do gênero *Brachiaria* pertencem ao grupo de plantas C4, com alto poder de rebrota sob condições de intensa desfolhação (Fisher & Kerridge, 1996). A produção de tecidos novos nessas forrageiras ocorre simultaneamente à perda de tecidos velhos por senescência e morte (Hodgson, 1990; Maraschin, 1996).

A *B. decumbens* é uma espécie resistente à seca, adaptando-se bem em regiões tropicais úmidas, sendo pouco tolerante ao frio. A espécie se desenvolve bem em vários tipos de solos, no entanto, requer boa drenagem e condições de média fertilidade, vegetando bem em terrenos arenosos e argilosos. A planta adapta-se bem em altitude desde o nível do mar até 1.750 m, sendo a temperatura ótima para seu crescimento de 30 a 35°C (Vilela, 2011).

A produção de qualquer cultura é dependente de uma série de fatores. A *Brachiaria decumbens* apesar de ser uma espécie resistente à seca, não é diferente, exigindo para produtividades elevadas, condições edafoclimáticas favoráveis. O excesso ou falta de água e de nutrientes são fatores limitantes a produção. Dessa forma, o conhecimento da

quantidade de água consumida pela cultura durante todo o seu ciclo é de grande importância, principalmente, para o estudo sobre o uso da água pela cultura, bem como a dinâmica de absorção de nutrientes. Atualmente, os recursos hídricos estão cada vez mais escassos devido à poluição. Dessa forma, a utilização da água de forma eficiente pode auxiliar na resolução dos problemas de escassez, estabilizar e garantir a produção.

O manejo adequado da pastagem implica em conhecer os padrões de crescimento e desenvolvimento da cultura, fazendo com que as fases de maior necessidade hídrica da planta coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar, permitindo que a cultura atinja o seu maior desenvolvimento e produtividade. A energia utilizada nos processos metabólicos das plantas, de transferência de água de uma superfície para a atmosfera, de aquecimento e resfriamento do ar e solo, é proveniente da radiação solar (Pezzopane & Pedro Júnior, 2003). Os estudos sobre as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes, não só para caracterizar o microclima local, como identificar interações existentes entre elas. De acordo com Oliveira *et al.* (2006) esses estudos fornecem informações sobre a quantidade de umidade transferida para atmosfera por uma área vegetada, seja por uma vegetação rasteira ou de médio porte.

Os estudos sobre a evapotranspiração fornecem informações relativas à quantidade de água consumida pelas plantas, fornecendo dados para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação. Praticamente, toda a água de que as plantas necessitam para realizar suas funções vitais, é extraída pelo sistema radicular e perdida para a atmosfera pelo processo de evapotranspiração, sendo necessário que a mesma seja devolvida à planta, por meio da precipitação ou da irrigação, podendo comprometer o desenvolvimento e produção da cultura (Montenegro & Bezerra, 2004). A quantificação da evapotranspiração, mesmo em agricultura de sequeiro, é muito importante, pois possibilita estratégias de manejo em função das condições climáticas da região e hídricas do solo (Souza *et al.*, 2009).

Os fluxos de água e de energia, e conseqüentemente a evapotranspiração, são influenciados pelo tipo funcional da planta, pelo tempo e pelas propriedades físicas do solo (Baldocchi *et al.*, 2004). Os fatores ligados a vegetação estão relacionados à distribuição espacial da folhagem resistência interna da planta ao transporte de água e outros fatores

morfológicos como número, tamanho e distribuição dos estômatos, que diferem de acordo com a espécie vegetal (Santos, 2009).

A evapotranspiração pode ainda ser afetada pelo tipo e estágio da cultura, pelo tipo e quantidade de restos culturais sobre a superfície do solo, pelo teor de água, cor, textura e estrutura do solo (Klein, 2008).

Para se compreender a troca de água entre a atmosfera e as culturas faz-se necessário examinar os padrões de variação sazonal nos fluxos de água desses ecossistemas. Esses estudos podem ser feitos por meio da medição e/ou simulação, em longo prazo, dos componentes dos balanços de água. Numerosos modelos têm sido desenvolvidos para simular as trocas de água no continuum solo-planta-atmosfera, os chamados modelos SVATs. A validação destes modelos é escassa para as áreas mais desenvolvidas do mundo e, até o momento, nenhuma foi apresentada para as condições do nordeste brasileiro, devido, provavelmente, à escassez de dados.

A evapotranspiração pode ser quantificada por modelos hidrológicos (balanço hídrico do solo e lisímetro de pesagem), modelos micrometeorológicos – balanço de energia (razão de Bowen, método aerodinâmico, correlação de turbilhões) e modelos fisiológicos em vegetais (método do fluxo de seiva e câmara de pressão) (Rana & Katerji, 2000).

O método do balanço de energia baseia-se na análise do balanço energético dos ganhos e perdas de energia térmica radiativa, condutiva e convectiva por uma superfície evaporante, utilizado frequentemente para se estimar a evapotranspiração de uma superfície vegetada (Borges *et al.* 2008).

Por se tratar de um método prático, o método da razão de Bowen que considera a relação $\beta = H/LE$, vem sendo bastante utilizado por vários autores como Bergamaschi *et al.* (1988), Medeiros (1990), Allen *et al.*, (1998), Sauer *et al.* (1998), Perez *et al.* (1999), Teixeira (2001), Toledo Filho (2001); Nagler *et al.* (2005), Oliveira *et al.*, (2009); Lima *et al.* (2011), Esteves (2011), para estimar os componentes do balanço de energia e da evapotranspiração.

A evapotranspiração é controlada pela troca de energia na superfície vegetada, limitada pela energia disponível, sendo possível se estimar o fluxo de calor latente de

evaporação através do princípio de conservação da energia, em que o ganho é igual à perda. Desta forma, a evapotranspiração é calculada através da fórmula simplificada da equação do balanço de energia, composta pelo saldo de radiação (R_n), pelos fluxos de calor latente (LE) e sensível na atmosfera (H) e pelo fluxo de calor no solo (G) (Teixeira, 2001).

De acordo com Moura (2005), o saldo de radiação (R_n) representa a contabilização entre a radiação de ondas curta e longa incidentes e a refletidas pela superfície. O fluxo de calor latente (LE) envolve transferência de massa da superfície do sistema solo-planta para a atmosfera, tendo como resultado a evaporação da água. Por sua vez, o fluxo de calor sensível (H) é o resultado da diferença entre as temperaturas do ar e da superfície e o aquecimento da superfície pela radiação solar é definido como o fluxo de calor do solo (G).

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo determinar os processos de transferência de energia em solo cultivado com pastagens na microrregião de Garanhuns-PE, pelo método do balanço de energia-razão de Bowen. Os objetivos específicos foram:

1. Caracterizar os padrões da variação sazonal e diária nas trocas de água e de energia entre a pastagem e a atmosfera;
2. Avaliar os componentes do balanço de energia em pastagem, utilizando o método da razão de Bowen;
3. Quantificar a evapotranspiração da pastagem, pelo balanço de energia;
4. Analisar a influência da cobertura vegetal na partição dos componentes do balanço de energia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização, clima e solo

As medidas para a realização do balanço de energia foram efetuadas numa área de 23,42 ha de pastagem de *Braquiaria decumbens* Stapf, cultivadas na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, na mesorregião do Agreste meridional do estado de Pernambuco, com coordenadas geográficas 8° 52' 30" de latitude sul, 36° 22' 00" de longitude oeste e altitude de 705 m (Figura 1). De acordo com Borges Júnior et al. (2012), o clima é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. As médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, 21,1oC e 82,5%, com precipitação pluvial de 897 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos maio, junho, julho e agosto. O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico (Santos et al., 2012).

A área está situada na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, que engloba municípios dos estados de Pernambuco e Alagoas. A porção compreendida no território pernambucano (Unidade de Planejamento Hídrico UP6) localiza-se entre as coordenadas 08° 41' 34" e 09° 14' 00" de latitude sul, e 36° 03'36" e 36° 37' 27" de longitude oeste. A bacia do rio Mundaú limita-se ao norte com a bacia do rio Una (UP5), ao sul com Estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 1 -GI1 (UP20), a leste com a bacia do rio Una e com o Estado de Alagoas e, a oeste, com o grupo GI1 e com a bacia do rio Una. A bacia do rio Mundaú, em toda sua extensão, tem uma área de 4.090,39 km², dos quais 2.154,26 km² no Estado de Pernambuco (2,19% da área do estado). A área de drenagem da bacia em Pernambuco envolve 15 municípios. Dentre estes, 4 municípios estão inseridos em sua totalidade, quais sejam Angelim, Correntes, Palmerina e São João. Os municípios com sede na bacia são Caetés, Canhotinho, Garanhuns e Lagoa do Ouro. Os municípios de Brejão, Calçado, Capoeiras, Jucati, Jurema, Jupi e Lajedo estão parcialmente inseridos na bacia (APAC, 2012).



Figura 1 – Mapa de localização da área experimental

Foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo a cada 20 cm até a profundidade de 60 cm para a realização da análise física do solo, constando de granulometria, classificação textural e densidade (aparente e real), cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica, classificação textural e densidade (do solo e de partículas) da área experimental na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, 2011

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Classificação Textural	Densidade (g cm ⁻³)		Porosidade Total (%)
	Areia	Silte	Argila		solo	partículas	
0-20	87,65	8,82	3,53	Areia	1,52	2,65	42,64
20-40	81,65	12,02	6,33	Areia franca	1,41	2,65	46,80
40-60	76,41	16,21	7,38	Areia franca	1,41	2,65	46,80

2.2 Balanço de Energia

2.2.1 Balanço de Energia – método da razão de Bowen

Para a realização do balanço de energia foi instalada uma torre micrometeorológica (Figura 2) no centro da área experimental contendo sensores de medidas da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento, em dois níveis ($Z_1= 50,0$ cm e $Z_2= 100,0$ cm) acima do dossel da cultura. Além desses sensores, foi instalado um piranômetro, para a medida da radiação global, um

radiômetro para as medições do saldo de radiação e um pluviógrafo, para a medida da precipitação pluvial, sendo estes sensores instalados na mesma torre, numa altura de 2,0 m da superfície do solo. Para as medidas de fluxo de calor no solo, foi instalado um fluxímetro na profundidade de 5,0 cm, juntamente com um sensor de umidade do solo (TDR) na mesma profundidade, além de duas sondas térmicas instaladas horizontalmente nas profundidades de $Z_1 = 2,0$ cm e $Z_2 = 8,0$ cm. Todas as medidas citadas acima foram armazenadas como médias a cada 30 minutos, à exceção da pluviometria onde foi calculado seu valor total, em um sistema de aquisição de dados CR 1000 da Campbell Scientific.



Figura 2 – Torre micrometeorológica automatizada instalada na área experimental para a realização do balanço de energia

O fluxo de calor na superfície do solo (G), foi dado de acordo com Kustas *et al.* (2000):

$$G = G_p + \frac{\Delta T_s CD}{t} \quad (1)$$

sendo G_p a medição do fluxo de calor pelo fluxímetro, ΔT_s a variação na temperatura média do solo ($^{\circ}\text{C}$) durante o período de medição, C a capacidade térmica volumétrica do solo ($\text{MJ m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), D a profundidade do fluxímetro (m) e t a duração do período de medição (s).

O valor de C foi estimado somando-se as capacidades caloríficas dos vários constituintes do solo, ponderados de acordo com suas frações de volume, com base em de Vries (1966):

$$C = 1,92 f_m + 2,51 f_o + 4,18 \theta \quad (2)$$

sendo: f_m a fração de volume dos minerais, f_o a fração de volume da matéria orgânica e θ a umidade volumétrica do solo.

O balanço de energia na superfície do solo é determinado por meio da seguinte equação (Perez *et al.*, 1999):

$$R_n = G + H + LE \quad (3)$$

sendo: R_n o saldo de radiação (W m^{-2}); G o fluxo de calor no solo (W m^{-2}); H o fluxo de calor sensível (W m^{-2}) e LE o fluxo de calor latente (W m^{-2}).

A partição da energia disponível ($R_n - G$) entre o fluxo de calor latente e calor sensível foi obtida pelo método do balanço de energia - razão de Bowen, baseado na razão das densidades de fluxo de calor sensível e calor latente, sendo determinada pela razão entre as diferenças na temperatura do ar e na pressão de vapor em dois níveis (Perez *et al.*, 1999):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (4)$$

sendo γ a constante psicrométrica ($0,066 \text{ kPa }^{\circ}\text{C}^{-1}$); ΔT a diferença de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Δe a diferença de pressão de vapor (kPa).

A pressão de vapor foi obtida pela seguinte equação:

$$e_a = UR * e_s / 100 \quad (5)$$

sendo UR a umidade relativa do ar (UR, %) no nível de medição de 1,00 m e e_s a pressão de saturação de vapor, a qual foi dada de acordo com Murray (1967):

$$e_s = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \quad (6)$$

A partir das medições do saldo de radiação (Rn), do fluxo de calor no solo (G) e das diferenças de temperatura do ar (ΔT) e de pressão de vapor (Δe), juntamente com a equação do balanço de energia (equação 3), utilizando-se a razão de Bowen (β) (equação 4), procedeu-se o cálculo dos fluxos de calor latente (LE) (equação 7) e calor sensível (H) (equação 8):

$$LE = \frac{(Rn - G)}{1 + \beta} \quad (7)$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (Rn - G) \quad (8)$$

A taxa de evapotranspiração (mm) foi obtida dividindo-se o fluxo de calor latente pelo calor latente de vaporização, considerado como constante (2,45 MJ kg⁻¹).

Para se evitar possíveis erros na estimativa dos fluxos de calor latente e de calor sensível, os valores da razão de Bowen menores do que -0,75 (Ortega-Farias *et al.*, 1996), bem como aqueles valores nos quais as medições dos gradientes de temperatura e de pressão de vapor forem menores do que o limite de resolução dos sensores (Ohmura, 1982), foram eliminados, sendo estes substituídos por interpolação dos valores precedentes e subsequentes válidos.

A evapotranspiração de referência (ET₀) foi obtida pelo modelo de Penman-Monteith padrão FAO, de acordo com Allen *et al.* (1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (9)$$

sendo Δ a declividade da curva de pressão de vapor em função da temperatura (kPa °C); R_n a radiação líquida total diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); $(e_s - e_a)$ o déficit de pressão de vapor do ar para a altura de referência medida (kPa); γ a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) e u_2 a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}).

A inclinação (Δ) da curva de pressão de vapor em função da temperatura (kPa °C⁻¹) foi obtida a partir da equação (Allen et al., 1998):

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{T + 237,3} \quad (10)$$

sendo T a temperatura do ar (°C), medida no nível $z_2 = 1,00$ m.

O saldo de radiação (R_n) e o fluxo de calor no solo (G) foram obtidos por meio de saldo radiômetro e de fluxímetros, respectivamente, instalados na torre micrometeorológica. Já a temperatura do ar será obtida por termômetro, também instalados na torre micrometeorológica. Os valores de velocidade do vento foram obtidos de anemômetros instalados na torre micrometeorológica.

2.2.2 Período de Medição e Instrumentação

O estudo dos componentes do balanço de energia foi realizado em solo cultivado com pastagem (*Braquiaria decumbens* Stapf), durante todo o ano de 2011, sendo considerado dois subperíodos: período seco (janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro) e período úmido (abril, maio, junho, julho e agosto). Para a escolha dos subperíodos, levou-se em consideração a precipitação pluvial de anos anteriores ao da pesquisa.

2.3 Medições realizadas na cultura

2.3.1 Altura e biomassa das plantas

Para a medição da altura e da quantidade de biomassa viva foram coletados em 5 pontos de 1 m^2 escolhidos aleatoriamente e amostradas uma vez por mês. Foram coletadas 45 amostras entre o período de março a dezembro de 2011.

Para a amostragem, foram feitas a retirada manual do material morto da área demarcada (1 m²). Para a obtenção da fração do material vivo, primeiramente cortaram-se rente ao solo, as plantas selecionadas obtendo assim a planta com todas as suas partes (folha verde, material morto e perfilhos). O material removido foi acondicionado em sacolas plásticas, evitando-se a perda de umidade da amostra. Todo este material foi pré-pesado no Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, logo após a amostragem, e depois foi colocado para secar em uma estufa durante um período de 72 horas a uma temperatura de 80 °C, onde então avaliou-se sob uma nova pesagem, a quantidade de água que a planta possuía e o peso do material orgânico gerado.

2.3.2 Área foliar e índice de área foliar

Para medição do índice de área foliar foram escolhidas as mesmas plantas que foram realizadas as medições de altura e biomassa. Essas medidas foram efetuadas no período de março a dezembro de 2011.

A área foliar foi obtida pela seguinte equação:

$$AF = C * L * fc \quad (11)$$

sendo: C, o comprimento das folhas; L, a largura da folha e fc, o fator de correção. O fc (0,75) corresponde ao valor de correção para área da folha individualmente.

A área foliar total (AFT) foi obtida multiplicando-se a AF pelo número total de folhas da amostra.

O índice de área foliar (IAF) foi obtido por meio da seguinte equação:

$$IAF = \frac{AFT}{AS} \quad (12)$$

sendo AFT, a área foliar (m²) e AS, a área de solo ocupado, que na referida pesquisa foi de 1 m².

2.3.3 Evolução do sistema radicular

Nos mesmos períodos em que se realizavam as medições de altura, biomassa, área foliar e índice de área foliar, foram realizadas coletas do sistema radicular da pastagem, para se determinar a densidade das raízes.

Em trincheiras de 90 x 60 x 80 cm de comprimento, largura e profundidade respectivamente, foram retiradas monólitos de 10 x 10 x 10 cm. O perfil analisado foi de 50 cm de profundidade por 50 cm de largura. Foram avaliadas as seguintes características: biomassa de raízes e distribuição espacial das raízes ao longo do perfil analisado. As raízes contidas nas amostras foram submetidas à rigorosa limpeza, com água corrente e peneira e postas para secar em temperatura ambiente, identificadas e em seguida, colocadas em saco de papel e pesadas em balança de precisão (0,0001 g). Para a distribuição espacial das raízes e posterior verificação da profundidade efetiva do sistema radicular, foi levado em consideração o peso total das raízes nos perfis analisados e o peso das raízes em cada monólito.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar

Neste tópico serão apresentados os fatores climáticos e de solo que influenciam no desenvolvimento da *Brachiaria decumbens* e nos componentes do balanço de energia.

Na Figura 3 é apresentada a precipitação pluvial diária e a umidade volumétrica (medida a 5 cm de profundidade) durante o período de 01/01/2011 a 31/12/2011, já a Figura 4 apresenta o total mensal para o mesmo período.

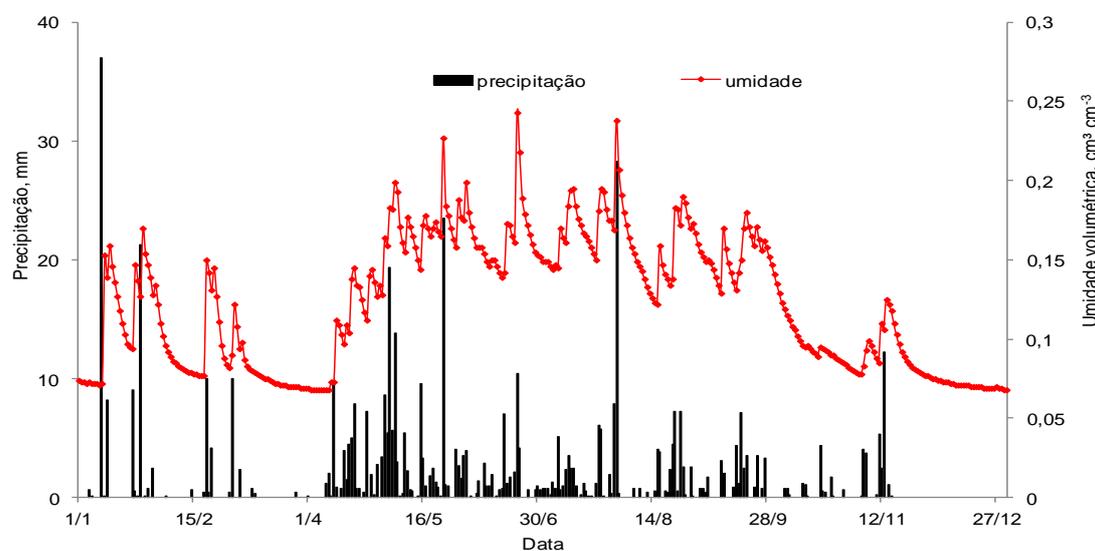


Figura 3 - Precipitação pluvial diária e umidade volumétrica durante o período de 01/01/2011 a 31/12/2011 em São João – PE

Durante o ano de 2011, o total de água precipitada foi de 523,7 mm, apresentando uma maior concentração de chuva nos meses de janeiro, abril, maio e julho (Figura 4). Estes meses apresentaram uma precipitação pluvial de 80,3 mm, 54,8 mm, 119,3 mm e 77 mm, respectivamente. O maior evento de chuva ocorreu no dia 10/01/2011 com 37 mm (Figura 3), sendo considerada uma precipitação pluviométrica típica para a região nesse período. Verificou-se que dos 365 dias estudados, 190 dias não apresentaram precipitação pluvial, no entanto as chuvas foram bem distribuídas regularmente no período de 08/04 a 29/09, onde ocorreu um total de chuvas de 372,6 mm, ou seja, 71,15% da precipitação total. Verifica-se ainda que a partir do dia 17/11 ocorreu escassez de chuvas.

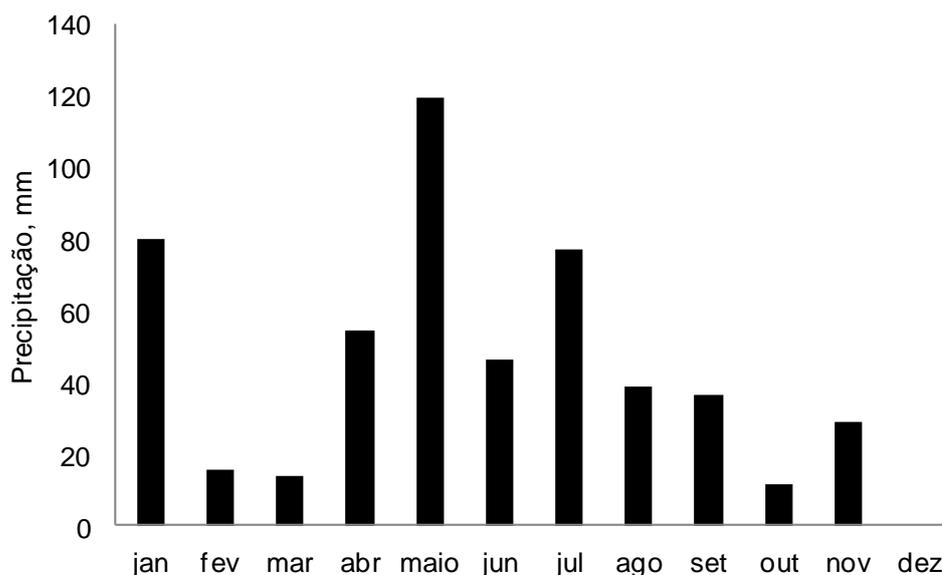


Figura 4 - Precipitação pluvial mensal durante o ano de 2011 em São João – PE

Com relação à umidade volumétrica do solo (Figura 3), observa-se que o solo durante o período mais seco (meses de janeiro a março e setembro a dezembro) se encontrava com valores próximos de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, já durante o período úmido (meses de abril a agosto) os valores máximos ficaram próximos de $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A umidade volumétrica média do solo para o período analisado foi de $0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Esses valores são condizentes com a classe de solo (Neossolo Regolítico) da área experimental, os quais possuem elevados teores de areia (80-90%).

O comportamento médio horário mensal da temperatura do ar e da umidade relativa, para os períodos secos e úmidos, é apresentado na Figura 5. De forma geral, não houve variação de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e da umidade relativa (%) nos dois níveis (50 e 100 cm acima do solo). À medida que a temperatura do ar se elevava, a umidade relativa do ar era reduzida. Durante o período chuvoso (Figura 5B), a temperatura média diária esteve sempre inferior àquela no período menos chuvoso (Figura 5A), com exceção de poucos dias. A temperatura média, no período chuvoso nos dois níveis, foi $20,81 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e para o período seco foi $21,75^{\circ}\text{C}$ e $22,66 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para 50 e 100 cm, respectivamente. A maior temperatura do ar no período seco é consequência do maior aquecimento da superfície. Observa-se ainda que a umidade relativa do ar esteve sempre superior no período chuvoso que no período seco. A umidade relativa média, no período chuvoso foi de 83,40% e 83,85% para os dois níveis e para o período seco foi de 73,40% e 74,76% para 50 e 100 cm, respectivamente. Pereira *et al.* (2002) afirmam que

quanto maior a umidade relativa do ar, menor será a demanda evaporativa e menor a evapotranspiração da cultura.

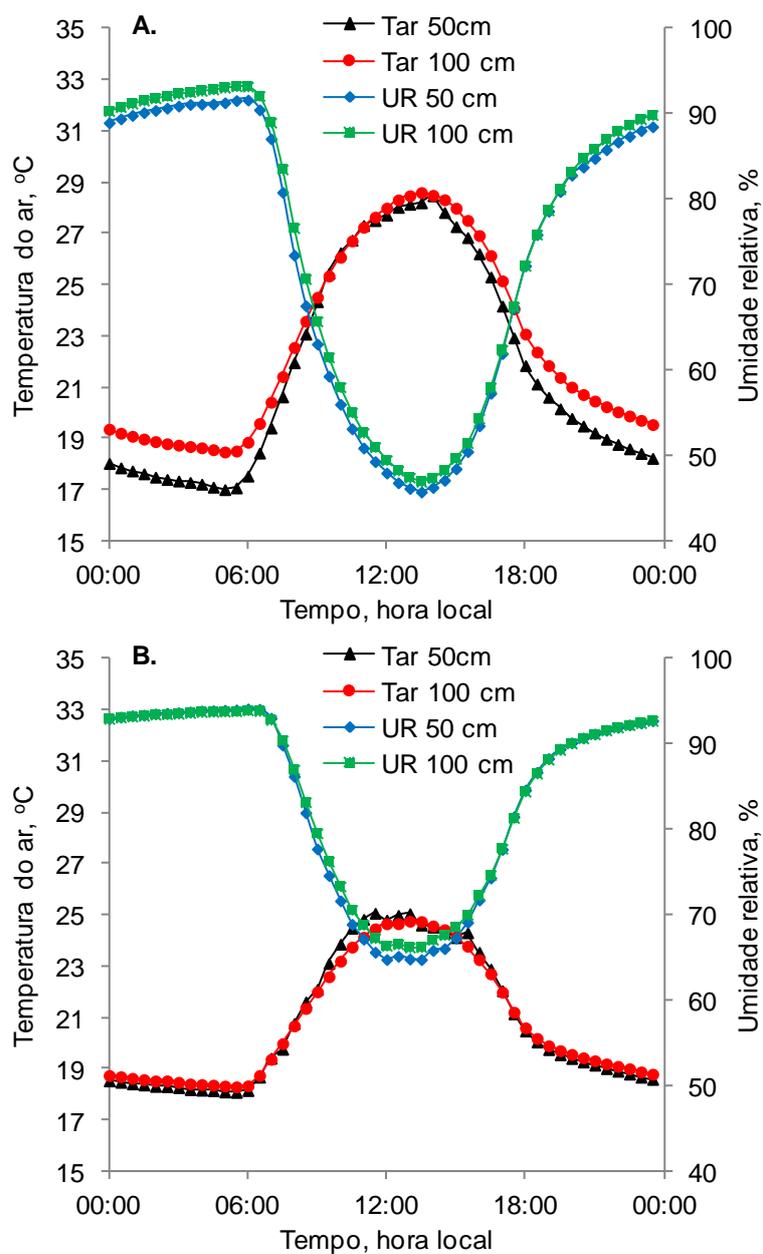


Figura 5 - Média horária mensal da temperatura e umidade relativa do ar em *Brachiaria decumbens* no município de São João, PE, para o período seco (A) e úmido (B)

3.2 Altura da cobertura vegetal, número de folhas, índice de área foliar (IAF) e sistema radicular

Neste item serão apresentados os resultados referentes às características da parte aérea e radicular da *Brachiaria decumbens* que influenciam na partição dos fluxos de energia, na absorção de água do solo, e consequentemente no fluxo evaporativo.

As figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, a evolução da altura de plantas e número de folhas, durante o período de 28/03 a 21/12/2011.

Observa-se na Figura 6 que a altura média da cobertura vegetal no início das medições (28/03/2011) foi de 69,1 cm, e que a pastagem atingiu uma altura de 73,8 cm no mês de maio (16/05/2011), para em seguida ocorrer um declínio da altura da altura. Isto provavelmente ocorreu devido ao pastejo dos animais na área e também pela redução da precipitação pluvial, como pode se observar nas Figuras 3 e 4.

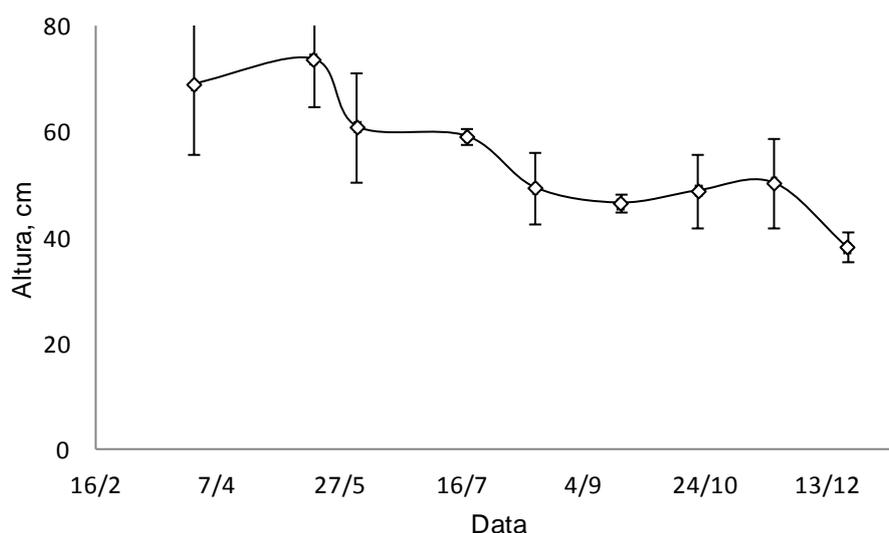


Figura 6 - Evolução da altura de *Brachiaria decumbens* no período de 28/03 a 21/12/2011 em São João-PE. Cada ponto representa a média de cinco plantas. As barras indicam o desvio padrão

Observa-se na figura 7 que o número de folhas é maior no período chuvoso com declínio no período seco. Esse fato deve-se provavelmente ao pastejo, diminuição da precipitação e muitas folhas entrarem em estágio de senescência. No início do período chuvoso (maio) o número de folhas por m² é de 975. Neste período houve uma possível ação conjunta tanto dos processos climáticos, como o baixo pastejo. No período seco (dezembro) ocorreu um declínio de 74,25% do número de folhas por m². A evolução do

número de folhas por m² acompanha a evolução e posterior declínio da altura da pastagem, à medida que o gado está sobre a área e a precipitação pluvial é reduzida.

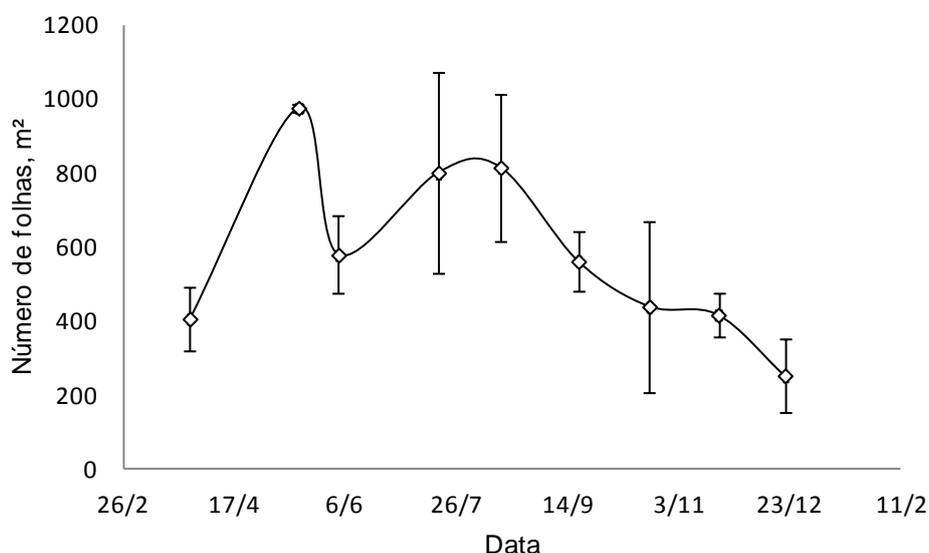


Figura 7 - Evolução do número de folhas de *Brachiaria decumbens* no período de 28/03 a 21/12/2011 em São João-PE. Cada ponto representa a média de cinco plantas. As barras indicam o desvio padrão

Os valores de índice de área foliar (IAF) de *Brachiaria decumbens* encontram-se na Figura 8. Observa-se que a pastagem atingiu valor médio de IAF de 0,81 m² m⁻². Valores máximos médios de IAF foram atingidos no período chuvoso (1,32 m² m⁻²) e depois esses valores diminuíram na estação seca (0,41 m² m⁻²), sendo que o aumento correspondeu ao início das precipitações e a continuidade ao longo do experimento, entretanto a não linearidade pode ser justificada pelo pasto estar em pleno pastejo com gado bovino, assim havendo a decapitação da massa superior da pastagem.

Esses valores de IAF estão abaixo daqueles encontrados por Zanchi *et al.* (2009), que avaliaram o IAF em pastagem formada predominantemente de *Urochloa brizantha*, no estado de Rondônia e encontraram valores médios de 2,5 m² m⁻².

Meirelles *et al.* (2003), trabalhando na região central do Cerrado – GO, avaliando o IAF em *Brachiaria brizantha* obtiveram valores semelhantes (0,4 m² m⁻² no início do experimento e 1,1 m² m⁻² no início da estação chuvosa), sendo que esses valores foram obtidos em um período de forte precipitação e não pastoreio.

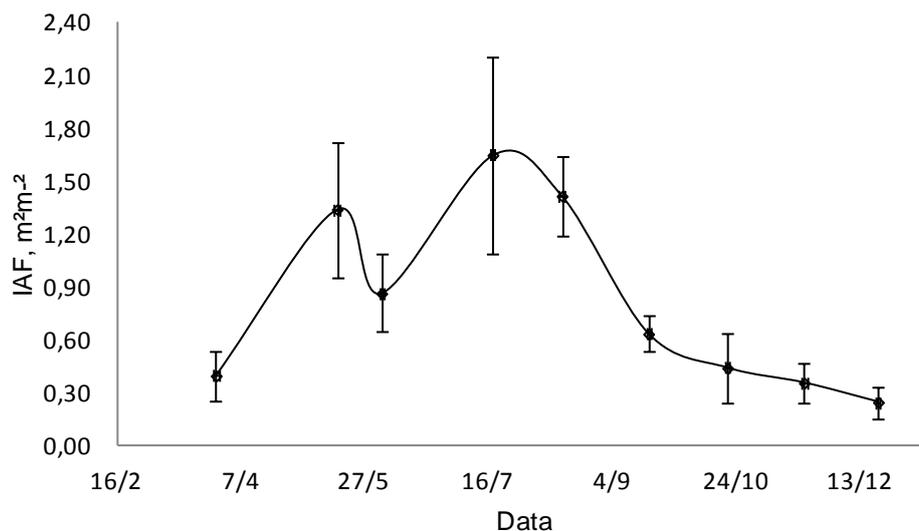


Figura 8 - Índice de área foliar de *Brachiaria decumbens* para o período de 28/03 a 21/12/2011 em São João-PE. Cada ponto representa a média (IAF) de cinco pontos. As barras indicam o desvio padrão

Gomes *et al.* (2009) monitorando o IAF em uma área de pastagem com lotação contínua de bovinos no Sudoeste da Amazônia, obtiveram maiores valores de IAF ($3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) nos meses de fevereiro e dezembro de 2008 (período chuvoso), e o menor valor no mês de agosto, sendo esse de $0,54 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Dessa forma, a cobertura vegetal é intrinsecamente associada ao clima e, portanto pode ser utilizada como parâmetro para as análises climáticas da região. Além do fator climático, a combinação da frequência e severidade de desfolhação altera a estrutura do dossel, modificando assim, o IAF e todo processo de utilização de energia luminosa, resultando em variações na produção (Carnevali *et al.*, 2006) e desempenho animal (Difante *et al.*, 2009).

Na Figura 9 são apresentados os dados da evolução da densidade do sistema radicular da pastagem, durante o período de 28/03 a 21/11/2011. Observa-se que a maior densidade de raízes se concentrou nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, que é o encontrado nas pastagens em condições ideais.

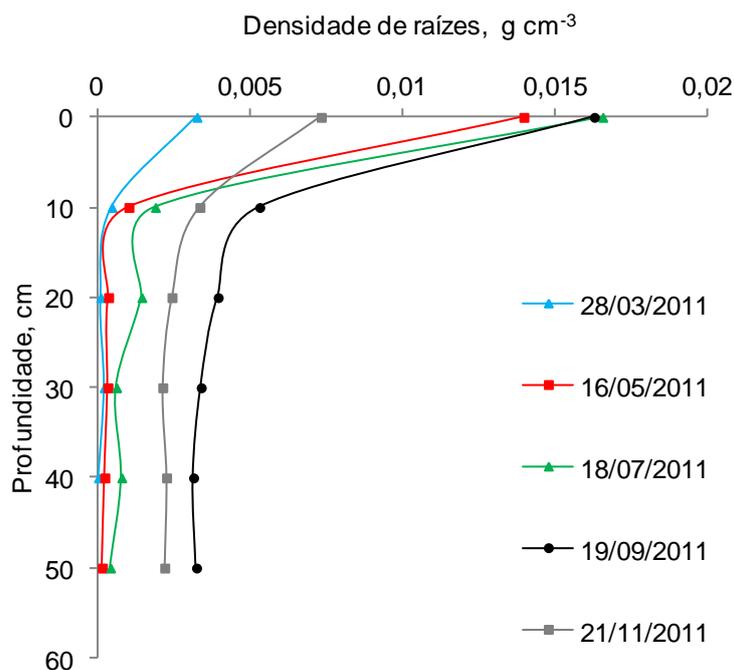


Figura 9 – Perfis de densidade de raízes (g cm^3) no período de 28/03 a 21/12/2011 em São João-PE

Observa-se que a distribuição espacial das raízes no início das avaliações foi de 79,45% na profundidade de 0-10 cm e na profundidade de 10-20 cm foi de 11,60%. A concentração de raízes nas camadas superficiais foi mantida durante todo o período de análise. Nos períodos com maiores índices de precipitação pluvial (meses de abril a agosto), a densidade de raízes atingiu mais de 80% nas camadas de 0-20 cm, assim verifica-se que a profundidade efetiva do sistema radicular está nessa profundidade. No mês de novembro, considerado período seco, a distribuição espacial das raízes foi de 37,13% na camada de 0-10 cm e 17,01% na camada de 10-20 cm.

Corrêa *et al.* (1999) avaliando a distribuição espacial de raízes de capim-tanzânia, encontraram nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm porcentagem média de raízes de 63, 24 e 13%, respectivamente, para nível baixo de fertilidade, mas 57, 32 e 11%, respectivamente, para nível alto de fertilidade.

A variação na densidade de raízes nos perfis ao longo do tempo pode ser explicado por fatores relacionados a física do solo, disponibilidade de nutrientes, manejo das forrageiras, dentre outros (Cecato *et al.*, 2001). No início da avaliação o solo encontrava-se com pouca disponibilidade de água, no qual as raízes tem o crescimento limitado pela resistência do solo a penetração das raízes, contudo com o início das chuvas e o umedecimento do solo a resistência do solo a penetração foi diminuído e

assim as raízes se desenvolverem. A redução da densidade de raízes nas camadas superficiais de 0-20 cm coincidiu com o período seco da região, outro fator seria a remoção da parte aérea pelo pastejo, que provoca a queda na produção de plantas.

3.3 Componentes do balanço de energia

Neste tópico será apresentada a evolução horária, diária e mensal da radiação solar global e dos componentes do balanço de energia durante todo período experimental, bem como nos períodos seco e úmido.

Os dados relativos à evolução diária dos componentes do balanço de energia (radiação global, saldo de radiação, fluxo de calor no solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível) em *Brachiaria decumbens* são apresentados na Figura 10.

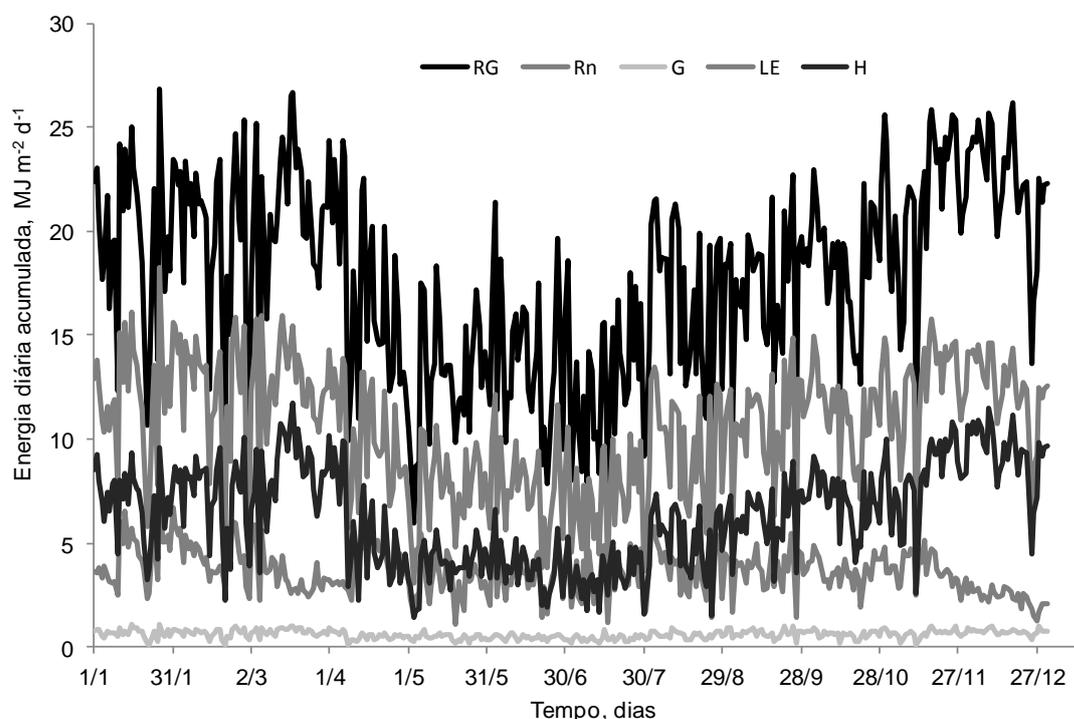


Figura10 - Evolução diária dos componentes do balanço de energia sobre a cultura da *Brachiaria decumbens* durante o período de 01/01 a 31/12 de 2011 em São João-PE

Observa-se que a radiação solar global (Rg) variou de 5,97 a 26,80 MJ m⁻² dia⁻¹, com valor médio de 17,74 MJ m⁻² d⁻¹; os valores do saldo de radiação (Rn) variaram entre 3,11 MJ m⁻² dia⁻¹ e 18,25 MJ m⁻² dia⁻¹, com um valor médio de 10,55 MJ m⁻² dia⁻¹. Os valores de fluxo de calor no solo (G) variaram de 0,07 a 1,14 MJ m⁻² dia⁻¹ com uma

média de $0,07 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Os valores de fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) seguiram as distribuições da precipitação pluvial, pois, nos períodos com menor disponibilidade hídrica no solo, o principal consumidor de energia (R_n-G) foi o H, e quando não houve restrição hídrica, o consumo de energia disponível foi bem semelhante para H e LE, sendo a maior parte da energia disponível utilizada no processo de aquecimento do ar.

Observou-se, ainda, que o saldo de radiação (R_n) foi utilizado em média como 58, 36 e 6% para os fluxos de calor sensível (H), latente (LE) e no solo (G), respectivamente. Esses resultados mostram que a transpiração da pastagem foi pequena, pois a maior parte do saldo de radiação foi direcionada para o aquecimento do ar (fluxo de calor sensível), e não para o processo de evapotranspiração.

Esses resultados estão diferentes dos obtidos por Biudes *et al.* (2009), que estimando a variação sazonal do balanço de energia, pelo método da razão de Bowen, em uma área de vegetação monodominante de Cambará e numa área de pastagem, observaram que a energia disponível aos dois sítios foi destinada prioritariamente para o fluxo de calor latente, com 80,0% no cambarazal e 56,6% na pastagem; seguido pelo fluxo de calor sensível, 19,1 e 42,9%, e pelo fluxo de calor no solo, 0,3 e 7,2%. Padilha (2011), nas mesmas condições dessa pesquisa, no período de 08/2010 a 05/2011, obteve resultados semelhantes ao dessa pesquisa, onde verificou que 61% do saldo de radiação foi usado pelo fluxo de calor sensível, 37% pelo fluxo de calor latente e 2% pelo fluxo de calor no solo. Esse fato deve-se provavelmente as diferenças climáticas de cada região onde foram realizadas as pesquisas e ao tipo funcional e a morfologia da planta.

Na Figura 11 são apresentados os dados referentes à evolução mensal dos componentes do balanço de energia (radiação global, saldo de radiação, fluxo de calor no solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível) em *Brachiaria decumbens* e da precipitação pluvial total mensal.

Observa-se que durante todo o ano de 2011 os valores de H são maiores que os valores de LE, sendo a maior parte da energia utilizada para o aquecimento do ar. O maior consumo pode ser explicado pelo fato dos fatores atmosféricos e do solo possuírem maior participação do que os fatores da cultura na variação dos componentes do balanço de energia (Oliveira *et al.*, 2009).

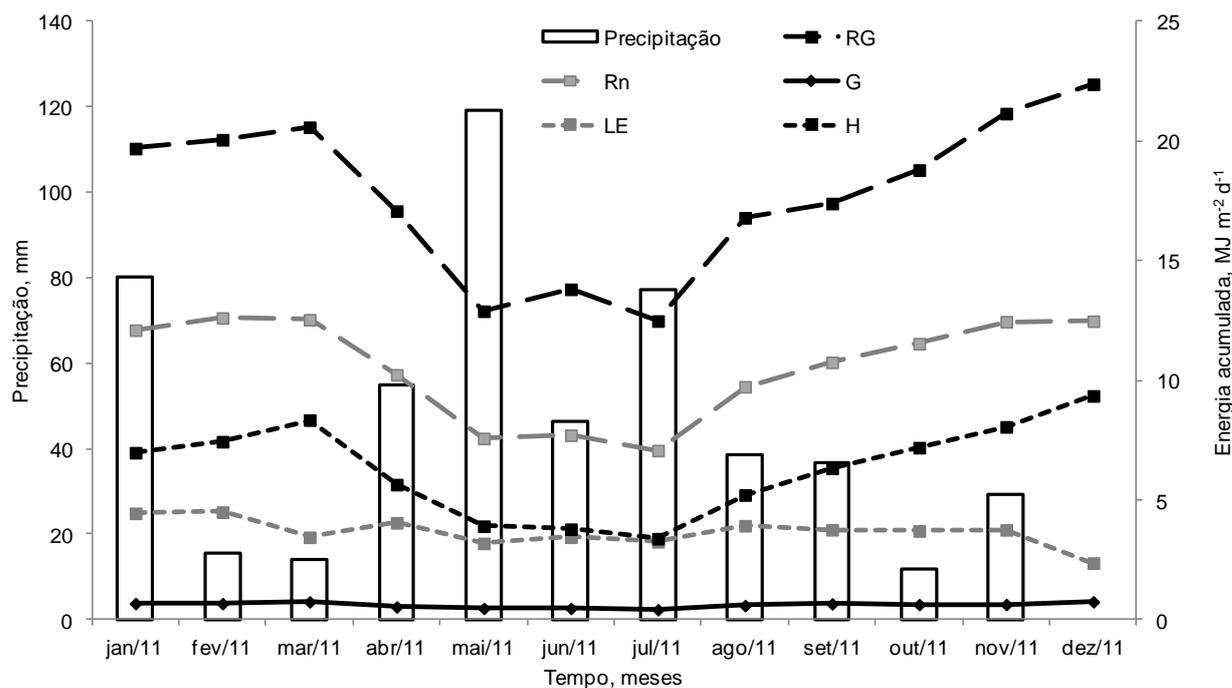


Figura 11 - Total mensal da precipitação pluvial e média mensal dos fluxos de radiação (Rg) e energia (Rn, LE, H e G) em *Brachiaria decumbens* no município de São João, PE

Lima *et al.* (2010), determinando os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração em mamona, pelo método da razão de Bowen, verificaram que o Rn foi utilizado, em média, como 43% no fluxo de calor latente (LE), 50% como fluxo de calor sensível (H) e 7% como fluxo de calor no solo (G), concordando com Krishnan *et al.* (2012), que também observaram o maior consumo de Rn para H em duas pastagens na América do Norte.

Esteves (2011) avaliando os componentes do balanço de energia em cana-de-açúcar obteve resultados semelhantes ao dessa pesquisa para a fase inicial e de estabelecimento da cultura. Na fase de estabelecimento, o H foi o maior consumidor da energia disponível (Rn-G), correspondendo a 63% enquanto que o LE representou apenas 18% da energia disponível.

A Figura 12 apresenta a evolução horária mensal dos componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxos de calor no solo, latente e sensível), pelo método da razão de Bowen, em *Brachiaria decumbens*, nos períodos seco (meses de janeiro a março, e setembro a dezembro de 2011) e úmido (meses de abril a agosto de 2011).

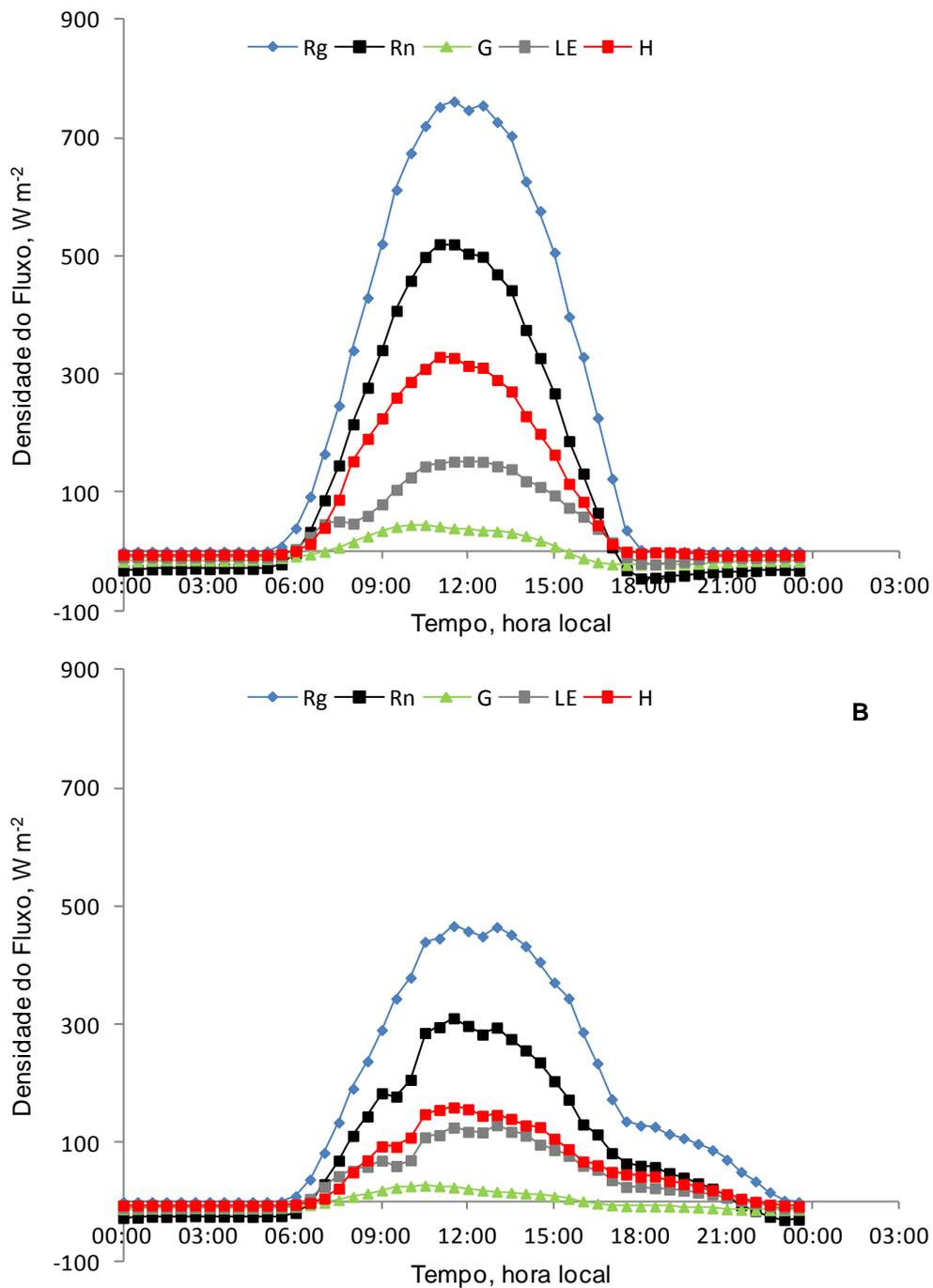


Figura 12 - Média horária mensal da radiação global (Rg), do saldo de radiação (Rn) e dos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G) em *Brachiaria decumbens* no município de São João, PE, durante os períodos seco (A) e úmido (B)

Os valores médios (das 06:00 às 18:00) da radiação global (R_g) e dos componentes do balanço de energia (R_n , LE, H e G) para o período seco, foram de 445,5; 268,13; 15,20; 82,50 e 170,46 $W m^{-2}$ para R_g , R_n , G, LE e H, respectivamente. Para o período úmido foram de 324,6; 188,1; 11,11; 79,47 e 97,42 $W m^{-2}$, para R_g , R_n , G, LE, e H, respectivamente. Apesar de no período úmido, a umidade volumétrica do solo e a precipitação pluvial terem sido bem mais elevados que no período seco (Figura 3), isso não se refletiu diretamente na partição de R_n em LE e H, uma vez que mesmo no período úmido (Figura 12B), o H ainda foi maior que o LE. No entanto, a diferença entre H e LE caiu, pois, a relação H/ R_n e LE/ R_n para o período seco foram de 63,6 e 30,8%, enquanto que no período úmido foram de 51,8 e 42,2%. A razão G/ R_n , que diz quanto do saldo de radiação líquida é utilizado no aquecimento do solo, foi similar para os dois períodos.

Diversos autores (Nobre *et al.*, 1996; Galvão & Fisch, 2000; Biudes 2009) afirmam que maiores taxas de LE são encontradas na estação chuvosa em função da maior disponibilidade de água devido ao aumento da precipitação. Quando começa o processo de secagem do solo, a maior parte do saldo de radiação começa a ser utilizada no fluxo de calor sensível de aquecimento do ar e no processo de aquecimento do solo (Gouveia Neto, 2008).

Hayashi *et al.* (2002) avaliando os componentes do balanço de energia no período seco e úmido em *Crotalaria juncea* L., na região do Cerrado, verificaram que durante o período seco, o saldo de radiação foi direcionado em média para o LE, H e G como 68, 15 e 17%, respectivamente. A precipitação ocorrida no período foi de 50 mm. Já no período úmido encontraram que 81% do saldo de radiação foi utilizado pelo fluxo de calor latente, 4% em fluxo de calor sensível e 15% em fluxo de calor no solo.

As diferenças entre as pesquisas podem ser justificadas pelo fator climático, da cultura, e condições que as pastagens foram submetidas, ou seja, o Cerrado ter uma demanda evaporativa superior a da região do Agreste de Pernambuco, a fisiologia das plantas, e o fato de a *C. juncea* ter sido cultivada com irrigação enquanto que a *Brachiaria decumbens* foi cultivada em sequeiro.

A variação horária dos componentes do balanço de energia de pastagem em dois dias sem precipitação pluviométrica, característicos do período seco, é apresentada na Figura 13.

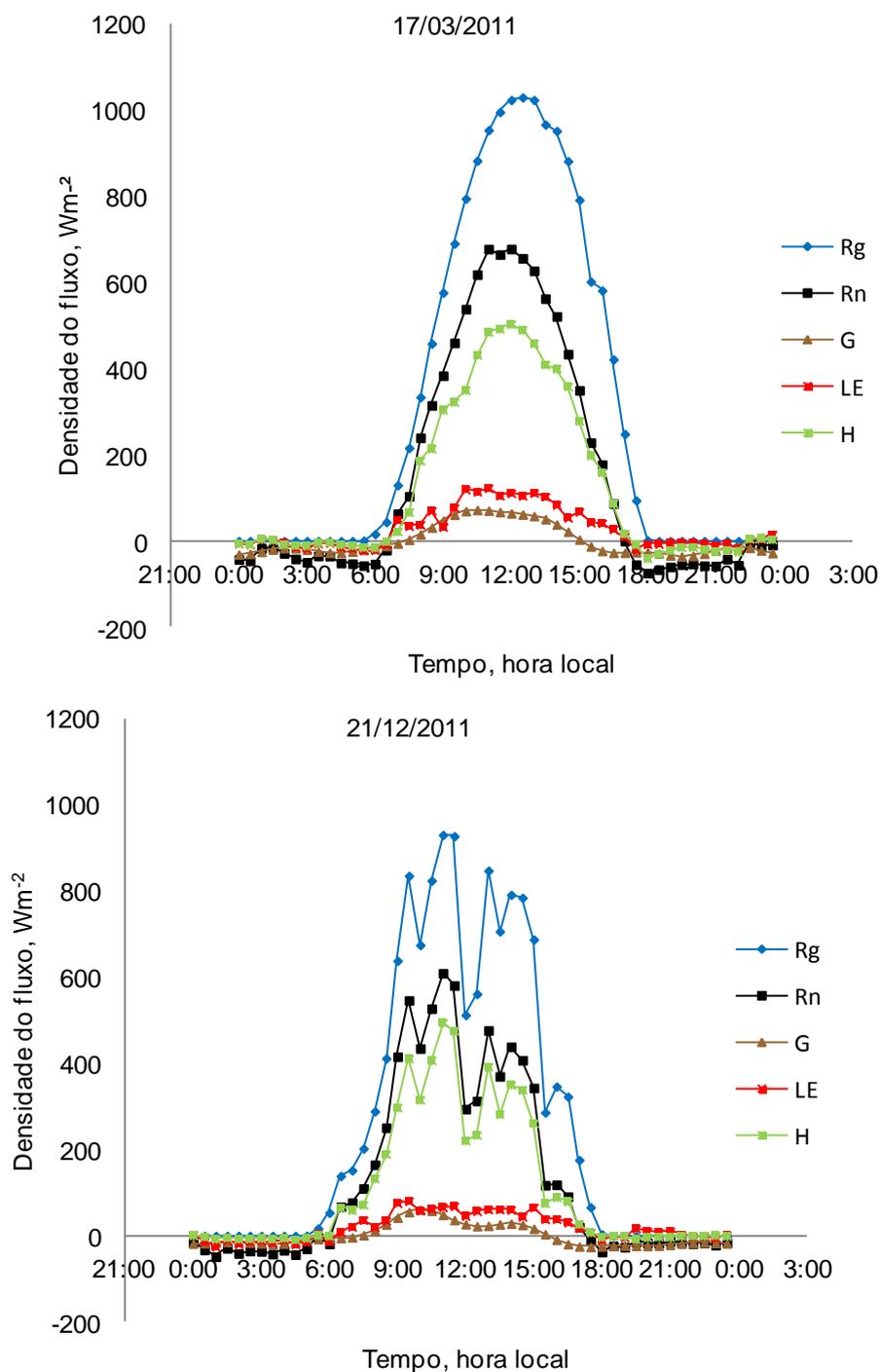


Figura 13 - Evolução horária dos componentes do balanço de energia em *Brachiaria decumbens* durante os dias 17/03 e 21/12/2011 em São João-PE

Observa-se que para o dia 17/03, que o valor médio dos fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) foi de 58,28 e 246,76 W m^{-2} , respectivamente. Já para o dia 21/12 o valor médio do fluxo de calor latente (LE) foi de 41,44 W m^{-2} , enquanto que para o fluxo de calor sensível foi de 211,17 W m^{-2} .

No dia 17/03/2011 observa-se que 75% do saldo de radiação foi utilizado pelo fluxo de calor sensível, 18% pelo fluxo de calor latente e 7% pelo fluxo de calor no solo. Neste dia, a temperatura média foi de 25 °C. No dia 21/12/2011 observa-se que do total de energia disponível no sistema 78% foi direcionado para o processo de aquecimento do ar, fluxo de calor sensível, resultando em uma temperatura média de 24 °C, 16% para o fluxo de calor latente e 6% para o fluxo de calor no solo.

A variação horária dos componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxos de calor no solo, latente e sensível) na pastagem em dois dias com precipitação pluviométrica, característicos do período úmido, é apresentada na Figura 14.

A variação do saldo de radiação (R_n) ocorrida no dia 15/05 foi devida a nebulosidade causando um efeito direto em H. No dia 15/05/2011 verifica-se que 40% do saldo de radiação foi direcionado para o fluxo de calor latente, 52% para o fluxo de calor sensível e 8% para o fluxo de calor no solo. Isto ocorreu porque o solo se apresentava com uma maior disponibilidade de água, resultante das chuvas ocorridas no período de 26/04 a 15/05/2011, com um total de 29,97 mm. No dia 18/07/2011, observa-se que, do total do saldo de radiação, 44% foi utilizado pelo fluxo de calor latente, 50% pelo fluxo de calor sensível e 6% pelo fluxo de calor no solo.

Observa-se que quando há uma maior disponibilidade hídrica no solo ocorre um aumento no fluxo de calor latente, e conseqüentemente no processo de evapotranspiração, no entanto, não ultrapassa os valores de fluxo de calor sensível.

Os resultados desta pesquisa, em que a maior parte do saldo de radiação no período chuvoso (336 mm) é utilizada como fluxo de calor sensível, diferindo do trabalho desenvolvido por Galvão (2000), que avaliou o balanço de energia em áreas de floresta e de pastagem na Amazônia, em Ji-Paraná (RO), onde obteve um valor de 58% para o fluxo de calor latente e 45% para o fluxo de calor sensível. A diferença nos resultados pode está relacionada com a média diária dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), pois na pastagem na Amazônia esta média foi de 5,1 MJ m⁻² dia⁻¹ e 6,7 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente, enquanto nesta pesquisa foi de 3,1 MJ m⁻² dia⁻¹ para o LE e 3,92 MJ m⁻² dia⁻¹ para H no dia 15/05/2011, e 3,49 MJ m⁻² dia⁻¹ para o LE e 4,25 MJ m⁻² dia⁻¹ para o H no dia 18/07/2011.

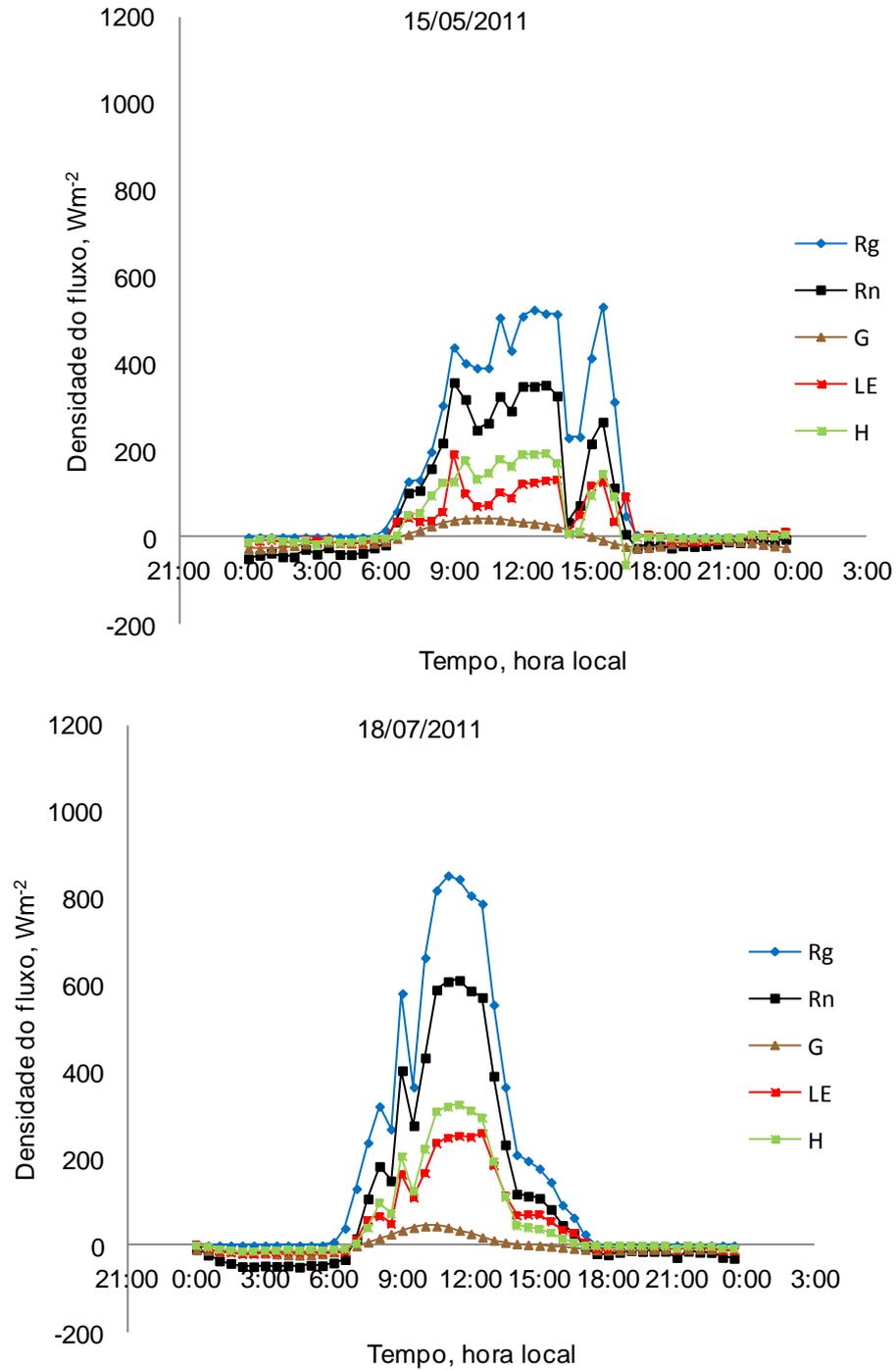


Figura 14 - Evolução horária dos componentes do balanço de energia em *Brachiaria decumbens* durante os dias 15/05 e 18/07/2011 em São João-PE

3.4 Evapotranspiração

Neste tópico serão apresentados os resultados da evapotranspiração da *Brachiaria decumbens*.

Na figura 15 são apresentadas as variações diárias da precipitação pluvial, da evapotranspiração em *Brachiaria decumbens* (ET) e da evapotranspiração de referência (ETo) para o ano de 2011. De forma geral, a evapotranspiração seguiu as variações da precipitação pluvial, com valores mais elevados após o umedecimento do solo.

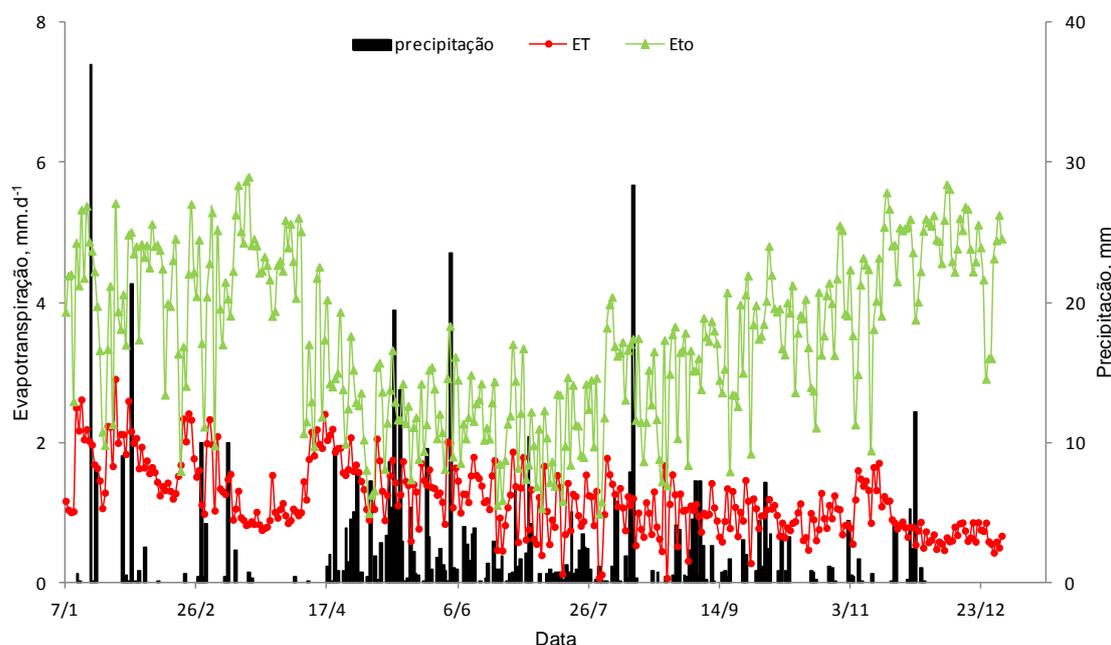


Figura 15 - Precipitação pluvial, evapotranspiração diária e evapotranspiração de referência em *Brachiaria decumbens* durante o período de 01/01 a 31/12/2011 no município de São João, PE

A evapotranspiração total da pastagem foi de 543,43 mm, com um valor médio de 1,5 mm d⁻¹, já a evapotranspiração de referência teve um valor total de 1271,86 mm, com um valor médio de 3,48 mm d⁻¹. No período de escassez da precipitação (a partir do dia 17/11/11), verifica-se que a evapotranspiração reduz, atingindo valores abaixo de 1,0 mm d⁻¹, enquanto ocorreu um aumento na ETo, com valores acima de 3,0 mm d⁻¹, indicando que a pastagem sofreu estresse hídrico nos períodos de menor precipitação pluvial.

Padilha (2011) trabalhando nas mesmas condições dessa pesquisa num período de 276 dias, a precipitação total no período foi de 369,7 mm, encontrando um valor médio de evapotranspiração de $1,73 \text{ mm d}^{-1}$ e um valor total de 476,62 mm.

Silva *et al.* (2005), trabalhando com capim Tanzânia, empregando o método da – razão de Bowen em Piracicaba – SP, durante um período de aproximadamente um ano, encontrou um valor médio de evapotranspiração de $4,13 \text{ mm d}^{-1}$, a precipitação pluvial total média da região é de 1250 mm, sendo realizada ainda irrigação durante o período de condução do experimento, o que explica as diferenças encontradas nas pesquisas.

Na figura 16 são apresentadas as variações mensais da precipitação pluvial e da evapotranspiração em *Brachiaria decumbens* para o ano de 2011.

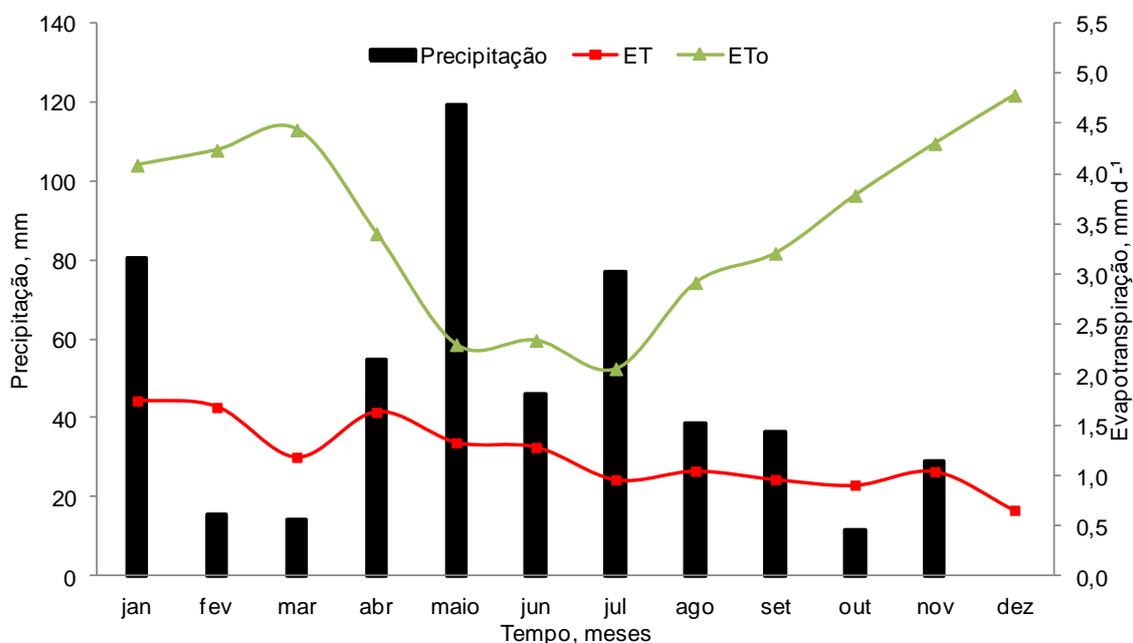


Figura 16 - Total mensal da precipitação pluvial e média mensal da evapotranspiração mensal da planta e evapotranspiração de referência em *Brachiaria decumbens* no município de São João, PE

Durante o período mais chuvoso, que correspondeu ao mês de maio, a evapotranspiração da planta total foi de 40,39 mm com um valor médio de $1,30 \text{ mm dia}^{-1}$, variando de 0,6 a $2,06 \text{ mm dia}^{-1}$; nessa fase ocorreu uma precipitação total de 119,3mm. A evapotranspiração de referência para o período mais úmido foi de $2,30 \text{ mm dia}^{-1}$. Na fase intermediária entre o período seco e o úmido, correspondente ao mês de

outubro, a evapotranspiração total e média da planta foram de 46,92 mm e 1,51 mm dia⁻¹, respectivamente, enquanto a evapotranspiração de referência total e média para esse mês foram de 117,32 mm e 3,79 mm dia⁻¹ e a precipitação total nesse período foi de 11,8 mm. Já na fase de maior restrição hídrica, no mês de dezembro, os valores de evapotranspiração total e média diária foram de 30 mm, 0,97 mm dia⁻¹, respectivamente, já a ETo total e média diária foram de 148,24 mm e 4,78 mm dia⁻¹. Com a ausência de chuva os valores de evapotranspiração nessa fase variaram de 0,52 a 1,25 mm dia⁻¹. O maior consumo médio (3,14 mm dia⁻¹) de água ocorreu no mês de janeiro, provavelmente, devido ao fato da cultura não encontrar-se com restrição hídrica, pois no dia anterior ocorreu uma precipitação de 21,3 mm. A evapotranspiração elevada nos meses de janeiro, provavelmente deve-se ao fato de maior disponibilidade de água no solo devido a maior precipitação pluvial ocorrida que foi de 80,3 mm. Observa-se ainda que à medida a precipitação pluvial é reduzida e o solo vai secando, e a evapotranspiração da pastagem também é reduzida, o que indica que, a evapotranspiração seguiu as variações da precipitação pluvial.

3.5 Cobertura Morta do Solo Acumulação de Biomassa

Nesse tópico são apresentados os dados de cobertura morta do solo e acumulação de biomassa de folhas (FF) em *Brachiaria decumbens*, para o período de 28/03 a 21/12/2011.

Na Figura 17 são apresentados os dados de cobertura morta do solo (Cob M) e matéria morta da parte aérea (MM PA) do pasto de *Brachiaria decumbens*.

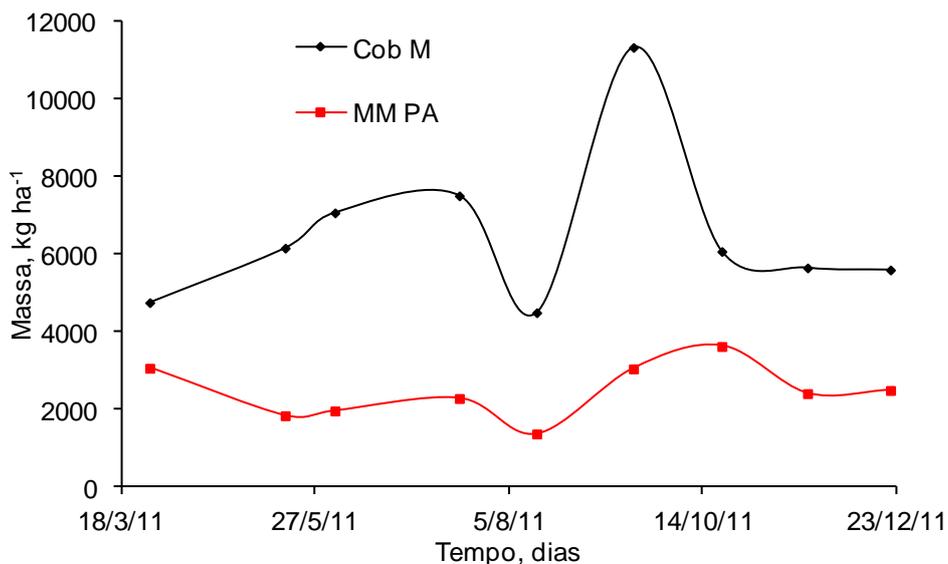


Figura 17 - Cobertura morta do solo e matéria morta da parte aérea em *Brachiaria decumbens* para o período de 28/03 a 21/12/2011 em São João-PE

Observa-se que a variação de material morto da parte aérea da planta é acompanhada pela variação da cobertura morta do solo, o que indica que quanto maior o número de material morto na planta, maior será a cobertura morta no solo. É notável a sazonalidade das variáveis estudadas ao longo de todo o período. A produção média de material morto no solo e material morto da parte aérea da planta no período estudado foi respectivamente de 6.519,0 e 2.454,0 kg ha⁻¹. A cobertura morta do solo tem a finalidade de proteger o solo contra a perda de nutrientes com a ação da chuva e diminuir o processo de evaporação da água presente no solo. A manutenção de restos culturais na superfície do solo reduz a evaporação, aumentando o armazenamento de água no solo e a disponibilidade de águas às plantas.

A Figura 18 mostra a variação da biomassa viva com a precipitação mensal, onde é possível observar a influência da chuva na vegetação, assim como a resposta da planta às intempéries climáticas. De forma geral, a produção da biomassa apresentou variação sazonal de acordo com as estações características da região, ou seja, está diretamente ligada à disponibilidade de água no ambiente.

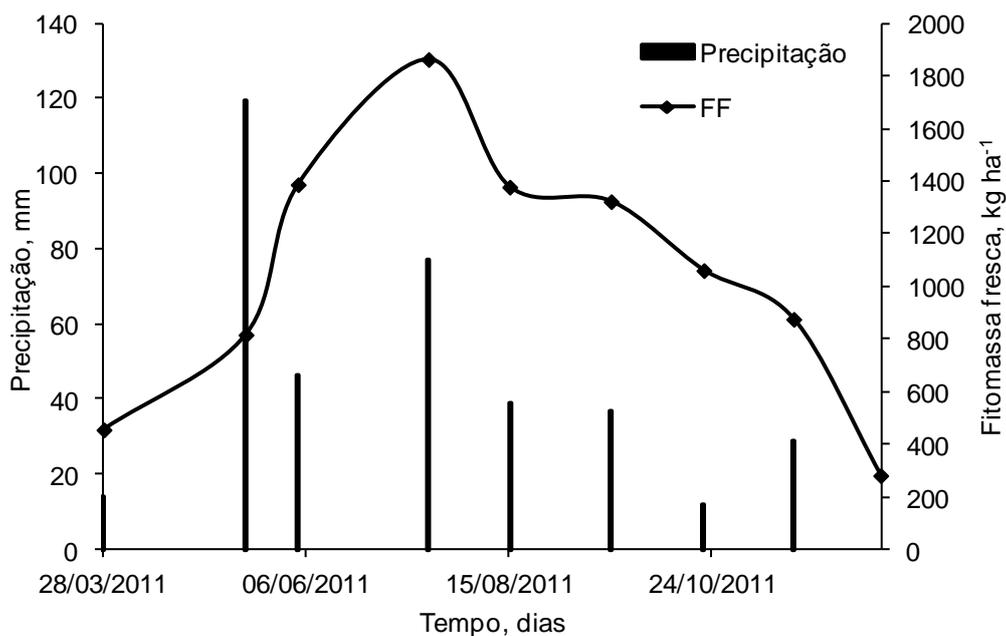


Figura 18 - Precipitação pluvial e biomassa fresca de folhas (FF) em *Brachiaria decumbens* para o período de 28/03 a 21/12/2011 em São João-PE

Durante a estação seca, quando os estômatos são fechados com a finalidade de evitar a perda de água para o ambiente, a planta evidencia a sua dependência com a disponibilidade de água. Observa-se que a pastagem responde a escassez de água reduzindo a sua biomassa, essa redução também é influenciada pela presença dos bovinos. A resposta da planta ao nível de água no solo demora em torno de um mês, o que pode explicar o aumento de biomassa após um período de alta precipitação.

Gomes *et al.* (2009), ao analisar a produção da biomassa de uma área de pastagem com lotação contínua de bovinos no Sudoeste da Amazônia, afirmaram que a cobertura vegetal é inteiramente suscetível à variação de água no solo.

4. CONCLUSÕES

A maior parte do saldo de radiação (R_n), em *Brachiaria decumbens*, foi consumida pelo fluxo de calor sensível (H), responsável pelo aquecimento do ar, sendo a porcentagem média de 58%. O fluxo de calor latente (LE) foi mais elevado nos períodos de maior disponibilidade hídrica, com valor médio de 36% do saldo de radiação. O fluxo de calor no solo (G) foi bem semelhante ao fluxo de calor latente durante todo o período, com valor médio de 6% do saldo de radiação.

A evapotranspiração da cultura, determinada pelo método do balanço de energia – razão de Bowen, seguiu as variações da precipitação pluvial e foi em média de 1,5 mmd^{-1} , com um total de 543,43 mm no período estudado.

As variações da disponibilidade hídrica influenciaram diretamente na produção de biomassa verde, no índice de área foliar e no desenvolvimento do sistema radicular da *Brachiaria decumbens*, e conseqüentemente, nos componentes do balanço de energia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - **FAO Irrigation and Drainage Paper #56**, 1998.

BALDOCCHI, D.D.; XU, L.K.; NANCY, K. How plant functional type, weather, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy fluxes of an oak-grass savanna and an annual grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.123, p.13–39. 2004.

BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J. ; Deficiência hídrica em feijoeiro II. Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, p.745-757, 1988.

BIANCO, S.; BRENDOLAN, R.A.; ALVES, P.C.A.; PITELLI, R.A. Estimativa da área foliar de plantas daninhas: *Brachiaria decumbens* Stapf. e *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. **Planta Daninha**, v.18, p. 79-83, 2000.

BIUDES, M.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p.135-143, 2009.

BORGES, C.J.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, V.P.R.; CAMPOS, J.H.B.; MOURA, M.S.B.; SOARES, J.M.; SILVA, B.B. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.393–399, 2008.

CARNEVALLI, R.A.; Da SILVA, S.C.; OLIVEIRA, A.A.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.V.; MORAES, J.P. Hebage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça pastures under four prazing managements. **Tropical Grasslands**, v. 40, p. 165-176, 2006.

CECATO, U.; CANO, C. C. P.; BORTOLO, M.; HERLING, V. R.; CANTO, M. W.; CASTRO, C. R. C. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastacross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 644-650, 2001.

CORRÊA, L.A.; KANO, T.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B., BERETTA, L.G.R.; SANTOS Jr., J.D.G.; BONO, J.A.M. 1999. Produção de raízes em cinco forrageiras tropicais sob pastejo na região dos cerrados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, 1999, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Forragicultura, CD Rom.

DIFANTE, G.S.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; EUCLIDES, V.P.B.; DA SILVA, S.C.; BARBOSA; R.A.; GONÇALVES, W.V. Sward structure and nutritive value of Tanzânia guineagrass subject to rotational stocking managements. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p. 9-19, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (2006) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p.

ESTEVES, B.S. **Balço de energia e produção de biomassa em um cultivo de cana-de-açúcar**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2011. 84p. Dissertação (Mestrado).

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 8, p. 238-243, 2010.

FISHER, M. J.; KERRIDGE, P. C. The agronomy and physiology of *Brachiaria* species. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. do (Ed.). **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali, Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Tropical Forages Program and Communications Unit; Campo Grande: Embrapa – CNPGC. 1996.

GALVÃO, J. A. C. Balço de energia em áreas de florestas e de pastagem na Amazônia (JI-Paraná, RO). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, p. 25-37, 2000.

GOMES, J.B.; LEITE, K.G.; WEBLER, A.D.; AGUIAR, R.G. Índice de área foliar, produção de biomassa e fluxos de CO₂ em uma pastagem no sudoeste da Amazônia. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - Minas Centro, Belo Horizonte, MG, 2009.

GOUVEIA NETO, G.C. **Estimativa da evaporação do solo e da transpiração da mamona (*Ricinus communis* L.) na microrregião do Brejo Paraibano**. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2008. 36f. Monografia (Agronomia).

GOUVEIA NETO, G.C.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SILVA, J.M.. SOUZA, C.; SILVA, I.F. Estimativa da evapotranspiração da mamona e seus componentes (evaporação e transpiração) na microrregião do Brejo Paraibano. **Irriga**, v. 16, p. 246-258, 2011.

HAYASHI, M. M. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUEIRA, J. S.; VOURLITIS, G. L. Balanço de energia da *Crotalaria juncea* L. no período seco e no período úmido do ano, em condições de cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, p. 197-205, 2002.

HODGSON, J. Grazing management: science into practice. **Longman Scientific & Technical**. 1990.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2007. vol. 1. nº 35. Rio de Janeiro. IBGE, 2008.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

KRISHNAN, P.; MEYERS, T.P.; SCOTT, R.L.; KENNEDY, L.; HEUER, M. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 153, p. 31– 44, 2012.

KUSTAS, W.P. et al. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. **Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam**, v.103, n.3, p.249-264, 2000.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A.C.D.; LIRA, C.A.B.O.; SOUZA, E.S. SILVA, I.F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.65-74, 2011.

LIMA, J.R.S.; PADILHA, K.M.; GOMES, C.A.; ANTONINO, A.C.D.; ORLANDO, R.C. Balanço de energia e evapotranspiração em mamona cultivada em Garanhuns-PE. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 1037-1041.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; BORGES, E.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.527-534, 2005.

LIMA, J. R. S. **Balanço hídrico e de energia em solo cultivado e sem vegetação, nas condições do Brejo Paraibano**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 167 p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares).

MARASCHIN, G. E. Manejo de Coastcross-1 sob pastejo. In: M. J. ALVIM; M. DE A. BOTREL; L. P. PASSOS; M. BRESSAN e outros (eds.). WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO *Cynodon*. Juiz de Fora. Anais... EMBRAPA-CNPGL, JUIZ DE FORA-MG, 1996.

MEDEIROS, S. L. P. **Trocas verticais de energia e vapor d'água em cultura de milho (Pennisetum americanum, L. Leek)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 112p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)

MEIRELLES, M.L.; FARIAS, S.E.M.; FRANCO, A.C. **Balanço de energia de uma pastagem cultivada no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Cerrados, 14).

MONTENEGRO, A.A.T.; BEZERRA, R.N.L. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, v.24, p. 464-472, 2004.

MOURA, M.S.B. **Consumo hídrico, Produtividade e Qualidade de Fruto da Goiabeira Irrigada na Região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2005. 122p. Tese (Doutorado)

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal Applied of Meteorology**, Boston, v.6, n.3, p.203-204, 1967.

NAGLER, P. L.; SCOTT, R.L.; WESTENBURG, C.; CLEVERLY, J. R.; GLENN, E. P.; HUETE, A. R. Evapotranspiration on western U.S. rives estimated using the Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy correlation an Bowen ratio flux towers. **Remote Sensing of environment**, v. 97, p. 337-351, 2005.

NOBRE, C.A.; FISCH, G., ROCHA, H.R.; LYRA, R.F.F.; ROCHA, E.P.; COSTA, A.C.L.; UBARANA, V.N. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. New York: J. M. Wiley and Sons, p. 413-424, 1996.

OHMURA, A. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. **Journal Applied Meteorology**, Boston, v. 21, p. 595-598, 1982.

OLIVEIRA, I.A.; LIMA, J.R.S.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; NETO, G.C.G.; LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.185-191, 2009.

OLIVEIRA, M.B.L.; VON RANDOW, C.; MANZI, A.O.; ALVALÁ, R.C.; SÁ, L. D.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; SOUZA, A. Fluxos turbulentos de energia sobre o Pantanal Sul Matogrossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 159-165, 2006.

ORTEGA FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 81, p. 131-143, 1996.

PADILHA, K.M. **Balanço de energia em Brachiaria decumbens cultivada na microrregião de Garanhuns – PE**. Garanhuns: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. 41p. Monografia (Graduação em Agronomia).

PARTON, W.J.; SCURLOCK, J.M.O.; OJIMA, D.S.; SCHIMEL, D.S.; HALL, D.O. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. **Global Change Biology**, v.1, p.13–22, 1995.

PEREIRA A.R. ; ANGELOCCI L.R. ; SENTELHAS P.C. **Agrometeorologia : fundamentos e aplicações**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. 472 p.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSSEL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 97, p.141-150, 1999.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Balanço de energia em vinhedo de ‘Niagara Rosada’ **Bragantia**, v.62, p. 155-161, 2003.

RANA, G.; KATERJI, N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of Agronomy**, v.13, p. 125-153, 2000.

SANTOS, T.V. **Fluxos de calor na superfície e evapotranspiração diária em áreas agrícolas e de vegetação nativa na bacia do jacuí por meio de imagens orbitais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 96p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto).

SAUER, T. S.; HATFIELD, J. C.; PRUEGER, J. H.; NORMAN, J. M. Surface energy balance of a corn residue-covered field. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 89, p. 155- 168, 1998.

SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de Razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.705-712, 2005.

SOUZA, M.S.M.; BEZERRA, F.M.L.; VIANA, T.V.A.; TEÓFILO, E.M.; CAVALCANTEI.H.L. Evapotranspiração do maracujá nas condições do Vale do Curu. **Revista Caatinga**, v.22, p. 11-16, 2009.

TEIXEIRA, A.H.C. Avaliação dos Componentes do Balanço de Energia Durante o Primeiro Ano de Cultura da Banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, p.28-32, 2001.

TOLEDO FILHO, M.R. **Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana de açúcar em Alagoas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 168p. Tese (Doutorado em Fitotecnia).

VILELA, H. **Série Gramínea Tropical - Gênero Brachiaria (*Brachiaria decumbens* - Capim)**. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_brachiaria_decumbens.htm>. Acesso em: novembro 2011.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZANCHI, F.B.; WATERLOO, M.J.; AGUIAR, L.J.G.; RANDOW, C.V.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F.L.; MANZI, A.O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v.39, p. 335-348, 2009.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Bacias hidrográficas. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=19. Acesso em julho de 2012.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.T.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 380-390, 2012.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.683-695, 2012.