

Comportamento energético do sistema vegetação – atmosfera no bioma caatinga

*Rênio Leite de Andrade*¹

*Fernando Moreira da Silva*²

Resumo

O presente trabalho objetiva investigar o comportamento do fluxo de calor armazenado no dossel em região de caatinga no semiárido do Brasil. O experimento de campo foi realizado na Estação Experimental de São João do Cariri localizado no município de São João do Cariri- PB. O modelo físico aplicado é embasado na proposta de McCaughey (1985). Verifica-se que o fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatinga durante o período seco e chuvoso apresentou grande variação diária e grande amplitude. Conclui-se que padrão médio de variação horária do fluxo de calor armazenado nos períodos de seca e chuvosa apresentou-se bastante similares com os maiores valores durante o dia e menores valores durante a noite.

Palavras-chave: Experimento Cariri; Fluxo de Calor Sensível; Método de McCaughey.

Conduct energy system of vegetation - atmosphere in biome caatinga

Abstract

The present study objetije investigate the flow behavior of heat stored in the canopy in the caatinga region in CaririsVelhos - PB. The field experiment was conducted at the Experimental Station of the ray tracing model which is located in the municipality of São João do Cariri - PB. The physical model used is grounded in the proposed McCaughey (1985). It appears that the flow of heat stored in the canopy of caatinga vegetation during the dry and rainy seasons showed large seasonal variation and large-scale. It is concluded that standard average time variation of the flow of heat stored during periods of dry and wet appeared very similar with the highest during the day and lower values during the night.

Keywords: Experiment Cariri; Sensible Heat Flux; Method McCaughey.

1 Doutorando em Ciências Climáticas - UFRN.

2 Doutor, Docente do Departamento de Geografia - UFRN.

Introdução

Na região Nordeste do Brasil encontra-se uma das três grandes áreas semiáridas existentes na América do Sul, além das que se distribuem entre a Venezuela e a Colômbia, e entre a Argentina, o Chile e o Equador. Essa região do Brasil possui uma população superior a 51 milhões de brasileiros, caracterizando-se, pela existência de muito mais pessoas do que as relações de produção podem suportar (MINISTÉRIO INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005).

O domínio geocológico das caatingas no Brasil ocupa uma área de 1.037.517 km², sob as latitudes subequatoriais, compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' S. Sua área corresponde a 70% da Região Nordeste e a 13% do território brasileiro, dentro do denominado Polígono das Secas e englobam os Estados nordestinos do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, além da região norte do Estado de Minas Gerais (ALVES, 2007).

Esse bioma é considerado o principal ecossistema existente na Região Nordeste. O clima da região semiárida apresenta como característica marcante a irregularidade do regime pluviométrico, com duas estações definidas: a estação chuvosa (inverno) que dura de três a cinco meses e a estação seca (verão) que dura de sete a nove meses. As chuvas são intensas e irregulares no tempo e no espaço, provocando periodicamente a ocorrência de secas prolongadas (ANDRADE, 2008).

Os processos de troca de calor e massa que ocorrem na superfície da terra são de fundamental importância para a redistribuição da umidade e calor no solo e atmosfera. Esses processos de troca no sistema solo-planta-atmosfera têm como principal força motriz a radiação solar.

A energia utilizada para os processos de transferência de água entre a superfície e a atmosfera, para o aquecimento e o resfriamento do ar e do solo, bem como para realização do metabolismo das plantas é proveniente da radiação solar. O saldo de radiação (R_n) responsável por estes processos é particionado em fluxo de calor sensível (H), quantidade de energia que está sendo utilizada para aumentar a temperatura do ar, e em fluxo de calor latente (LE), quantidade de energia que está sendo utilizada para mudança de fase da água.

O conhecimento dos mecanismos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera é de fundamental importância para a compreensão do microclima de uma

região. A energia radiativa proveniente do Sol é a fonte primária do sistema atmosfera-superfície e o principal componente do balanço radiativo na superfície. O balanço de energia na superfície é determinado pela energia disponível no sistema, que por sua vez é particionada entre os fluxos turbulentos de calor e o armazenamento pelo meio (OKE, 1987).

Estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes, não só para caracterizar o microclima local, como identificar interações existentes entre elas. Além disso, possibilita conhecer variações do tempo e do clima da região, assim como, pode auxiliar na identificação de efeitos de atividades antropogênicas, como o desmatamento e queimadas, ou fatores naturais, sobre diferentes questões ambientais da região. Esse tipo de estudo é fundamental por fornecer informações sobre a quantidade de umidade transferida para atmosfera por uma área vegetada, seja por uma vegetação rasteira ou de médio porte (OLIVEIRA et al. 2006).

Os processos radiativos em superfície são de grande importância no processo de redistribuição de umidade e calor no solo e na atmosfera, e que se manifesta não apenas localmente, mas também em escala global (ROERINK et al. 2000).

A maioria dos trabalhos sobre balanço de energia, com base na razão Bowen, não contabiliza o fluxo de calor armazenado no dossel da planta (TEIXEIRA, 2001). O argumento geralmente utilizado é que esse componente do balanço de energia é muito pequeno em comparação aos demais fluxos de energia. Entretanto, espera-se que se a planta tiver um dossel bastante desenvolvido, o calor armazenado por ela pode apresentar uma contribuição considerável no cálculo do balanço de energia.

Segundo Heilman et al. (1989) o balanço de energia, ao contrário de outros métodos, não necessita de informações sobre a velocidade do vento nem de propriedades aerodinâmicas da superfície do solo, visto que os fluxos são independentes da estabilidade do ar atmosférico, quando é considerada a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor latente e sensível. A maior exigência desse método é que os gradientes de temperatura e umidade devem ser medidos dentro da camada limite interna, de preferência na parte da camada limite em equilíbrio com a superfície.

A energia de radiação solar absorvida no dossel vegetativo torna-se uma variável de grande importância, pois diversos processos fisiológicos das plantas relacionam-se diretamente com a quantidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), radiação global incidente e temperatura do ar, influenciando na eficiência do desenvolvimento das

plantas (CARON et al. 2003). A energia de radiação solar absorvida pelas plantas é fator determinante da taxa fotossintética e pode limitar a produção e o acúmulo de biomassa (PILAU, 2005).

A utilização eficiente da radiação para cada espécie é influenciada pelo índice de área foliar, além de parâmetros físicos e biológicos que determinam a absorção da radiação incidente. O ângulo de inserção da folha, interceptação de luz por outras partes da planta, arranjo de folhas na planta e de plantas no campo, características de absorção de luz pela folha e quantidade de radiação incidente modificam a quantidade de radiação solar interceptada (ARGENTA et al. 2001).

A maneira como a radiação é interceptada pelo dossel das plantas reflete na eficiência fotossintética e no desenvolvimento da cultura, portanto fatores como forma, densidade populacional e espaçamento afetam a distribuição da área foliar no dossel das plantas e, conseqüentemente, a quantidade de energia da radiação solar incidente (STEWART et al. 2003).

O balanço de energia das superfícies vegetadas permite dimensionar as trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera, através do estudo da partição do saldo de radiação nos diversos processos que ocorrem na cultura (Fontana et al. 1991).

Nesse contexto, a pesquisa objetiva investigar o comportamento do fluxo de calor armazenado no dossel vegetativo em região de caatinga nativa no semiárido do Brasil.

Material e métodos

Um experimento de campo foi realizado na Estação Experimental de São João do Cariri, nos períodos seco e chuvoso do ano 2001. Esta região encontra-se na região semiárida do Brasil, é vinculada ao Centro de Ciências Agrárias Universidade Federal da Paraíba/UFPB. Está localizada no município de São João do Cariri na área central do estado da Paraíba e inserida na Mesorregião da Borborema e Microrregião do Cariri Oriental, na Superfície Aplainada do Planalto da Borborema, nas coordenadas de 7°22'45,1"S e 36°31'47,2"W, sobre a litologia cristalina, com altitude variando entre 400 e 600 m (Figura 1). Apresenta um relevo suave ondulado e faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, Sub-bacia do rio Taperoá e Riacho Namorados (PAES-SILVA et al., 2003). Os principais tipos de solos encontrados na Estação experimental são: Luvissole Crômico Vértico, Vertissolo e Neossolo Lítico.

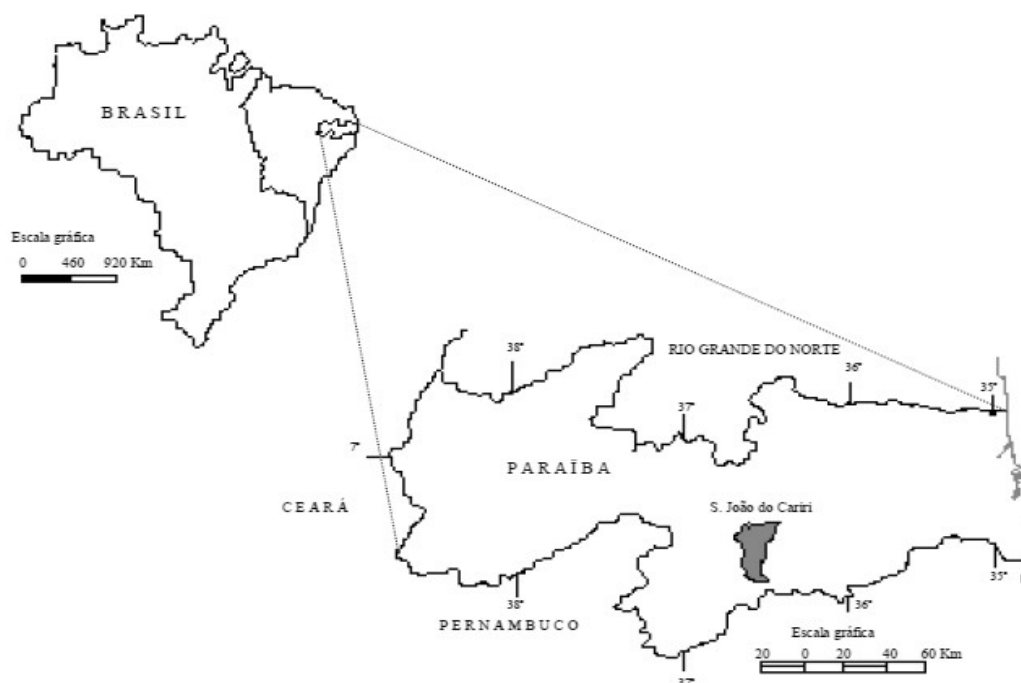


Figura 1. Localização do município de São João do Cariri no Estado da Paraíba.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Bsh, semiárido, quente, com chuvas de verão-outono. De acordo com a classificação bioclimática de Gaussen, o clima é do tipo subdesértico quente com tendência tropical. 2b, com índice xerotérmico de 200 a 300. Esta característica de subdeserto foi também referenciada Andrade-Lima (1981).

A vegetação do município apresenta-se degradada, com raros remanescentes da Caatinga hiperxerófila primitiva. Ocorrem grandes extensões de solos desnudos por entre manchas de Caatinga, em vários estágios de devastação, e as únicas exceções encontram-se ainda em algumas serras e morros isolados e matas ciliares nos terraços dos rios principais que cortam o município, notadamente do rio Taperoá, em estado avançado de degradação

O balanço hídrico mostrado na Figura 2 mostra que a estação seca dos Cariris Velhos vai de Maio a Dezembro, é nesse período que a vegetação parece entrar em dormência. As nuvens são do tipo cumulus humilis, a umidade do ar é mínima e a temperatura da superfície do solo pode atingir 60°C. As folhas que caem são decompostas pelo calor sem formar manta florestal. O solo fica desprotegido e trinca, racha (Silans e Silva, 2003). As ocorrências de secas estacionais e periódicas e prolongadas podem durar de sete a nove meses.

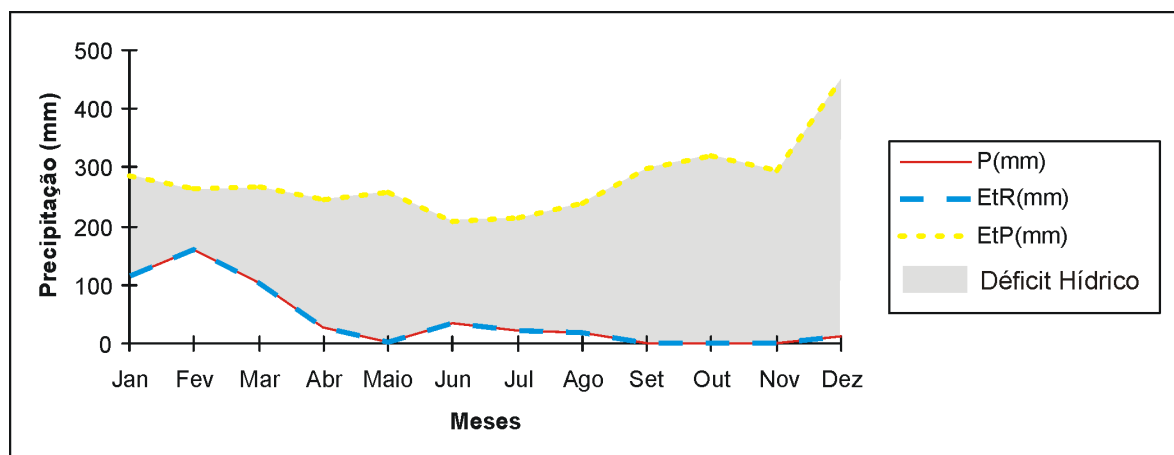


Figura 2. Balanço Hídrico em São João do Cariri- PB (Silva et al., 2002).

Trata-se de uma região classificada como semiárida, com chuvas pouco abundantes e concentradas nos meses de Fevereiro a Abril, na qual a Zona de Convergência Intertropical é o sistema sinótico predominante, embora as chuvas convectivas sempre atuam em mesoescala, uma vez que a região tropical é uma fonte de energia (Silva, 1991). Sua vegetação é esparsa, alternando-se ora com superfície desnudada e ora com superfície coberta por vegetação. No período chuvoso, cresce à superfície uma cobertura herbácea, não muito densa, porém que pode atingir 60 cm de altura no final da estação chuvosa.

Instrumentação e coleta de dados

Foi montada, no interior da área experimental, uma torre micrometeorológica de 8 metros projetada de forma que ficasse ajustada verticalmente ao meridiano local, e horizontalmente, paralelo ao plano do observador local, de forma que os sensores pudessem se inserir em um mesmo meridiano. Esses dados foram coletados em um sistema de aquisição de dados, Datalogger, modelo CR23X da Campbell Scientific Inc., com entrada para 24 sinais simples, 12 diferenciais e 4 para sinais tipo pulso, além de 4 canais para excitação e 8 canais de controle. A fim de agregar mais entrada de instrumentos, se fez necessário o acoplamento de um multiplexador analógico, marca Campbell Scientific Inc., modelo AM416, com 64 entradas analógicas, o que trouxe mais capacidade de coleta de dados ao experimento. O datalogger é alimentado em contínuo por uma bateria de 12 volts e 55 AH acoplada a um painel solar de 20 W. O sistema de aquisição de dados é também programado para operar como unidade de controle de todo experimento.

Balço de energia no dossel da caatinga

O balanço energético é uma aplicação da primeira lei da termodinâmica, em que deve existir uma igualdade entre o saldo de radiação disponível no ecossistema e o total da energia liberada sob a forma de calor sensível e latente (Energia Emitida), e da energia armazenada pelo ecossistema, isto é, solo (G) e dossel vegetativo (S_{veg}) segundo formulação abaixo:

$$R_{net} = H + LE + G + S_{veg}$$

Sendo R_{net} é o saldo de radiação, H o fluxo de calor sensível, LE o fluxo de calor latente, G o fluxo de calor no solo e S_{veg} o fluxo de calor armazenado no dossel. A equação representa a energia disponível (R_{net}), que é redistribuída aos fluxos na superfície e H, LE, G e S para a atmosfera. O termo de armazenamento pelo processo fotossintético foi desprezado, pois apresenta valores muito baixos, em média menos de 1% do saldo de radiação (R_{net}).

Fluxo de calor no dossel vegetativo

Este termo geralmente recebe menos atenção, pois o valor é pequeno e precisa de medidas mais amplas, bem como informação sobre a estrutura do dossel vegetativo. A equação abaixo fornece um método de avaliação para o fluxo de calor no dossel vegetativo (S_{veg}) segundo McCaughey (1985).

$$S_{veg} = \int_0^{z_r} \rho_{veg} C_{veg} \frac{\delta T_{veg}}{\delta t} dz$$

Sendo ρ_{veg} é a densidade da vegetação em quilogramas por metro cúbico, T_{veg} temperatura biomassa e C_{veg} capacidade calorífica na copa em Joule por quilograma por °K.

Discretizando a equação acima teremos,

$$S_{veg} = m_{veg} c_{veg} \frac{\overline{\Delta T_{veg}}}{\Delta t} \Delta Z$$

Sendo m_{veg} representa a massa verde de biomassa em quilograma metro quadrado e $\overline{\Delta T_{veg}}$ a temperatura média da biomassa. McCaughey, 1985 e Moderow et al. (2009) demonstraram que c_{veg} pode ser utilizado como $2,958 \text{ kg J}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra a variação média horária do fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatingadurante o período seco em W.m^{-2} . Neste período não houve registro de precipitação. Nota-se que os máximos valores fluxo de calor armazenado no dossel ocorredurante o dia apresentando o valor máximo absoluto às 15:40 h ($4,26 \text{ W. m}^{-2}$). Verifica-se a existência de valores mínimos durante a noite apresentando o valor mínimo absoluto às 21:00 h ($-4,77 \text{ W. m}^{-2}$).

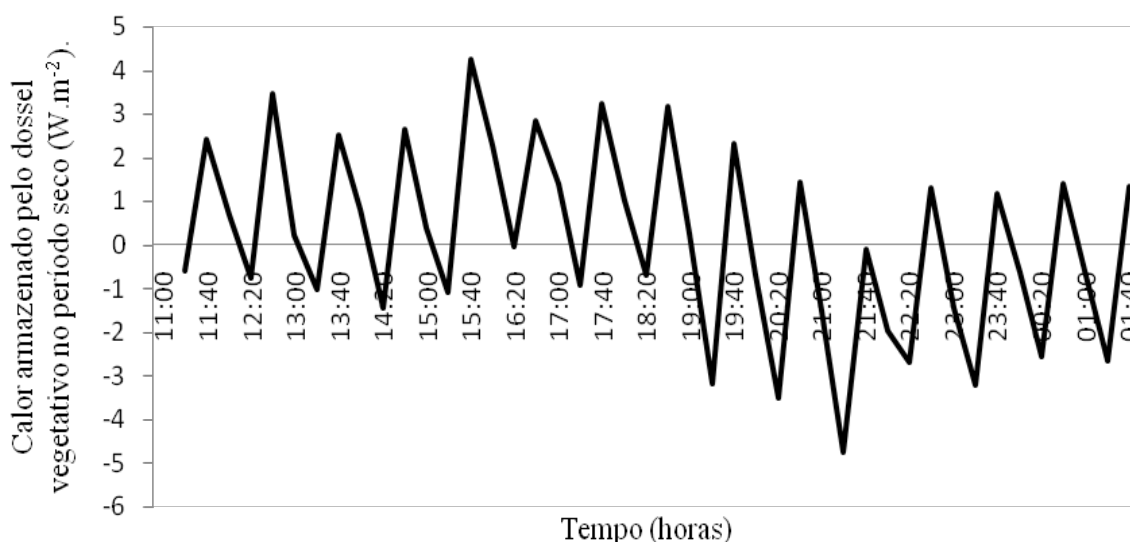


Figura 3. Variação média horária do fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatingadurante o período seco em W.m^{-2} .

Observa-se que o fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatinga durante o período seco apresentou grande variação diurna e amplitude. Os valores máximo e mínimo encontrados foram $4,26$ e $-4,47 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente durante o dia e

durante a noite. Os valores máximos durante o período diurno são decorrentes da resposta da variação de densidade do ar a variação de maiores temperatura do ar.

A variação média horária do fluxo de calor armazenado no dossel de vegetação da caatinga durante o período seco é acentuada durante o dia, enquanto a variabilidade sazonal é significativa em termos de energia, apesar de notar uma redução durante o período noturno na energia associada e a biomassa.

A análise da figura 3 permite observa que no início da tarde a vegetação de caatinga apresentou ganho de energia elevada em comparação com o período noturno. O ganho de energia durante o período da tarde pode ser justificado por apresentar valores de temperatura do ar mais elevados. Essa constatação sugere, que a influência da temperatura do ar onde a perda de energia é mais acentuada no período noturno.

A Figura 4 mostra a variação média horária do fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatinga durante o período chuvoso em $W.m^{-2}$. Nota-se que os maiores valores fluxo de calor armazenado no dossel ocorre durante o dia apresentando valor máximo absoluto às 13:00 h ($3,59 W.m^{-2}$) valor mínimo absoluto às 17:40 h ($-7,04 W.m^{-2}$).

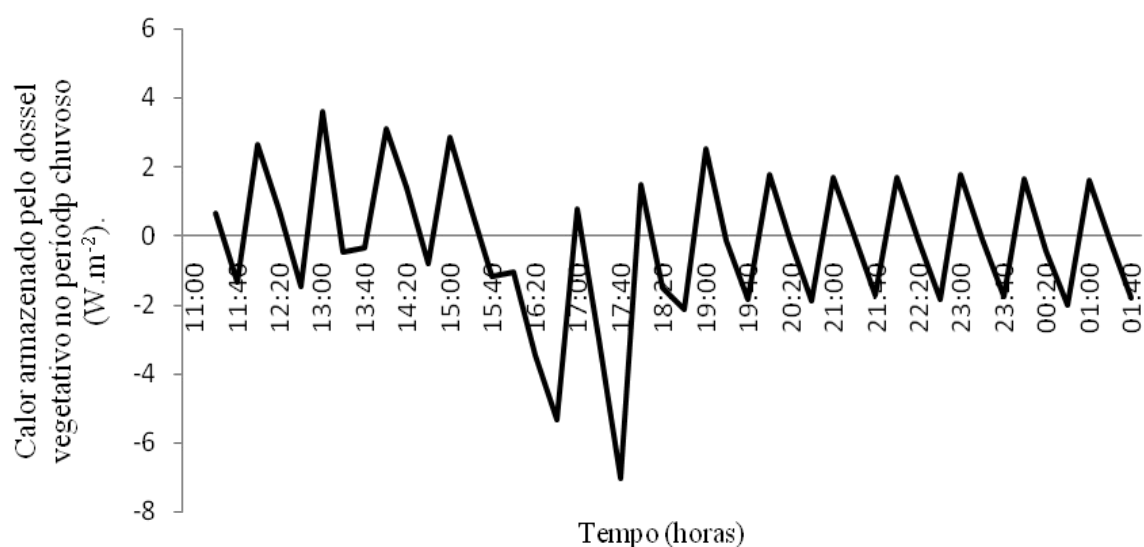


Figura 4. Variação média horária do fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatinga durante o período chuvoso em $W.m^{-2}$.

A variabilidade média horário do fluxo de calor armazenado no dossel da vegetação de caatinga durante o período chuvoso é menor durante a noite, apresentando

uma grande variação sazonal e grande amplitude, onde os valores máximo e mínimo encontrados foram 3,59 e -7,04 W.m⁻², respectivamente durante o dia e início de noite.

Na figura 4 observa-se que no final do período diurno houve uma perda de energia acentuada, também mostra que durante a noite há uma tendência de alternância de ganho e perda de energia. Observou-se ainda, que durante o período diurno apresentaram valores de ganho de energia mais elevados em relação aos registrados no período noturno. O fato sugere que durante o período da tarde o ganho de energia é maior do que nos demais horários.

Conclusões

A investigação experimental constatou a influência da temperatura do ar no comportamento energético da caatinga, durante os períodos seco e chuvoso. A temperatura atuante na caatinga atuou como elemento atenuador no comportamento energético, com base na comparação dos dados obtidos em períodos diurno e noturno.

Ao longo do dia, nas horas de brilho solar, o fluxo de calor no dossel vegetativo na caatinga tende a ser positivo. Durante a noite, é comum que o fluxo de calor no dossel vegetativo da caatinga sejam negativos.

Referências

ALVES, José. Jakson. Geoecologia da caatinga no semiárido do nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.

ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, n.4, p.149-153, 1981.

ANDRADE, Rênio. Leite; SOUTO, Jacob. Silva; SOUTO, Patrícia. Carneiro; BEZERRA, Dario. Medeiros. Deposição de serapilheira em área de caatinga na RPPN “Fazenda Tamanduá”, Santa Terezinha – PB, **Caatinga**, Mossoró, Brasil, v. 21, n. 2, p. 223-230, 2008.

ARGENTA, Gilber; SILVA, Paulo. Regis. Ferreira; SANGOI, Luís. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001.

CARON, Braulio. Otomar; MANFRON, Paulo. Augusto. Influência da temperatura do ar e radiação solar no acúmulo de fitomassa da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 275-283, 2003.

FONTANA, Denise. Cibys; BERLATO, Moacir. Antônio; BERGAMASCHI, Homero. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, p.403-410, 1991.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 261-273, 1989.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MIN. **Nova delimitação do SemiÁrido Brasileiro**. Brasília, DF, p. 32, 2005.

McCAUGHEY, J.H. Energy balance storage terms in mature mixed forest at Petawawa, Ontario-a case study. **Bound-Layer Meteorol.** p.89-101, 1985.

MODEROW, U.; FEIGENWINTER, C.; BERNHOFER, C. Estimating the components of the sensible heat budget of a tall forest canopy in complex terrain. **Bound-Layer Meteorol.** p.99 - 123, 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 mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 159-165, 2006.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Methuen: New York, 435 p., 1987.

PILAU, Felipe; Gustavo. **Saldo de radiação da copa de laranjeira num pomar e de renques de cafeeiros: medidas e estimativas**. Piracicaba - SP, 2005. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) ESALQ. Piracicaba - SP.

PAES-SILVA, Albanta. Peixoto; CHAVES, Iêde. Brito; SAMPAIO, Everardo. V. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude namorado no cariri oriental paraibano. **Revista Agropecuária Técnica**. Areia, v.24, n.1, p., 2003.

ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, M.A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimates the Surface Energy Balance. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**. n. 25, p. 147-157, 2000.

SILANS, Alain. Passerat; SILVA, Fernando. Moreira. **Bilans énergétique et hydrique en une région semi-aride dominée par la Caatinga**. Proceedings of the Conférence Internationale: Hydrologie des régions Méditerranéennes et semi-arides. Montpellier, França, 2003.

SILVA, Fernando. Moreira. **Vórtice Ciclônico alta Troposfera: dois estudos de caso para o Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciências Atmosféricas-UFPB, Campina Grande, p. 126, 1991.

SILVA, Fernando. Moreira; SILANS, Alain. Passerat. Modelo convectivo para transferência de calor na camada limite interfacial de um escoamento na região da caatinga/PB. XII Congresso de Meteorologia. **Anais...** CD-ROM. Foz do Iguaçu/PR, 2002.

STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopystructure, light interception and photosynthesis in maize. **AgronomyJournal**, v. 95, p. 1465-1474, 2003.

TEIXEIRA, Antônio. Heribert. 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.3,n.1, p.28-32,2001.

Recebido em Junho de 2013.

Publicado em Agosto de 2013.