Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Influência da liteira no comportamento do fluxo de calor no solo em um fragmento da Mata Atlântica, Alagoas

Antonio Marcos Delfino de Andrade¹; Vicente de Paulo Rodrigues da Silva²; Marcos Antonio Lima Moura³; Aurilene Barros dos Santos⁴; Rayonil Gomes Carneiro⁵

¹Doutorando em Meteorologia pelo Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campina Grande – PB, Brasil. Autor correspondente E-mail: marcoslaba@hotmail.com;

²Professor Doutor do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campina Grande – PB, Brasil.

³Professor Doutor do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) – Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Maceió – AL, Brasil;

⁴Doutoranda em Ciências Climáticas pelo Centro de Ciências Exatas e da Terra – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Natal – RN, Brasil.

⁵Doutorando em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, São José dos Campos – SP, Brasil.

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

A complexa interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera precisa ser bem entendida para aperfeiçoar os estudos meteorológicos, além de ajudar a monitorar e analisar os processos físicos naturais que ocorrem em áreas de floresta. Neste estudo foram comparados os comportamentos geral e sazonal do fluxo de calor no solo (FCS), saldo de radiação e precipitação. A pesquisa foi realizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural, localizada no município de Coruripe, Alagoas, no período de março/2010 a maio/2011, a partir de dados observados numa estação micrometeorológica com equipamentos instalados a 24 metros de altura. O objetivo do estudo foi caracterizar o comportamento do FCS em uma área de Mata Atlântica em uma área com e outra sem cobertura de liteira para posterior comparação. Os resultados indicaram a influência da cobertura de liteira na interação solo-atmosfera, funcionando como isolante térmico. As chuvas descaracterizaram o perfil de FCS, que sempre apresentou máximos durante a estação seca e mínima na estação chuvosa. Observou-se ainda que FCS diminuiu gradativamente durante todo o período noturno, atingindo seus valores mínimos sempre às 06 h e máximos quase sempre entre às 14 e 15 h.

Palavra-chave: solo; radiação solar; floresta tropical

Litter influence soil heat flux behavior in an Atlantic Forest fragment of Alagoas

ABSTRACT

The complex interaction between soil, vegetation and atmosphere needs to be better understood to improve the meteorological studies, and help to monitor and analyze the physical processes occurring in natural forest areas. This study we compared the behaviors of general and seasonal soil heat flux (FCS), net radiation and precipitation. For this, a study was conducted in the Natural Heritage Private Reserve, located in the Coruripe, Alagoas, in the period from March 2010 to May 2011, with data observed a micrometeorological tower, installed with height from 24 meters. The intent was to characterize the behavior of the FCS in an Atlantic Forest area, with another no coverage and litter for comparison. The results indicated the influence of litter cover on the soil-atmosphere interaction, functioning as a thermal insulator. The rains mischaracterize FCS profile, that always showed higher maximum during the dry season and lower minimum in wet season. It was also observed that FCS decreased gradually throughout at nighttime, reaching their minimum always at 06 h and maximum values were almost always between at 14 and 15 h.

Keywords: soil; solar radiation; tropical forest

Introdução

A mata atlântica é reconhecida como um dos biomas mais ricos do mundo e o mais

prioritário para a conservação da biodiversidade em todo o continente americano, figurando-se entre os 25 *hotspots* mundiais (Morellato e

Haddad, 2000; Myers et al., 2000; MMA, 2002). Esse bioma é a formação florestal mais antiga do Brasil, apresentando afinidades com outras formações florestais brasileiras, como a floresta Amazônica e as matas de Planalto, composta por uma série de fitofisionomias (tipos de vegetação), o que proporcionou uma significativa diversificação ambiental e permitiu a evolução de um complexo biótico de natureza vegetal e animal altamente rico em diversidade de espécies, sendo considerado um dos mais ricos conjuntos de ecossistemas em diversidade biológica do mundo (RBMA, 2012).

A avaliação dos diferentes componentes do balanço de radiação solar indica como se comporta a entrada de radiação no sistema Terra-Atmosfera. O balanço ou saldo de radiação representa as fontes e sumidouros de radiação que afetam as condições meteorológicas e o clima do planeta. É importante, então, se fazer um estudo do balanço de radiação para se determinar como é o comportamento do saldo de radiação em um sistema florestal como, por exemplo, da mata atlântica, e como essa energia disponível influenciará nos diferentes processos físicos do sistema. Para QUERINO (2006) o conhecimento do comportamento dessa radiação dentro das florestas é primordial para o entendimento da disponibilidade energia para os diversos processos desse sistema.

A complexa interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera precisa ser bem entendida para aperfeiçoar os estudos micrometeorológicos, além de ajudar a monitorar e analisar os processos físicos naturais ocorrentes na região e os exemplos negativos das reações ambientais provocadas pelas atividades antrópicas, detectando os impactos sobre o ambiente estudado.

No caso de uma floresta, os estudos microclimáticos envolvem a caracterização do ambiente que se estende desde alguns metros acima das copas das árvores, até o seu interior, no

sub-bosque ou nas primeiras camadas do solo. As avaliações microclimáticas quando comparando o interior da floresta com áreas circunvizinhas abertas, geralmente pastagem, são interessantes para dar uma idéia das modificações ambientais provocadas pela retirada da floresta (Pezzopane et al., 2005). Essa informação é importante para o entendimento do manejo da regeneração natural em áreas degradadas ou até em estudos sobre mudanças climáticas em função do desmatamento (Giambelluca et al., 1997; Holl, 1999).

O objetivo do presente trabalho é caracterizar o comportamento do fluxo de calor no solo (FCS) em uma área de Mata Atlântica no Estado de Alagoas, durante as estações seca e chuvosa, procurando-se uma relação dessa variável com o saldo de radiação e a precipitação local. Além disso, pretende-se ainda demonstrar a influência da presença de liteira no comportamento de fluxo de calor do solo da floresta.

Material e métodos

Área de estudo

Localizado a 80 km de Maceió, o município de Coruripe (10°00'37"S, 36°17'60"W, 16 m alt.) está situado na região ambiental do litoral sul do estado de Alagoas (Figura 1).

A presente pesquisa foi executada em uma área de fragmento de mata atlântica localizado na fazenda Capiatã A, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Lula Lobo I – pertencente à Usina Coruripe Açúcar e Alcool S/A. Esse fragmento de mata atlântica está inserido na região dos Tabuleiros Costeiros, em terrenos do Grupo Barreiras, onde se desenvolve a Floresta Ombrófila Aberta com transição para Floresta Estacional Semidecidual subsistindo em fragmentos florestais nos tabuleiros, encostas de grande declividade e poucas áreas de várzea (Santos e Frizzzone, 2006).

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, em destaque, a área do experimento no município de Coruripe, Alagoas.

Climatologia da região

Segundo Silva-Junior et al. (2005) o local de estudo apresenta totais pluviométricos anual de 1.327 mm. Segundo Molion e Bernardo (2002) o período com maiores quantidades de chuva ocorre entre abril e julho. De acordo com SEMARH (2003) o período chuvoso é compreendido entre abril e julho, enquanto o período seco é observado entre outubro e janeiro. Baseado na normal climatológica, do período de 1974 a 2004, Santos e Frizzone (2006) citam que os valores anuais da umidade relativa do ar (UR) são elevados, com médias de aproximadamente 76,5%, e com temperatura média do ar anual em torno de 25,1°C, sendo fevereiro o mês mais quente. O clima local é caracterizado como tropical quente úmido com estação seca de primavera-verão e chuvosa de outono-inverno, segundo a classificação do Köppen (Tenório et al., 2008).

A caracterização anual do vento local apresenta média de 2,0 m s⁻¹ com variações entre 1,7 m s⁻¹ (março) e 2,5 m s⁻¹ (janeiro), sendo as direções predominantes de nordeste (outubro a março) e sudeste (abril a setembro) (Machado, 2003).

Parâmetros mensurados

Durante o período de estudo, novembro de 2010 à setembro de 2011, realizaram-se medidas através de uma torre micrometeorológica com altura de 26 m (10° 00' 37"S; 36° 17' 60"O; 160

m alt.), localizada no interior da floresta, onde foram instalados sensores para monitorar o balanço de radiação solar, a radiação solar global, difusa e refletida, radiação fotossintética incidente e refletida, temperatura do ar e do solo, umidade do ar, velocidade do vento e direção, fluxo de calor no solo, condensação do vapor d'água à superfície e precipitação.

Neste estudo foram coletados permanentemente (24 horas do dia e 7 dias da semana) dados do fluxo de calor do solo, em que foi caracterizado em duas situações: com e sem presença de cobertura de liteira. Para tal, foi utilizada uma bateria com seis fluxímetros do modelo HFT-3 (*Campbell Scientific Inc.*, EUA), os quais foram instalados a 10 cm de profundidade e distribuídos em solos com e sem presença de cobertura de liteira. A bateria foi utilizada com objetivo de minimizar as irregularidades do solo. Para a análise dos dados foi obtida a média entre as três medições simultâneas.

Para o monitoramento do saldo de radiação solar (Rn) foi utilizado um saldo radiômetro modelo Q-7 da *Campbell Scientific Inc.*, instalado a 2 metros de altura do solo, com a finalidade de quantificar o saldo de radiação solar disponível próximo ao solo da floresta. Já para as medidas de precipitação, um pluviômetro foi utilizado o sensor TE 525 da *Texas Instruments* instalado no topo da torre. Todos os equipamentos foram

previamente testados e calibrados, conforme as normas dos fabricantes, no Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas (ICAT/UFAL).

Todos os sensores foram conectados por dois *dataloggers* (CR10X e 21X, *Campbell Scientific*), programados para efetuar medidas cada 10 segundos com médias armazenadas a cada 10 minutos em módulos de memória SM716 e SM4M, todos da *Campbell Scientific Inc.*, as quais eram descarregados em microcomputadores no local ou no ICAT/UFAL, sendo depois tratados e analisados através de *softwares* adequados.

Resultados e discussão

Precipitação pluviométrica

Na área de estudo o total de chuva precipitada foi de 1672 mm (Figura 2), um pouco acima da climatologia local. Na estação seca, que abrange os meses de novembro a fevereiro, apresentou um total de 314 mm (18,8% do total observado neste estudo), sendo o mês de

dezembro com o menor total mensal de 20,6 mm. Já na estação chuvosa, compreendido de abril a julho, registraram-se índices pluviométricos em torno de 1163,8 mm (69,6%), sendo maio o mês mais chuvoso (417 mm). Observa-se que neste período o fluxo de calor no solo (FCS) apresentou redução em seu ciclo, principalmente na área sem liteira (ver Figura 4b), onde o fluxo foi negativo na maior parte do tempo. Geralmente, a temperatura da água proveniente da chuva é menor que a temperatura da superfície, fazendo com que ela seja suprida pelo fluxo ascendente de calor no solo, devido à diminuição de aquecimento solar da superfície por conta da sua atenuação pelo dossel, mas, também, em virtude das perdas radiativas que transportam calor da superfície do solo para a atmosfera. Com isso, o transporte de calor no solo ocorre das camadas mais profundas em direção à superfície; então, este resultado é uma combinação da precipitação e da atenuação da radiação solar pelo dossel (Moura e Querino, 2010).

Figura 2. Variação temporal do total horário acumulado de precipitação pluviométrica (mm).

Saldo de radiação no interior da floresta

O regime térmico do solo é determinado pelo aquecimento da superfície pela incidência da radiação solar e transferência, por condução, de calor sensível para seu interior (Silans et al., 2006). Assim, no interior da floresta, com era de se esperar, o saldo de radiação apresentou um ciclo bem definido, com valores positivos durante o dia (entre 06 e 17 h) e menores à noite, apresentando maiores perdas de energia (Figura 3). Nota-se, ainda, picos nas estações seca e

chuvosa, evidenciando que a radiação solar dentro do sistema florestal sofre forte influência da estrutura vegetal (folhas e galhos), independente da estação climática.

Nos meses de maio a julho notou-se picos médios de $4,5 \text{ W m}^{-2}$, nos horários de 13 às 15 h. De acordo com Spolador et al. (2006), esses picos máximos ocorrem porque, no ciclo diurno, com a mudança da inclinação solar a incidência de radiação solar pode atingir pequenas clareiras na estrutura superior do dossel, o que permite maior

penetração em determinados pontos e em diferentes horários em função da estrutura do dossel (heterogeneidade da vegetação, clareiras, crescimento vegetativo, entre outros). Por outro lado, o mês de novembro apresentou os menores registros, com valores inferiores à zero, isso

estaria relacionado à ausência da incidência de radiação solar sobre o sensor, o que fez com que os valores obtidos pelos instrumentos fossem nulos, provocado, talvez, pelo sombreamento das folhas e/ou galhos sobre o sensor do equipamento.

Figura 3. Comportamento do saldo de radiação no interior da floresta, a 2 metros de altura (Rn_{2m}).

Fluxo de calor no solo

Durante o período de estudo foram analisados dados de fluxo de calor no solo referentes a uma área com presença de liteira (situação natural) e outra sem essa cobertura (situação criada com a sua retirada sobre o local do experimento). O objetivo era demonstrar o quanto a presença deste “forro natural” sobre o solo poderia influenciar a sua interação com o ambiente.

Os fluxos de calor no solo observados permitiram caracterizar seu ciclo anual na área estudada e, conseqüentemente, seu range sazonal. Examinando a Figura 4a é possível observar a diferença entre os períodos com maior e menor presença de precipitação, março à julho e novembro à janeiro, respectivamente. Apesar dessa diferença, os valores máximos médios se apresentam sempre entre 12 às 16 h (superiores a $3,0 \text{ W m}^{-2}$), enquanto os mínimos ocorreram próximo às 06 h (inferiores a $-4,0 \text{ W m}^{-2}$), independentemente da estação climática. Na estação chuvosa os valores se apresentam com intensidade menor que na estação seca devido ao menor nível de radiação solar disponível e, conseqüentemente, menor fluxo de energia para os níveis inferiores do solo (GALVANI et al., 2001).

Considerando as médias horárias de todo o período de estudo com liteira, foram encontrados registros máximos superiores a $2,0 \text{ W m}^{-2}$ nos horários de 13 e 15 h, com pico às 14 h (Figura 4a). Nota-se ainda que o fluxo permaneceu positivo, na maior parte do tempo, entre os horários de 10 e 19 h. Na área sem liteira (Figura 4b), o fluxo foi positivo por menor tempo, das 10 às 16 h. Os maiores registros médios ficaram entre $3,0$ e $4,2 \text{ W m}^{-2}$, nos horários de 12 e 14 h, onde o pico observado foi às 13 h, enquanto que na área com liteira o mínimo encontrado foi de $-4,1 \text{ W m}^{-2}$ às 06 h, na área sem a sua cobertura esse valor desceu para $-8,5 \text{ W m}^{-2}$ às 05 h. O fluxo de calor no solo ocorre em razão do processo de condução no qual, por movimento molecular, é transmitido a moléculas adjacentes, decrescentemente. Esta transmissão acontece quando o sistema não está em equilíbrio térmico, pois, seja durante o dia ou à noite, ocorrem trocas de calor entre a superfície do solo e a atmosfera, tanto por condução quanto por irradiação e há intercâmbio de calor entre a superfície do solo e a atmosfera nos processos de evaporação e condensação da água (MOURA e QUERINO, 2010). Nesse sentido, a menor amplitude de FCS encontrada na área com liteira comprova sua propriedade isolante, dificultando a troca de energia entre solo-atmosfera. A área sem liteira apresentou maiores registros diurnos e

menores nos períodos noturnos quando comparada à área com liteira, ou seja, ela absorve e perde calor mais facilmente. Isso é comprovado também nos horários em que FCS é positivo,

começando no mesmo horário nas duas áreas, mas com aumento mais acentuado na área sem liteira, onde, também, o fluxo se tornou negativo mais facilmente.

Figura 4. Variação temporal do fluxo de calor do solo (FCS) (W m^{-2}) da Mata Atlântica em área (a) com liteira e (b) sem liteira.

Comparando as Figuras 5 e 6, é notável a influência da precipitação nos ciclos horários e diários de FCS, visto que a mesma provoca alteração no padrão horário e diário e diminui o ciclo de FCS. Esse resultado foi detectado também por Moura e Querino (2010) em uma floresta de manguezal tropical, no Estado de Alagoas. Realizando análise na estação chuvosa, observa-se que FCS é influenciado pela precipitação e que provoca alteração no padrão diário e diminui o ciclo de FCS, visto que foi possível notar alguns dias com registros, na maior parte do tempo, negativos (dias 6, 12 e 21) (Figura

5a). Na área sem liteira observa-se que ocorrem as maiores variações do FCS, além de apresentar curto período de fluxo médio positivo, atingindo picos máximos superiores a $5,0 \text{ W m}^{-2}$, entre às 13 e 15 h, e mínimos inferiores a $-9,0 \text{ W m}^{-2}$, nos horários das 03 às 06 h (Figura 5b). Isso ocorre devido à ausência da cobertura da liteira (folhas e/ou raízes sobre o solo), fazendo com que o solo não armazene calor durante o dia e libere ainda mais para superfície à noite, deixando, assim, o solo sujeito a grandes variações térmicas diárias.

Durante a estação seca, na área com liteira, FCS foi positivo entre 08 e 20 h (Figura 6a), já na

área sem liteira, o ciclo diário positivo de FCS foi menor, se tornando positivo a partir das 08 h, permanecendo assim até às 17 h (Figura 6b). Na primeira área, os máximos ficaram entre 12 e 15 h com valores médios superiores a $2,0 \text{ W m}^{-2}$, atingindo mínimos no período da madrugada. Na outra (sem liteira), os máximos observados ficaram acima de $4,0 \text{ W m}^{-2}$ 11 e 14 h, e o mínimo registrado ficaram abaixo de $-4,0 \text{ W m}^{-2}$, durante a madrugada.

Durante o período diurno, na estação chuvosa, a maior condutividade do solo não conseguiu superar a maior quantidade de saldo de radiação solar disponível na estação seca neste

período, ocorrendo máximos diários menores na estação chuvosa. Já à noite, onde o saldo de radiação é basicamente o mesmo nos dois períodos, a maior condutividade do solo úmido na estação chuvosa facilitou a liberação de fluxo para a atmosfera, ocorrendo, assim, valores mais baixos de FCS.

Em geral, os valores de FCS na área sem liteira superaram em todos os momentos os da área com liteira, tanto no que se refere aos máximos quanto aos mínimos, apresentando uma amplitude diária maior. Isso comprova mais uma vez a propriedade térmico-isolante exercida por essa cobertura em um ambiente.

Figura 5. Variação temporal do fluxo de calor no solo (FCS) (W m^{-2}) na estação chuvosa (a) com liteira e (b) sem liteira.

Figura 6. Variação temporal do fluxo de calor no solo (FCS) (W m^{-2}) na estação seca (a) com liteira e (b) sem liteira.

Considerações finais

1. A cobertura de liteira influencia na interação solo-atmosfera, assim como no comportamento do fluxo de calor no solo (FCS) em momentos distintos do dia e nas estações chuvosa e seca.

2. A área sem liteira apresenta as maiores oscilações de FCS, independentemente da estação climática e do horário do dia, cujas variações chegam a 16 W m^{-2} na estação chuvosa e 12 W m^{-2} na estação seca.

3. O FCS sempre apresenta os maiores valores durante a estação seca e menores na estação chuvosa, em face da clara dependência de FCS da radiação solar incidente e de precipitação, com certa defasagem no ciclo de FCS comparado à radiação solar disponível.

4. O FCS diminui gradativamente durante todo o período noturno, atingindo registros mínimos próximos às 06 h, sendo que com o nascer do sol, torna a aumentar, sempre aos poucos, até atingir valores máximos quase sempre entre 14 e 15 h.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seu agradecimento ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento para a realização deste estudo, e a Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A pelo apoio.

Referências

- Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Pereira, A. B. 2001. Balanço de radiação e fluxo calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia* 60, 139-147.
- Giambelluca, T. W.; Hölscher, D.; Bastos, T. X.; Frazão, R. R.; Nullet, M. A.; Ziegler, A. D. 1997. Observations of albedo and radiation balance over postforest surfaces in the Eastern Amazon basin. *Journal of Climate* 10, 919-928.
- Gusmão, I. C. 1991. Plano de ação para a Mata Atlântica. Fundação SOS Mata Atlântica. 152p.
- Holl, K. D. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica* 31, 229-242.
- Machado, M. A. B. L. 2003. Florística e fitossociologia do estrato arbóreo de fragmentos de mata atlântica da usina Coruripe – Estado de Alagoas. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. 100p.
- MMA. 2002. Biodiversidade Brasileira: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF, 404p.

- Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Morellato, L. P. C.; Haddad, C. F. B. 2000. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32, 786-792.
- Moura, M. A. L.; Querino, C. A. S. 2010. Variação sazonal do fluxo de calor no solo dentro de um manguezal tropical. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 296-302.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Fonseca, G. A. B.; Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858.
- Pezzopane, J. E. M.; Reis, G. G.; Reis, M. G. F.; Costa, J. M. N. 2005. Caracterização da radiação solar em fragmento da Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 13, 11-19.
- Querino, C. A. S. 2006. Avaliação da radiação solar em ecossistema de manguezal tropical em Alagoas, Brasil. Maceió, Dissertação (Mestrado), Instituto de Ciências Atmosféricas/UFAL. 110p.
- RBMA – Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 2012. Anuário Mata Atlântica 2012. São Paulo, RBMA. 90p.
- Santos, M. A. L.; Frizzzone, J. A. 2006. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do Estado de Alagoas. *Irriga* 11, 339-355.
- Silans, A. M. B. P.; Silva, F. M.; Barbosa, F. A. R. 2006. Determinação in loco da difusividade térmica num solo da região de caatinga (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30, 41–48.
- Spolador, J.; Sanches, L.; Costa, M. H. 2006. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição cerrado-amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21, 301-307.
- Tenório, F. J. C.; Calheiros, C. B. M.; Madalena, J. A. S.; Cunha, J. L. X. L.; Custódio, J. A. S. 2008. Economia de água em irrigação por aspersão baseado na definição da velocidade de infiltração. *Revista Caatinga* 21, 185-188.