Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Variação sazonal dos fluxos de energia em áreas de caatinga preservada e degradada no Nordeste Brasileiro

Camilla Kassar Borges¹, Carlos Antônio Costa dos Santos², Lindenberg Lucena da Silva³, Rayonil Gomes Carneiro⁴, Antônio Marcos Delfino de Andrade⁵

^{1,3,5} Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB – Brasil. Autor correspondente: ¹E-mail: camillakassar@gmail.com; begapb@gmail.com ² Prof. Dr. da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB – Brasil. E-mail: carlos.santos@ufcg.edu.br; ⁴ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista– SP –Brasil.

Artigo recebido em 07/07/2016 e aceito em 05/08/2016

RESUMO

A maior parte da região semiárida brasileira é composta pelo bioma Caatinga, caracterizada pelo déficit hídrico. A Caatinga é considerada um bioma bastante heterogêneo, suscetível às alterações antrópicas, porém sua dinâmica dos fluxos turbulentos entre o ecossistema e a atmosfera ainda são pouco estudadas. O objetivo principal deste trabalho foi analisar a variação anual do ciclo diário dos componentes do balanço de energia, bem como o fechamento do balanço de energia em áreas de Caatinga preservada e degradada, durante o ano de 2013 no município de Campina Grande – PB. Os fluxos turbulentos são estimados pela técnica de eddy covariance a partir de cálculos estatísticos entre a covariância da velocidade vertical do vento e a razão de mistura do gás. Observou-se o aumento do fluxo de calor latente durante o período chuvoso e diminuição para o saldo de radiação, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo, e comportamento contrário para o período seco. Também, foi possível notar maior variação das componentes do balanço na área preservada que os da área degradada. A partir das componentes do balanço de energia fez-se o estudo do fechamento deste e verificou-se que o mesmo não ocorreu, devido à subestimativa dos fluxos turbulentos.

Palavras-chave: fluxos turbulentos; balanço de energia; Caatinga preservada e degradada.

Seasonal variation of energy fluxes in caatinga areas preserved and degraded in Northeast Brazil

ABSTRACT

Most of the Brazilian semiarid region is composed of the Caatinga biome, characterized by drought. The Caatinga biome is considered a very heterogeneous, susceptible to anthropogenic changes, however its dynamics of turbulent flows between the ecosystem and the atmosphere are still poorly studied. The main objective of this study was to analyze the annual variation of the daily cycle of energy balance components, as well as the closure of the energy balance in areas of Caatinga preserved and degraded during the year 2013 in city of Campina Grande - PB. Turbulent fluxes are estimated by eddy covariance technique from statistical calculations of the covariance of the vertical wind speed and the gas mixture ratio. There was an increase of latent heat flux during the rainy season and decrease to the net radiation, sensible heat flux and soil heat flux and behavior contrary to the dry season. Also, it was possible to see greater variation of balance components in the preserved to degraded area. From the energy balance components it made up the study of the closing of this and it was found that this did not occur due to underestimation of turbulent flows.

Keywords: turbulent fluxes; energy balance; preserved and degraded Caatinga.

Introdução

A região Semiárida apresenta grande parte da sua extensão (aproximadamente 980.133,08 km²) recoberta pelo bioma Caatinga, com abrangência de 734.478 km², o qual apresenta como característica principal a ocorrência de déficit hídrico (Medeiros, et al. 2012; IBGE, 2013;

Silva, et al., 2013). Este é decorrente de uma série de fatores, dentre os quais pode se destacar a precipitação pluvial baixa que oscila entre 200 e 800 mm/ano (ASA, 2013; Silva, et al., 2013), com volume mau distribuídos no espaço e no tempo. A baixa precipitação quando associada à elevados índices de radiação e temperaturas resultam em

uma demanda evaporativa alta, provocando estresse hídrico nas plantas, vindo a ser potencialmente agravado pelas mudanças nos padrões atmosféricos de larga escala (Souza et al., 2015a).

O bioma Caatinga abrange cerca de 9% do território nacional, e destaca-se por apresentar espécies apenas encontradas aqui no Brasil e com características únicas de tolerância ao estresse hídrico. Apesar disso, ainda é pouco estudado e já foi intensamente modificado (Casteletti et al., 2004; Souza et al., 2015b).

A técnica de eddy covariance (EC) ou covariância de vórtices turbulentos vem sendo muito utilizada em estudos em diferentes ecossistemas sobre as trocas de energia e massa entre ecossistema e a atmosfera. Alguns estudos das trocas turbulentas entre a biosfera e a atmosfera vêm sendo realizados em áreas de Caatinga, tais como os de Oliveira et al. (2006), Teixeira et al. (2008), Teixeira (2010), Cunha et al. (2013b), Cunha et al. (2013a), Souza et al. (2015). Estudos acerca do balanço de energia e suas partições permitem avaliar as respostas da interação do ecossistema-atmosfera às condições ambientais, bem como alterações no regime de precipitação, assimilação de carbono pelo sistema, além de serem usados como dados de entrada para modelagem climática (Chen et al., 2009; Krishnan et al., 2012; Souza et al., 2015a).

Este trabalho teve como objetivo analisar a variação sazonal das componentes do balanço de energia, e através destas verificar o fechamento do balanço, em uma área de Caatinga preservada e outra degradada ao longo do ano de 2013.

Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos em dois locais pertencentes ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande – PB. Conforme a versão de Alvares et al. (2013) para a classificação Köppen, o clima semiárido (tipo BSh) é característico da região Nordeste do Brasil, locais onde a precipitação anual é inferior a 800 mm, onde B representa a zona climática seca, Bs semiárido e BSh para baixa latitude e altitude. No Planalto da Borborema, na Paraíba, Vale do Rio São Francisco e norte da Bahia ocorre precipitação anual inferior a 700 mm. A temperatura média anual do ar varia entre 21,5 °C e 26 °C e a umidade relativa do ar está em torno de 60% para região semiárida do Nordeste (Sampaio, 2010; Francisco et al., 2015).

A realização das análises foi efetuada em dois ambientes distintos, sendo um com

Caatinga degradada (CD) e outra preservada (CP).

A área preservada (CP) estava situada na fazenda experimental do INSA, onde foi instalada uma torre micrometeorológica de 7 m de altura (7° 16' 47.76" S; 35° 58' 29.21" O). A vegetação apresentava um dossel vegetativo bastante estruturado, predominantemente caracterizada pela presença de um estrato arbustivo, onde se observava alguns indivíduos arbóreos esparsos, além de grande concentração de cactáceas, diferindo apenas em sua densidade.

A área degradada (CD) estava localizada na sede administrativa do INSA, onde foi instalada uma torre micrometeorológica de 3 m de altura (7° 14' 59.78" S, 35° 56' 49.70" O). As características do solo da área degradada são constituída por sedimentos arenosos com a ocorrência de algumas ravinas no entorno da torre instalada.

Para a realização do monitoramento micrometeorológicos nas duas torres foram utilizados os seguintes instrumentos: saldo radiômetro (CNR 4, Kipp&Zonen), composto de 2 piranômetros (CM3) e 2 pirgeômetros (CG3), que medem o balanço entre a radiação de onda curta e longa incidentes e a radiação refletida de onda curta e a emitida de onda longa pela superfície; sensor de temperatura e umidade relativa do ar (HC2S3-L, Campbell Scientific). O fluxo de calor no solo está sendo medido por dois sensores (HFP01, Campbell Scientific) a 2 cm de profundidade. A temperatura do solo é fornecida também por dois sensores (108-L, Campbell Scientific), instalados a 2 cm de profundidade.

Os sinais dos instrumentos foram lidos a uma frequência de 5 s e seus valores médios e totais são armazenados a cada 20 minutos em um datalogger (CR3000, Campbell Scientific), alimentado por quatro painéis solares, sendo dois de 45 W e dois de 80 W, acoplados a baterias automotivas de 12 V.

Para a determinação os dados de alta frequência utilizou-se o sistema de eddy covariance composto por um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3A Campbell Scientific) para medir as 3 componentes de velocidade do vento (u , v , w), e um analisador de gás (EC150, Campbell Scientific) temperatura do ar, um barômetro avançado e um analisador de gás para medir as concentrações vapor de água (H_2O) e CO_2 .

Os dados obtidos pelo sistema EC foram coletados em uma frequência de 10 Hz, sendo as médias, desvios padrão e os cálculos dos fluxos de interesse (calor latente, sensível) computados e posteriormente processados a cada 30 min e

armazenados no datalogger (CR3000, Campbell Scientific).

Os fluxos turbulentos são calculados em termos da covariância entre uma grandeza de interesse (s) e a velocidade vertical do vento (w) nos turbilhões, multiplicados pela densidade ou concentração da grandeza em questão (ρ). Assim, a densidade de fluxo, ou simplesmente o fluxo vertical é descrito como (Moncrief et al., 1997; Baldocchi, 2003; Galvagno, 2011; Jah et al., 2013):

$$F = \overline{\rho w s} \quad (1)$$

onde, a barra superior representa a média do produto para um intervalo de amostragem, como a cada meia hora.

Os turbilhões movem-se através dos sensores de alta frequência e os dados observados pelos instrumentos, como vento e outros escalares são tratados para obter o transporte turbulento da grandeza de interesse. Os cálculos das propriedades dos turbilhões são fornecidos através da decomposição de Reynolds e suposições acerca das flutuações de densidade do ar, divergência e

convergência dos fluxos turbulentos que podem ser desprezados (Burba e Anderson 2010; Galvagno, 2011).

Resultados e discussão

A variação diurna média mensal para o ano de 2013, ou variação sazonal dos fluxos do saldo de radiação (R_n), na área de Caatinga estão descritos na Figura 1, onde as barras verticais representam o erro padrão. No caso do R_n para a área preservada (Figura 1a), a maior variação ocorreu nos períodos de janeiro a março e outubro a dezembro, e o período de menor variação de maio a agosto. A variação mínima ocorreu em julho, com o valor de 467 Wm^{-2} , e a máxima em janeiro, valor de 614 Wm^{-2} . Enquanto que para área degradada (Figura 1b), não ocorreram medidas de janeiro a fevereiro de 2013, devido a falhas dos sensores. As maiores variações ocorreram em março, outubro a dezembro, com máximo de 635 Wm^{-2} em outubro, enquanto que o período de menor variação foi de junho a agosto e menor valor de 482 Wm^{-2} em junho.

a)

b)

Figura 1. Variação do ciclo diário do saldo de radiação (R_n) para área de Caatinga preservada (a) e degradada (b) para o ano de 2013.

O ciclo anual do fluxo de calor sensível (H) na área preservada é apresentado na Figura 2a, sendo observado que o período de menor variação foi de maio à agosto e, está bem

definido, sendo a menor variação de 152 Wm^{-2} em julho. Já o período de maior variação foi de janeiro a março, com maior 416 Wm^{-2} em janeiro. Na área degradada, Figura 2b, por falha

dos instrumentos não existem dados de janeiro a fevereiro e de novembro a dezembro, foi possível notar que a variação ao longo do ano foi menor que na área preservada, em outubro ocorreu a maior variação, de 361 Wm^{-2} , já as

menores variações aconteceram entre junho a julho e mínimo em julho, 142 Wm^{-2} .

Figura 2. Variação do ciclo diário do fluxo de calor sensível (H) para área de Caatinga preservada (a) e degradada (b) durante o ano de 2013, Campina Grande – PB.

Para o LE, área preservada (Figura 3a), a variação sazonal é mais intensa que dos outros fluxos, sendo a maior variação entre maio a setembro, ou seja, correspondendo à época chuvosa da região de estudo, com o valor máximo em julho (254 Wm^{-2}) e as menores variações de janeiro a março e outubro a dezembro, estação seca da região, sendo menor em fevereiro (28 Wm^{-2}). O que é o oposto com o R_n e H, em que no mês de julho ocorreu a menor variação desses fluxos e a maior para o LE, e as menores variações de LE correspondem com as maiores de H.

O fluxo de LE na área degradada (Figura 3b), apresentou menor variação sazonal deste do que a área vegetada, onde de maio a setembro ocorreu a maior variação, com máximo de 197 Wm^{-2} em julho, e de março a abril, outubro a dezembro registraram-se as menores variações, sendo o menor valor de 53 Wm^{-2} em dezembro. O mês de julho apresentou a maior variação para LE superior ao H, de forma contrária ao comportamento de H, o que está relacionado ao período chuvoso da região. Observou-se também, que nos meses onde o LE exibiu os menores valores, os fluxos de R_n e H

apresentaram as maiores variações; fato que está relacionado ao período seco da região.

A variação do G, Figura 4a, foi menor de maio a agosto, com mínimo valor de 22 W m^{-2} em julho e a maior variação nos intervalos de janeiro a abril e setembro a dezembro, com máximo de 89 W m^{-2} em março. Contudo, a variação sazonal do G é menor que a variação do H e LE, assim como observaram Bi et al. (2007) e Gao et al. (2009). Quanto ao G na área degradada (Figura 4b), o intervalo de setembro a dezembro também registraram os maiores valores, com 125 Wm^{-2} em outubro, maior que na área preservada, e a menor variação observada foi de 58 W m^{-2} para março, também maior que na área preservada.

De maneira geral em regiões semiáridas como o bioma Caatinga, apresentam baixas taxas de LE, pois a maior parte da energia disponível à superfície ($R_n - G$) é liberada na forma de calor sensível (Oliveira et al., 2006). Durante a estação seca o ar sobre a superfície vegetada está mais aquecido, devido a menor quantidade de vapor de água e durante a estação chuvosa, o R_n é basicamente convertido em LE. Porém, uma das características das regiões

semiáridas são os períodos curtos de chuva, que na escala anual resultam em H superior a LE (Teixeira et al., 2008).

Figura 3. Variação do ciclo diário do fluxo de calor latente (LE) para área de Caatinga preservada (a) e degradada (b) para o ano de 2013.

Figura 4. Variação do ciclo diário do fluxo de calor no solo (G) para área de Caatinga preservada (a) e degradada (b) para o ano de 2013.

A comparação entre os fluxos turbulentos de H e LE com a energia disponível (Rn-G) (Figura 5) para estudo do fechamento do balanço de energia tem-se que (H+LE) representam 77% da (Rn-G), ou seja os fluxos

turbulentos são até 23% menores que (Rn-G), evidenciando o não fechamento do BE e o coeficiente de determinação (r^2) de 0,95.

Figura 5. Regressão linear entre a energia disponível (Rn – G) e os fluxos turbulentos (LE + H) para o fechamento do balanço de energia (BE), da área de Caatinga preservada.

Como no caso anterior, não ocorreu o fechamento do BE na área degradada, Figura 6, os fluxos turbulentos (H+LE), foram subestimados (38%), contudo essa diferença foi maior na área degradada, em torno de 15% e r^2 igual a 72%. Assim, como calculados por Hao et al. (2007), o coeficiente angular (α) de 0,69 e R^2 de 0,95, Cunha et al. (2013b) encontrou α de

0,83 e r^2 de 0,96, e Souza et al. (2015a), obteve α igual a 0,75 e r^2 de 0,92. Esses resultados encontrados indicam desigualdades no balanço de energia para a região de estudo, fato que foi documentado em outros artigos para diferentes superfícies (Foken, 2008, Irmak et al., 2014, entre outros).

Figura 6. Regressão linear entre a energia disponível ($R_n - G$) e os fluxos turbulentos ($LE + H$) para o fechamento do balanço de energia (BE), da área degradada.

O problema de equilíbrio no BE em estudos da micrometeorologia surge por conta da contribuição dos fluxos turbulentos ($LE + H$) serem menor que a energia disponível ($R_n - G$), de forma que os fluxos turbulentos são subestimados (Irmak et al., 2014). Existem algumas causas para isso, dentre elas estão a imprecisão nas medições, não se contabilizar o calor armazenado no solo e no dossel das plantas e a formação de turbilhões maiores, devido heterogeneidade da superfície (Foken et al., 2006; Irmak et al., 2014). Dentre as razões para desigualdade no fechamento do balanço de energia, particularmente de zonas áridas e semiáridas podem estar em: a não inclusão de outros sumidouros de energia (Wilson et al., 2002; Li et al., 2006); o gradiente de temperatura nas camadas superiores do solo, consequentemente produz armazenamento de calor nas camadas acima do sensor (Oliveira et al., 2006).

Conclusões

A radiação líquida disponível à superfície nas duas áreas de Caatinga (semiárido) foi convertida em grande parte em fluxo calor sensível, porém o fluxo de calor latente exibiu variação intensa ao longo do ano em relação aos outros fluxos do balanço de energia, especialmente na área preservada. Também, exibiu valores superiores ao fluxo de calor sensível em julho no período chuvoso, além de observar que este apresentou o comportamento contrário ao calor

sensível. Fato que está ligado à disponibilidade ou não de água de cada época do ano para os processos evaporativos.

Da avaliação do fechamento do balanço de energia, constatou-se que não ocorreu o fechamento para ambas as áreas de estudo, pois os fluxos turbulentos foram subestimados em relação à energia disponível à superfície, sendo que a diferença foi maior na área degradada. O que pode ser atribuído ao se negligenciar o calor armazenado nas camadas mais superficiais do solo e do dossel, por conta da alta insolação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós Graduação em Meteorologia da UFCG (PPGMET), ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa ao segundo autor.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 8, 711-728.
- ASA. Articulação Semiárido Brasileiro, 2013. Disponível: http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=105. Acesso: 07 de nov. de 2013.

- Baldocchi, D. D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology* 9, 479-492.
- Bi, X., Gao, Z., Deng, X., Wu, D., Liang, J., Zhang, H., Sparrow, M., Du, J., Li, F., Tan, H., 2007. Seasonal and diurnal variations in moisture, heat, and CO₂ fluxes over grassland in the tropical monsoon region of southern China. *Journal of Geophysical Research* 112, 1-14.
- Burba, G., Anderson, D., 2010. A brief practical guide to eddy covariance flux measurements, 1ed. LI-COR Biosciences, Lincoln.
- Castelletti, C.H.M., Silva, J.M.C., Tabarelli, M., Santos, A.M.M., 2004. Quanto ainda resta da Caatinga? uma estimativa preliminar, in: Silva, J.M.C., Tabarelli, M., Fonseca, M.T., Lins, L.V.(Orgs.), Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 91-100.
- Chen, S., Chen, J., Lin, G., Zhang, W., Miao, H., Wei, L., Huang, J., Han, X., 2009. Energy balance and partition in Inner Mongolia steppe ecosystems with different land use types. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1800-1809.
- Cordeiro, M. C., 2016. Uso do Sensoriamento Remoto no estudo da temperatura na área urbana de Campina Grande, *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. No prelo.
- Cunha, A.P.M.A., Alvalá, R.C.S., Sampaio, G., 2013a. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 139-152.
- Cunha, A.P.M.A., Alvalá, R.C.S., Sampaio, G., Shimizu, M.H., Costa, M.H., 2013b. Calibration and Validation of the Integrated Biosphere Simulator (IBIS) for a Brazilian Semiarid Region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 52, 2753-2770.
- Foken, T., Wimmer, F., Mauder, M., Thomas, C., Liebethal, C., 2006. Some aspects of the energy balance closure problem. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 3381-3402.
- Foken, T., 2008. The energy balance closure problem – An overview. *Ecological Applications* 18, 6, 1351-1367.
- Francisco, P.R.M., Medeiros, R.M., Santos, D., Matos, R.M., 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1006-1016.
- Galvagno, M., 2011. Carbon dioxide exchange of an alpine grassland: integration of eddy covariance, proximal sensing and models. 2011. 102 f. Tese (Doutorado). Milão, Universidade de Milano-Bicocca,
- Gao, Z., Lenschow, D. H., Hie, Z., Zhou, M., 2009. Seasonal and diurnal variations in moisture, heat and CO₂ fluxes over a typical steppe prairie in Inner Mongolia, China. *Hydrology and Earth System Sciences* 13, 987-998.
- Hao, Y., Wang, Y., Huang, X., Cui, X., Zhou, X., Wang, S., Niu, H., Jiang, G., 2007. Seasonal and interannual variation in water vapor and energy exchange over a typical steppe in Inner Mongolia, China, *Agricultural and Forest Meteorology* 146, 57-69.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Censo demográfico 2007. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/censo>. Acesso: 05 de nov. de 2013.
- Irmak, S., Payero, J. O., Kilic, A., Odhiambo, L. O., Rudnick, D., Sharma, V., Billesbach, D., 2014. On the magnitude and dynamics of eddy covariance system residual energy (energy balance closure error) in subsurface drip-irrigated maize field during growing and non-growing (dormant) seasons. *Irrigation Science* 32, 3.
- Jha, C.S., Thumaty, K.C., Rodda, S.R., Sonakia, A., Dadhwal, V.K., 2013. Analysis of carbon dioxide, water vapour and energy fluxes over an Indian teak mixed deciduous forest for winter and summer months using eddy covariance technique. *Journal of Earth System Science* 122, 1259-1268.
- Krishnan, P., Meyers, T. P., Scott, R. L., Kennedy, L., Heuer, M., 2012. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America. *Agricultural and Forest Meteorology* 153, 31-44.
- Li, S.G., Eugster, W., Asanuma, J., Kotani, A., Davaa, G., Oyunbaatar, D., Sugita, M., 2006. Energy partitioning and its biophysical controls above a grazing steppe in central Mongolia. *Agricultural and Forest Meteorology* 137, 89-106.
- Medeiros, S.S., Cavalcante, A.M.B., Marin, A. M.P., Tinôco, L.B.M., Salcedo, I.H., Pinto, T.F., 2012. Sinopse do censo demográfico para o semiárido Brasileiro. Campina Grande, 1 ed. INSA, Campina Grande.
- Moncrieff, J., Valentini, R., Greco, S., Guenther, S., Ciccioli, P., 1997. Trace gas exchange over terrestrial ecosystems: Methods and perspectives in micrometeorology. *Experimental Botany*, 1113-1142.

- Oliveira, M.B.L.; Santos, A.J.B.; Manzi, A.O.; Alvalá, R.C.S.; Correia, M.F.; Moura, M. S.B., 2006. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de Caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21, 378-386.
- Sampaio, E.V.S.B., 2010. Características e potencialidades, in: Gariglio, M.A., Sampaio, E.V.S.B., Cestaro, L.A., Kageyama, P.Y. (Orgs.), *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, pp. 29-48.
- Silva, J. V.N., Suassuna, C.M., Cardoso, A., Francisco, P.R.M., 2013. Produção agroecológica integrada e sustentável no semiárido Brasileiro, in: Furtado, D.A., Baracuh, J. G., Francisco, P. R.M. (Orgs.), *Difusão de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro*. EPGRAF, Campina Grande:, pp. 132-141.
- Souza, L.S.B., Moura, M.S., Sedyama, G.C., Silva, T.G.F., 2015a. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 8, 672-636.
- Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Sedyama, G.C., Silva, T.G.F., 2015b. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8,1, 41-55.
- Theichrieb, C.A., 2012. Trocas de carbono atmosférico sobre dois diferentes sistemas de plantio de milho no sul do Brasil. Tese (Doutorado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.
- Teixeira, A.H.C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Moura, M.S.B., Bos, M. G., 2008. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology* 362, 110-127,
- Teixeira, A.H.C., 2010. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. *Remote Sensing* 2, 1287-1319.
- Wilson, K., Goldstein, A., Falge, E., Aubinet, M., Baldocchi, D., Berbigier, P., Bernhofer, C., Ceulemans, R., Dolman, H., Field, C., Grelle, A., Ibrom, A., Law, B.E., Kowalski, A., Meyers, T., Moncrieff, J., Monson, R., Oechel, W., Tenhunen, J., Valentini, R., Verma, S., 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology* 113, 223-243.