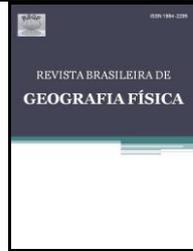




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Aspectos da Variabilidade Sazonal da Radiação, Fluxos de Energia e CO₂ em Área de Caatinga

Samira de Azevedo Santos¹, Magaly de Fátima Correia², Maria Regina da Silva Aragão², Pollyanna Kelly de Oliveira Silva³

¹Doutoranda em Meteorologia; Departamento de Ciências Atmosféricas; Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. E-mail: samira.azevedo@yahoo.com.br; ²Professora Doutora; Departamento de Ciências Atmosféricas; Universidade Federal de Campina Grande-UFCG.; ³IMPSA Wind; Cabo de Santo Agostinho; Pernambuco.

Artigo recebido em 15/08/2012 e aceito em 13/09/2012

RESUMO

Regiões semiáridas são particularmente sensíveis à variabilidade pluviométrica com respostas imediatas da superfície ao aumento ou redução no teor de umidade do solo e processos de evapotranspiração. Mudanças no padrão espacial e temporal das chuvas representam um fator determinante nas trocas de calor, vapor d'água e CO₂ entre o ecossistema e a atmosfera. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento sazonal da radiação, dos fluxos de energia e CO₂ em área de caatinga. Mudanças na disponibilidade de umidade são determinantes para as alterações no regime de cobertura do dossel e impõem múltiplas adaptações à vegetação da caatinga. A redução na cobertura vegetal acarreta uma maior susceptibilidade do ambiente aos efeitos da radiação e insolação. Variações diárias da temperatura aceleram a atividade microbiana do solo e liberação de CO₂. As análises foram concentradas no período de julho de 2004 a julho de 2005. Os resultados mostram que a maior parte da energia absorvida pela superfície foi liberada na forma de calor sensível, refletindo a resposta da vegetação a insuficiência hídrica da região. Os resultados obtidos com a análise da evolução do fluxo de carbono possibilitam concluir que no período de estiagem, embora com taxas mínimas, o bioma atua como emissor de CO₂. Valores substancialmente mais elevados (negativos) observados no período chuvoso indicam um comportamento inverso no qual o bioma atua como sumidouro de carbono da atmosfera (sequestro de CO₂). Esse resultado indica a importância da conservação do bioma caatinga no controle do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global.

Palavras - chave: caatinga, CO₂, semiárido

Seasonal Variability Aspects of Radiation and Fluxes of Energy and CO₂ in a Caatinga Area

ABSTRACT

Semiarid regions are particularly sensitive to rainfall variability with quick surface responses to an increase or decrease in soil moisture content and evapotranspiration processes. Changes in spatial and temporal rainfall patterns are a determining factor in heat, water vapor and CO₂ exchanges between the ecosystem and the atmosphere. In this context, the objective in this work is to analyze the seasonal behavior of the radiation and of the energy and CO₂ fluxes in a caatinga area. Changes in moisture availability dictate alterations in the canopy cover regime and lead to multiple adaptations of the caatinga vegetation. The reduction in vegetation cover causes a higher environmental susceptibility to the radiation and insolation effects. Daily temperature variations accelerate the microbial activity in the soil and the CO₂ loss. Analyses were concentrated in the period from July 2004 to July 2005. The results show that most of the energy absorbed by the surface is released as sensible heat, which reflects the vegetation response to the hydrological deficiency in the region. The results obtained by analyzing the evolution of the CO₂ flux allow to conclude that during the dry season the biome acts as CO₂ source, although with minima rates. Substantially higher (negative) values observed during the rainy season indicate an opposite behavior in which the biome acts as a sink of atmospheric carbon (CO₂ sequestration). This result indicates the importance of the caatinga biome conservation in the control of greenhouse gases increase and hence global warming.

Keywords: caatinga, CO₂, semiarid

* E-mail para correspondência:
samira.azevedo@yahoo.com.br (Santos, S. A.).

1. Introdução

A Caatinga é um bioma puramente brasileiro, com características particulares quanto à fisionomia e estrutura. É formada por plantas decíduas e xerófilas (plantas que perdem as folhas para restringir a perda d'água por transpiração). O bioma Caatinga ocupa cerca de 11% do território brasileiro. Uma característica marcante das plantas da Caatinga é a forte alteração na estrutura do dossel onde as plantas perdem as folhas e entram em fase de dormência vegetativa, no período seco, enquanto que, no período chuvoso, o bioma revigora-se rapidamente após as primeiras chuvas (Santos et al., 2011; Correia et al., 2006; Correia, 2001).

As alterações sofridas na cobertura vegetal do bioma entre os períodos secos e chuvosos altera o balanço de radiação que é o principal fator de interação da superfície com a atmosfera. Como a vegetação também armazena energia, modificações em sua cobertura resultam em uma maior ou menor disponibilidade de calor para os processos atmosféricos. Mudanças no padrão espacial e temporal das chuvas representam um fator determinante nas trocas de calor, vapor d'água e CO₂ entre o ecossistema e a atmosfera. Segundo Querino et al., (2006), a interação entre o bioma e a atmosfera mediante as trocas de calor, provêm da radiação solar, ela também é responsável pela maioria dos processos biológicos e fisiológicos das plantas e está diretamente associada a quantidade da energia disponível

para os processos solo-planta-atmosfera.

Assim o objetivo do trabalho foi analisar os aspectos das condições atmosféricas e ambientais e dessa maneira caracterizar a dinâmica sazonal do fluxo de CO₂, dos fluxos de calor e da radiação em uma região de Caatinga, o que possibilitará o entendimento da interação biosfera atmosfera e a variabilidade no balanço de energia em superfície, auxiliando assim, nos estudos e ações que visam a conservação do bioma.

2. Material e Métodos

2.1 Importância de observações em escala local

Grande parte do conhecimento adquirido até o presente sobre a dinâmica da atmosfera no Nordeste resulta de estudos realizados utilizando informações que permitem diagnosticar apenas a circulação atmosférica de grande escala. Por outro lado, atividades regionais como aquelas ligadas ao setor energético, agropecuário necessitam de informações meteorológicas e climatológicas a nível sub-regional, inclusive.

Uma das grandes dificuldades encontradas pelos pesquisadores é a ausência de uma rede de coleta de dados adequada, o que impede a realização de pesquisas hidrológicas e/ou meteorológicas com a precisão necessária para avaliar o grau de vulnerabilidade de ecossistemas frágeis como a caatinga decorrente das ações antrópicas. Para entender os efeitos das mudanças na superfície é necessário medidas com alta

resolução temporal além de medições sobre diferentes coberturas vegetais.

As primeiras medições micrometeorológicas em áreas de caatinga foram realizadas em 1996 através da execução do Projeto MUCLISA (Mudanças Climáticas no Semiárido) desenvolvidas numa área de preservação ambiental do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais) situada na estação ecológica do Seridó (Rio Grande do Norte). Um dos principais objetivos do projeto foi avaliar as mudanças microclimáticas causadas por reflorestamento com algaroba no semiárido do Nordeste brasileiro (Siqueira, 1997).

Com objetivos similares foi instalado no município de São João do Cariri (PB) um experimento de campo para coleta de dados micrometeorológicos. As medições tiveram início em 2001. Esta é uma região de caatinga composta predominantemente de pastagem, plantas arbóreas, e cactáceas. Em meados de 2003, através de um convênio entre o INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) e a CPATSA-EMBRAPA (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) em Petrolina (PE), foi instalada uma torre micrometeorológica com nove metros de altura em área de preservação da caatinga. A região caracteriza-se por uma vegetação do tipo de jurema, com árvores atingindo cerca de 5 a 7 metros de altura (Oliveira et al., 2006). Instrumentos de última geração instalados nesta torre capazes de fornecer

informações com alta resolução temporal sobre a vegetação nativa da região semiárida motivaram o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 Importância de observações em escala local

Nesse estudo o principal conjunto de dados é composto por medidas feitas numa torre micrometeorológica situada em campo experimental da EMBRAPA/PETROLINA, situado em Petrolina- PE (9.9°S, 40.22°W, 365,5 m) Nordeste do Brasil, numa área coberta por vegetação do tipo *caatinga* cuja altura varia de 5 a 7 metros, no período de julho de 2004 a julho de 2005 (Figura 1).

A torre é equipada com sensores instalados em dois sistemas de observações, sendo um em alta frequência (fluxos de CO₂, vapor d'água e calor sensível) e outro em baixa frequência (medidas de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, umidade e temperatura do solo). Uma síntese dos instrumentos e variáveis medidas na torre micrometeorológica é apresentada no Quadro 1.

Os dados foram lidos a cada minuto e armazenados seus valores médios e totais a cada 10 minutos em um coletor de dados (CR23X – Campbell). No caso do Sistema de fluxos (Anemômetro sônico tridimensional - CSAT3 – Campbell e o analisador de CO₂ e H₂O - LI7500 – Licor) os dados foram lidos a cada 0,0625 segundos (16 vezes por segundo) por um coletor de dados (CR10X – Campbell) e armazenados em um notebook dedicado. O

processamento dos dados para obtenção dos fluxos de calor latente, sensível e de dióxido de carbono foi feito com o sistema de covariância dos vórtices turbulentos utilizando um programa escrito em linguagem FORTRAN (programa ‘Eddyinpe’), que foi desenvolvido no Alterra, Holanda, e adaptado no CPTEC/INPE para o sistema instalado na

Caatinga. O programa calcula as flutuações turbulentas em intervalos de 30 minutos, realizando uma série de correções necessárias para a estimativa dos fluxos, conforme a metodologia sugerida por Aubinet et al. (2000). Uma descrição detalhada do processamento pode ser encontrada em Oliveira et al. (2006).

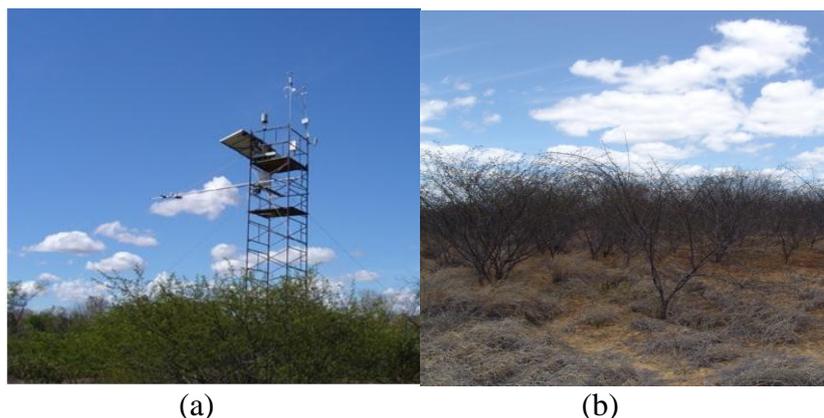


Figura 1. Torre micrometeorológica em área de caatinga situada no campo experimental da EMBRAPA Semiárido (a) e Aspectos da fisionomia do Bioma Caatinga durante a estação seca, no município de Petrolina (b). (Fonte: <http://fatosefotosdacaatinga.blogspot.com.br>).

Quadro 1. Instrumentos instalados no experimento de campo realizado na Caatinga.

Altura (m)	Variáveis Meteorológicas	Instrumento
9	Temperatura e Umidade do ar	Termohigrômetro HMP45C da Campbell
11	Direção e Velocidade do vento	Anemômetro sônico (Young)
9	Precipitação	Pluviômetro TB4 da Campbell
9	Pressão	Barômetro (CS105 Campbell)
-0,05	Fluxo de Calor no Solo	Placa de Fluxo (HFP01 da Hukseflux)
9	Radiação PAR incidente/refletida	Radiômetro PAR Lite (Kipp & Zonen)
9	Radiação global incidente/refletida	Piranômetro (Kipp & Zonen)
9	Saldo de Radiação	Saldo Radiômetro NR Lite (Kipp & Zonen)
9	Irradiação de ondas longas Incidente e refletida	Pirgeômetro (Kipp & Zonen)
11	Três componentes do vento e temperatura virtual	Anemômetro sônico tridimensional (CSAT3- 3D Campbell)
11	Concentrações de H ₂ O e CO ₂	LICOR LI7500
-0,10; -0,20; -0,30; -40; -0,60; -1,0	Perfil de umidade do solo	Delta
-0,02; -0,05; -0,10; -0,20; -0,50	Perfil de temperatura do solo	STP01 da Hukseflux

Neste trabalho foram analisados os dados de Radiação de Onda Curta incidente (ROC_i), o Saldo de Radiação (R_n), a Radiação de Onda Longa emergente (ROL_e), os Fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) e o Fluxo de CO₂ para o período de julho de 2004 a julho de 2005, com exceção do mês de dezembro de 2004, por não conter dados suficientes para a análise. Na avaliação do fluxo de CO₂ (F_c), foram escolhidos quatro meses para análise, os meses de agosto e setembro de 2004 como representativos do período seco e os meses de fevereiro e março de 2005 como representativos do período chuvoso. Os dados foram reorganizados em quatro grupos sendo dois no período diurno, compreendendo as médias das medições nos

intervalos entre 06 e 12 HL (manhã) e entre 12 e 18 HL (tarde) e dois grupos no período noturno compreendendo as médias das medições feitas nos intervalos entre 18 e 24 HL (noite) e entre 00 e 06 HL (madrugada).

3. Resultados e Discussão

3.1 Radiação de onda curta incidente

A variação sazonal média horária da radiação de onda curta incidente (ROC_i), medida no período de julho de 2004 a julho de 2005 é mostrada na Figura 2. Verifica-se que os valores máximos se concentram nos meses de outubro e novembro entre 11 e 13 horas local (HL). Valores elevados, da ordem de 900 W/m² também são observados no mês de janeiro.

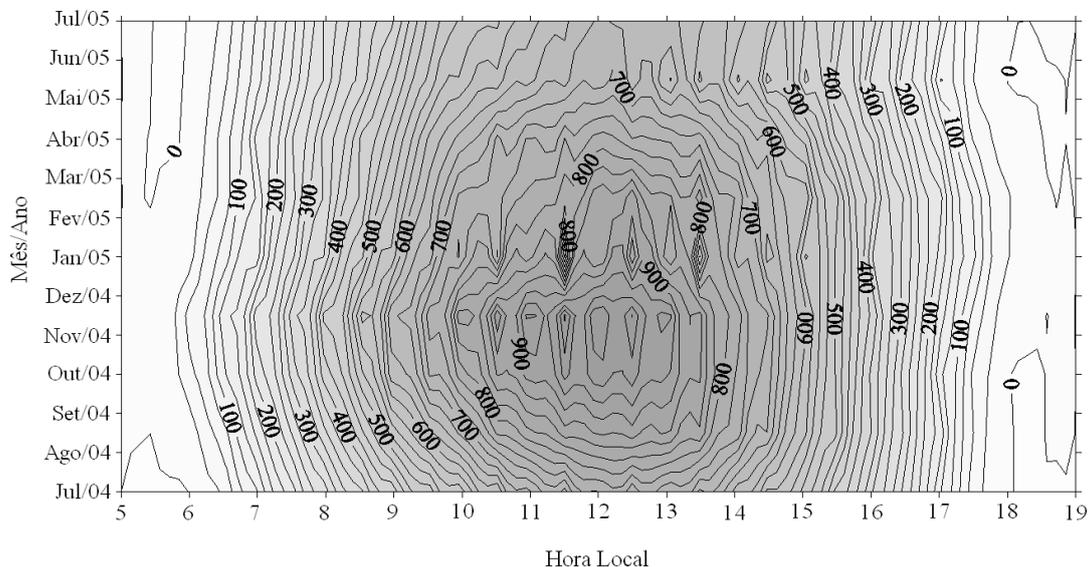


Figura 2. Variação média horária mensal da Radiação de onda curta incidente (W/m²), para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

Os valores mínimos médios mensais (aproximadamente, 650 W/m²) são observados no mês de maio. No entanto, quando consideradas medidas instantâneas os

resultados mostram que o valor máximo da radiação global foi registrado em outubro e o valor mínimo no mês de janeiro.

A alta variabilidade nos valores deste

parâmetro é esperada já que a quantidade de radiação solar que atinge a superfície depende de vários fatores tais como transmissividade da atmosfera, cobertura de nuvens e topografia. Ao atravessar a atmosfera, a radiação é refletida pelas nuvens, e sofre difusão (espalhamento) na interação com moléculas de ar, aerossóis, vapor d'água e dióxido de carbono.

3.2 Saldo de radiação

A obtenção e análise do saldo de radiação (R_n) em superfícies vegetadas é um procedimento importante já que o R_n representa a principal fonte de energia para os processos físico-químicos que ocorrem na

interface superfície-atmosfera. Essa energia é utilizada no aquecimento do ar e solo, na evapotranspiração pela transferência de vapor da superfície para atmosfera e no metabolismo das plantas principalmente na fotossíntese (Azevedo et al., 1990).

A variação sazonal média horária do saldo de radiação, no período de julho de 2004 a julho de 2005, é mostrada na Figura 3. Os valores são negativos a noite e positivos durante o dia já que o fluxo incidente passa a ser apenas da atmosfera. A energia emitida pela superfície é substancialmente superior. Os dados mostram valores entre -60 e 600 W/m^2 .

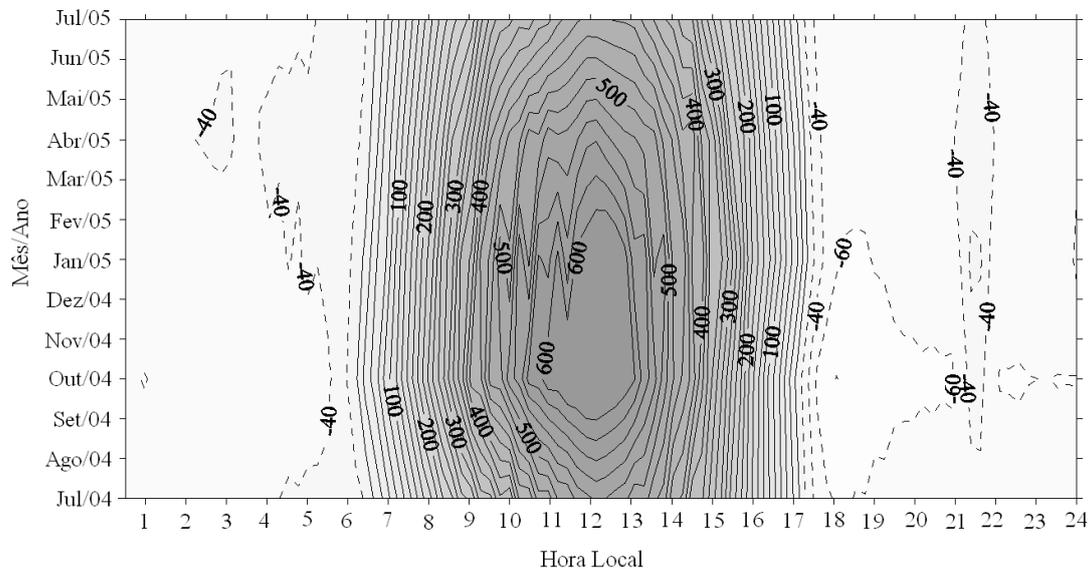


Figura 3. Variação média horária mensal do Saldo de Radiação em W/m^2 , para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

Observa-se ainda que o saldo de radiação entre 18 e 24 HL, é negativo, mostrando maiores perdas radiativas. Esse comportamento é mais evidente entre setembro e fevereiro, principalmente no mês de outubro, em que os valores chegam a -60

W/m^2 em torno das 21 HL. Nesses meses também ocorre maior absorção de energia no período diurno, o que explica uma maior emissão de radiação de ondas longas durante a metade inicial da noite. Essa alta taxa de absorção é resultado da alta incidência de

radiação global, aliada a dias com pouca nebulosidade.

3.3 Irradiância de onda longa emergente ou emitida

A variação sazonal média horária da Irradiância de onda longa emitida pela superfície (ROL_e) para o período de julho de 2004 a julho de 2005 é mostrada na Figura 4. Verifica-se que os valores médios máximos da ROL_e ocorreram entre os meses de setembro e dezembro no intervalo das 15 as 17 HL. Valores elevados dessa variável

também são observados entre 23 e 02 HL no período noturno.

Resultados semelhantes foram obtidos por Moura et al. (2002) em um estudo sobre balanço de energia num pomar de goiabeiras situado no Vale do São Francisco. A irradiância de ondas longas emitidas (ROL_e) varia principalmente com a temperatura em superfície. A variabilidade do albedo decorrente do aumento ou redução na cobertura vegetal influencia o comportamento dessa variável.

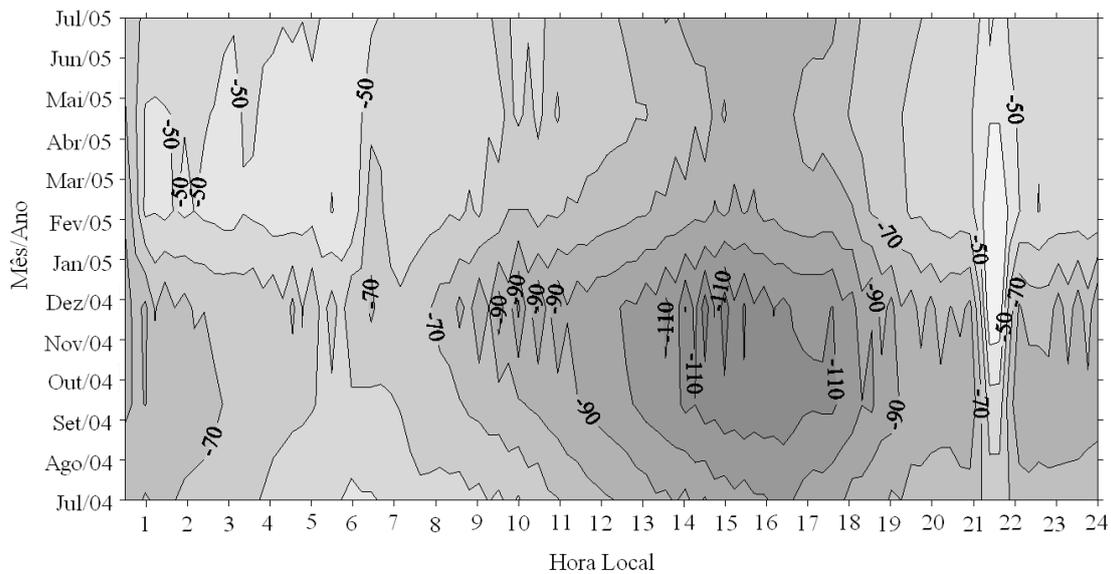


Figura 4. Variação média horária mensal da Irradiância de Onda Longa Emitida em W/m², para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

Em relação à ilustração dessa variável, vale ressaltar que como os valores negativos tem significado puramente físico indicando que o fluxo é da superfície para atmosfera, optou-se por mostrar a variabilidade da ROL_e usando somente linhas contínuas. As linhas tracejadas usadas até o momento para ilustrar valores negativos, se utilizado nesse caso, dificulta a interpretação dos resultados.

3.4 Fluxo de calor sensível e latente

A variação sazonal média horária dos fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) é mostrada nas Figuras 5 e 6 respectivamente. Observa-se que os valores médios máximos de H ocorrem no período seco sendo particularmente elevados entre agosto e janeiro. Também é nitidamente observado que durante todo ano a maior parte

da energia absorvida pela superfície é liberada na forma de calor sensível. Esse resultado reflete bem a resposta da vegetação à insuficiência hídrica característica marcante em áreas de caatinga. Os baixos valores observados nos fluxos de calor latente estão

relacionados à eficiência do controle pelas plantas no uso da água disponível no solo.

Os valores médios máximos do fluxo de calor latente são observados no período chuvoso entre os meses de dezembro e abril.

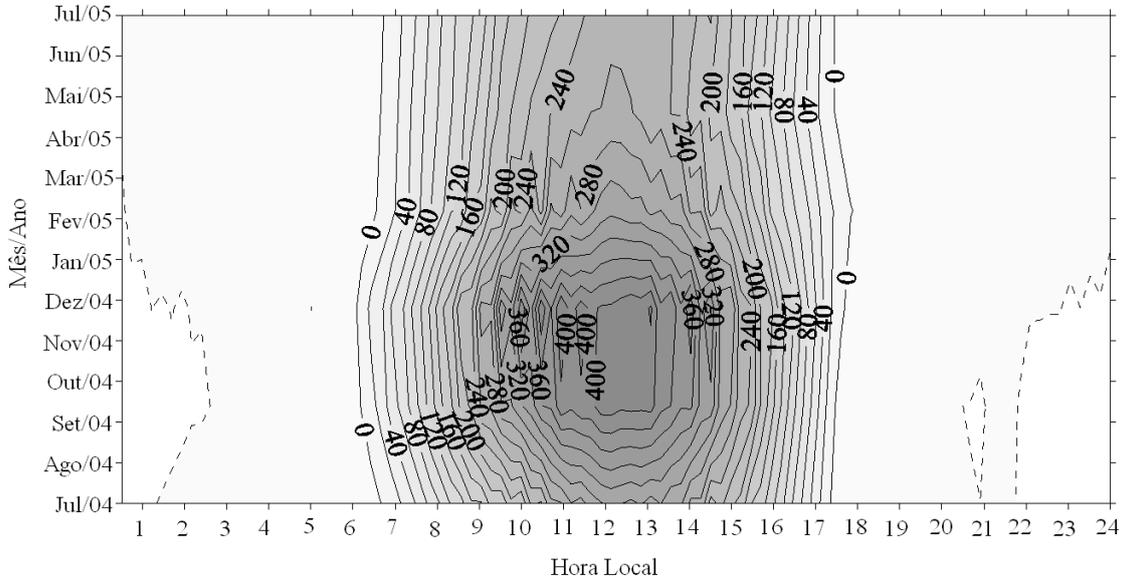


Figura 5. Variação média horária mensal do Fluxo de Calor Sensível em W/m^2 , para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

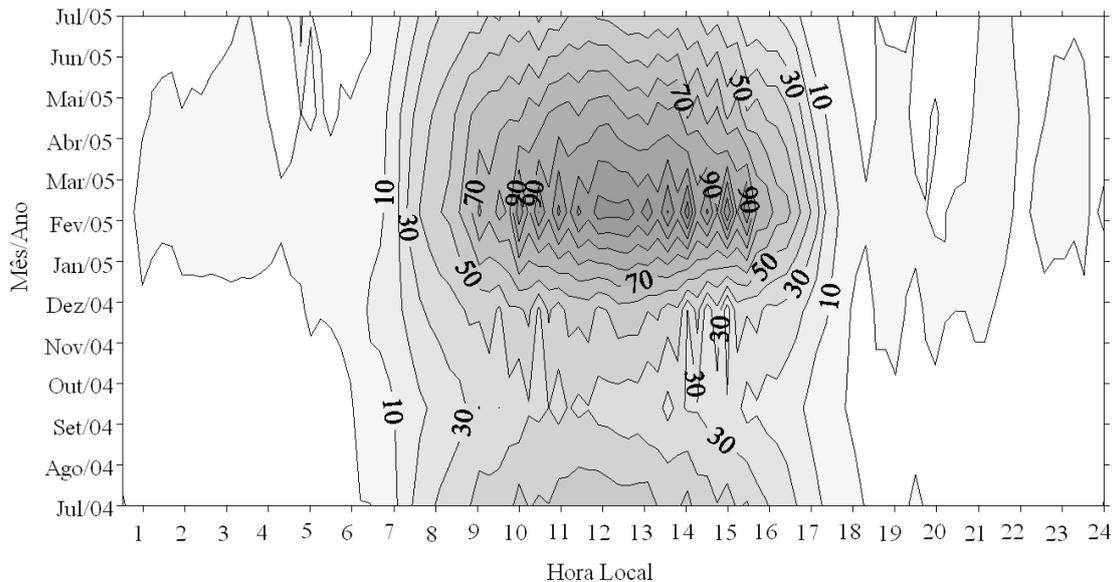


Figura 6. Variação média horária mensal do Fluxo de Calor Latente em W/m^2 , para o período de julho de 2004 a julho de 2005

3.5 Fluxo de CO_2

As Figuras 7 e 8 mostram a

variabilidade diária dos fluxos de carbono (liberação/ absorção) nos períodos diurno e

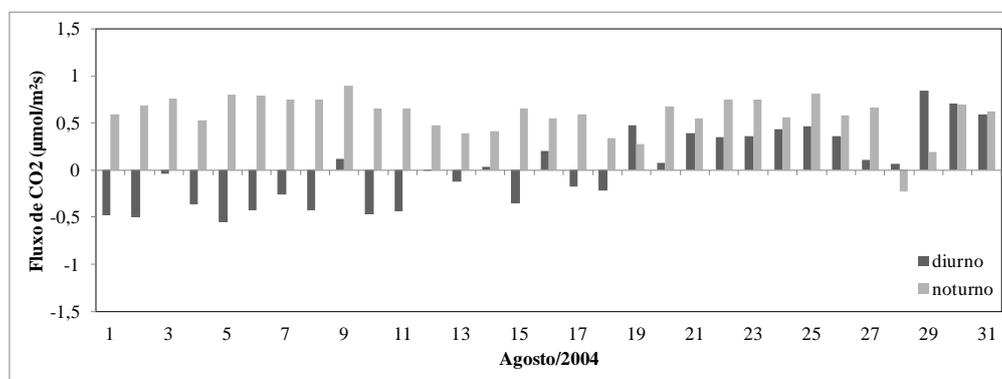
noturno, para dois meses do período seco (agosto e setembro) e dois meses do período chuvoso (fevereiro e março). Valores positivos indicam fluxos de CO₂ da vegetação para a atmosfera enquanto que valores negativos indicam fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação.

Nos meses de agosto e setembro há nitidamente predominância de liberação de CO₂ da vegetação para a atmosfera. Nesse período devido ao déficit hídrico, o controle das plantas através dos estômatos é dominante e na grande maioria das espécies as folhas caem eliminando a perda de água por transpiração. As folhas constituem a parte da planta responsável pelas atividades fotossintéticas, contribuindo com a absorção de CO₂ e liberação de O₂ para a atmosfera.

Alterações na disponibilidade de umidade são determinantes para as mudanças no regime de cobertura do dossel e impõem múltiplas adaptações à vegetação da caatinga. A redução na cobertura vegetal acarreta uma maior susceptibilidade do ambiente aos efeitos da radiação e insolação, com grandes

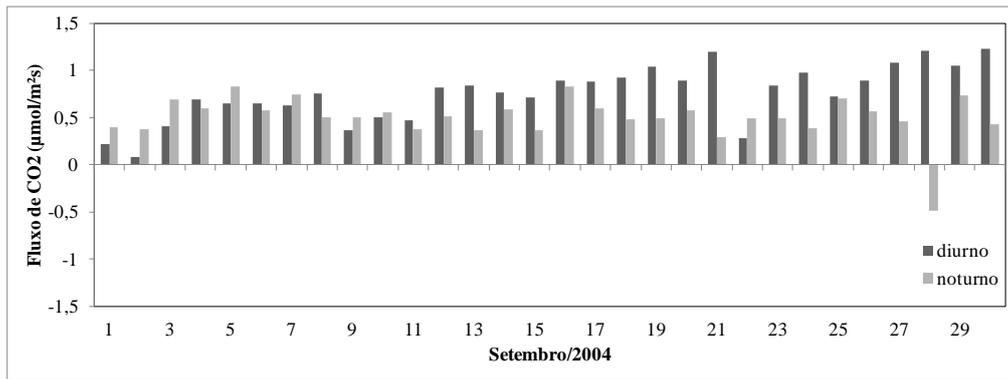
variações diárias de temperatura, e acelera a atividade microbiana e perdas de CO₂ do solo (Bigarella et al., 2004).

No mês de agosto (Figura 7-a) ainda nota-se uma alternância no padrão de comportamento do CO₂ apresentando valores positivos e negativos que indicam períodos de absorção e liberação, possivelmente associado com as características fisiológicas da vegetação, em resposta à redução das chuvas no final do período úmido, porém, ainda com cobertura foliar significativa. No mês de setembro (Figura 7-b) observam-se valores predominantemente positivos que indicam a liberação diária de CO₂. Esse resultado mostra um comportamento típico da vegetação que se adapta à rigidez da estação com a queda das folhas para reduzir a perda da água por transpiração. Neste período a região se apresenta normalmente com extensas áreas de solo exposto. Vários fatores incluindo temperatura, umidade, profundidade do solo, aeração e populações microbianas determinam a taxa de fluxo de CO₂ para a atmosfera.



(a)

continuação



(b)

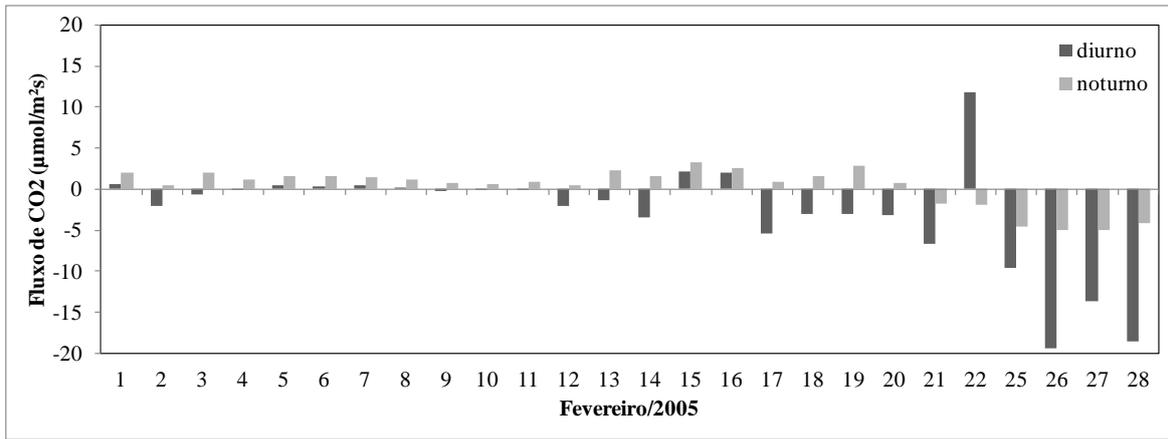
Figura 7. Variabilidade média diária do Fluxo de CO₂ em μ mol/m²s dos meses de agosto (a) e setembro (b) de 2004, o tom cinza escuro representa os valores do fluxo durante o período diurno e o tom de cinza claro representa o período noturno.

Segundo Panosso *et al.* (2007), a temperatura e a umidade do solo são os principais fatores de controle da variabilidade da emissão de CO₂ nos solos. A distribuição vertical da temperatura e umidade do solo é mostrada na Figura 9. Um forte gradiente vertical da umidade do solo é visível na Figura 9-b, principalmente nas camadas mais próximas da superfície. Entretanto, a variabilidade ao longo dos dias é bastante fraca. No caso da temperatura do solo nota-se uma forte variabilidade com a profundidade, e essa variabilidade é ainda mais pronunciada ao longo dos dias (Figura 9-a). Esse comportamento representa a resposta da superfície a um conjunto de fatores incluindo os efeitos da radiação

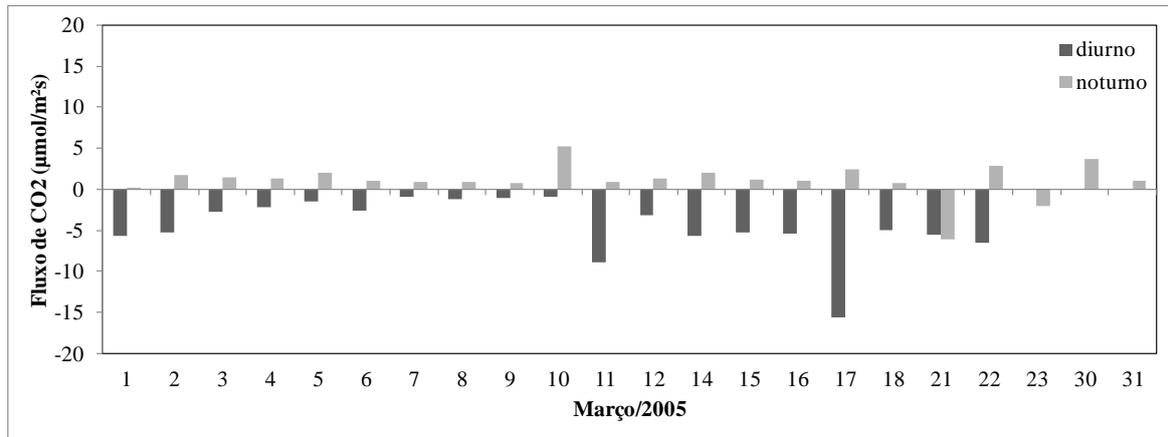
Os resultados obtidos para fevereiro e março (período chuvoso) apresentados nas Figuras 8-a e 8-b, mostram um comportamento inverso. Valores predominantemente negativos indicam absorção de CO₂ no período diurno. O mês de

fevereiro (Figura 8-a) apresenta alternância entre os padrões de absorção e liberação de CO₂, passando de emissor no início do mês para sumidouro no final, quando a taxa de liberação é superada pela de absorção. O comportamento dos fluxos no mês de março (Figura 8-b) mostra que o ecossistema atua como sumidouro de CO₂.

Vale salientar que no período seco em dias com indicativo de liberação de CO₂ os valores não atingem 1,5 μ mol/m²s, todavia, no período chuvoso os valores indicando absorção de CO₂ atingiram -20 μ mol/m²s. Esse resultado mostra a importância da caatinga no sequestro de CO₂ da atmosfera e consequentemente a necessidade de preservação do bioma. Apenas as plantas típicas da caatinga tem condições de resistir às condições severas de estresse hídrico associadas à ocorrência de secas prolongadas muitas vezes observadas na região do semiárido.

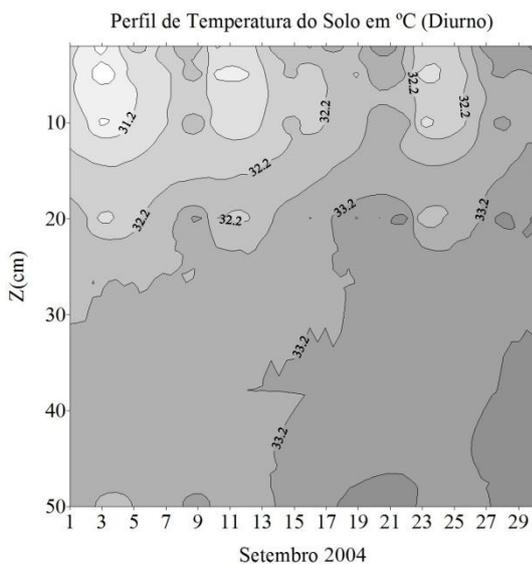


(a)

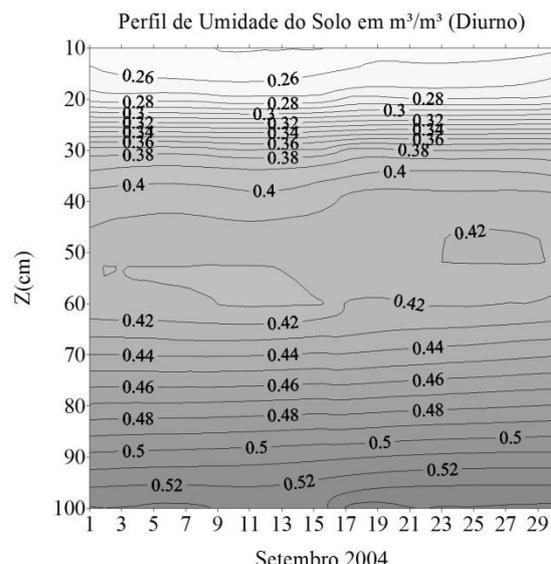


(b)

Figura 8. Variabilidade média diária do Fluxo de CO₂ em μ mol/m²s dos meses de fevereiro (a) e março (b) de 2005, o tom cinza escuro representa os valores do fluxo durante o período diurno e o tom de cinza claro representa o período noturno.



(a)



(b)

Figura 9. Perfis de temperatura (a) e umidade (b) do solo de setembro de 2004. O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m³/m³) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C).

4. Conclusões

Os resultados obtidos com a análise da evolução do balanço de radiação permitiram concluir que maior parte da energia absorvida pela superfície foi liberada na forma de calor sensível, refletindo a resposta da vegetação a insuficiência hídrica da região. Já os resultados obtidos com a análise da evolução do fluxo de carbono permitiram concluir que no período de estiagem, embora com taxas mínimas, o bioma atua como emissor de CO₂. Valores substancialmente mais elevados (negativos) observados no período chuvoso indicam um comportamento inverso no qual o bioma atua como sumidouro de carbono da atmosfera (sequestro de CO₂). Esse resultado indica a importância da conservação do bioma caatinga para o controle do aumento dos gases do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global. Considerando a vasta extensão da região semiárida apenas espécies típicas da caatinga resistem a longos períodos de estiagem e estresse hídrico.

5. Agradecimentos

Ao CNPq pelo desenvolvimento dessa pesquisa ao primeiro autor.

6. Referências

Aubinet, M.; Grelle, A.; Ibrom, A.; Rannik, Ü.; Moncrieff, J.; Foken, T.; Kowalski, A. S.; Martin, P. H.; Berbigier, P.; Bernhofer, Ch.; Clement, R.; Elbers, J.; Granier, A.; Grünwald, T.; Morgenstern, K.; Pilegaard, K.; Rebmann, C.; Snijders, W.; Valentini, R.;

Vesala, T. (2000). Estimates of the annual net carbon and water Exchange of forest: the EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research*, v. 30, p. 113-175.

Azevedo, P.V.; Leitão, M. M. V. B. R.; Sousa, I. F.; Maciel, G. F. (1990). Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 403-410.

Bigarella, J. J.; Becker, R. D.; Santos, G. F. (1994). Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. UFSC. v.1. 425p.

Correia, M. F. (2001). Impacto das Ações Antrópicas no Clima do Submédio São Francisco: Um Estudo Numérico e Observacional. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 181p.

Correia, M. F.; Silva Dias, M. A. F.; Silva Aragão, M. R. (2006). Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake area. Part one: a regional modeling study. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 94, p. 115 – 128.

Correia, M. F.; Silva Dias, M. A. F.; Silva Aragão, M. R. (2006). Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake area. Part two: a regional modeling study. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 94, p. 115 – 128.

Moura, M. S. B.; Silva, B. B.; Azevedo, P. V.; Soares, J. M. (2002). Balanço de radiação sobre um pomar de goiabeiras. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais, Foz do Iguaçu.

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*, v.21, n.3b, 166-174.

Panosso, A. R.; Scala Júnior, N. La; Pereira, G. T.; Zanini, J. R. (2007). Uso de krigagem ordinária e co-krigagem para estimar a emissão de CO₂ do solo após molhamento. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Anais, Gramado, SBCS, CD-ROM.

Santos, S. A.; Correia, M. F.; Aragão, M. R. S.; Oliveira, M. B. L.; Santos, E. P. (2011). Análise das trocas de água, energia e CO₂ em área de caatinga: período úmido. *Ciência e Natura*. Vol. Especial, p 147-150.

Silva, P. R. T. (2007). Radiação Global Mensal para o Estado de Alagoas - Mapeamento. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, 93 p.

Querino, C. A. S.; Moura, M. A. L.; Lyra, R. F. F.; Mariano, G. L. (2006). Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3a, p.42-49.