

PAULO FERREIRA DA SILVA

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA EM PASTAGENS E CAATINGA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

GARANHUNS, PERNAMBUCO - BRASIL

JULHO – 2015

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

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA EM PASTAGENS E CAATINGA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

PAULO FERREIRA DA SILVA

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

Dr. JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA

COORIENTADORES: Dr. EDUARDO SOARES DE SOUSA

Dr. ANTÔNIO CELSO DANTAS ANTONINO

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

GARANHUNS, PERNAMBUCO - BRASIL

JULHO - 2015

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

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA EM PASTAGENS E CAATINGA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

PAULO FERREIRA DA SILVA

GARANHUNS, PERNAMBUCO - BRASIL

JULHO – 2015

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

S586f Silva Paulo Ferreira da
Fluxos de CO_2 , água e energia em pastagens e caatinga no
semiárido pernambucano/ Paulo Ferreira da Silva.-
Garanhuns, 2015.

51f.

Orientador: José Romualdo de Sousa Lima
Dissertação(Produção Agrícola) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns,
2015.

CDD: 633.2

1. Eddy covariance
 2. Evapotranspiração
 3. Sequestro de CO_2
 4. Pastagem
- I. Lima, José Romualdo de Sousa
 - II. Título

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA EM PASTAGENS E CAATINGA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

PAULO FERREIRA DA SILVA

ANTONIO RICARDO S. DE ANDRADE

UAG/UFRPE

Examinador Externo

MARCELO METRI CORRÊA

UAG/UFRPE

Examinador Interno

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA

UAG/UFRPE

Orientador

Dedico este trabalho a meu pai Adolfo
Ferreira da Silva (*in memoriam*) por todo
incentivo que tornou este sonho possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concebido a graça de ingressar em uma universidade pública, e por ter sido minha fortaleza durante toda minha vida, não me deixando cair, nem desanimar nos momentos difíceis, me ajudando a vencer cada obstáculo e abençoando minhas conquistas.

A minha mãe Maria Augusta da Silva, que com sua simplicidade, foi minha educadora, me ensinado com amor e sabedoria, os valores éticos e morais necessários para ser um bom cidadão.

Aos meus irmãos e irmãs, cunhado, cunhadas, sobrinhos, parentes e amigos que sempre me apoiaram em todas as fases da minha vida.

Ao professor e orientador Dr. José Romualdo de Sousa Lima pela credibilidade, ensinamentos, atenção e incentivos, contribuindo e tornando possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus co-orientadores os professores Dr. Eduardo Soares de Sousa e Dr. Antônio Celso Dantas Antonino pelo seu profissionalismo e atenção contribuindo ativamente em logística de execução de atividades, ensinamentos e conselhos.

Aos pesquisadores José Coelho de Araújo Filho pelo levantamento de solos das áreas de pastagem e caatinga, e Luiz Guilherme Medeiros Pessoa por ter disponibilizado os dados da descrição.

A todos os professores da Universidade Federal Rural de Pernambuco Unidade Acadêmica de Garanhuns, que contribuíram para o meu aprendizado e qualificação profissional.

A minha amiga e conterrânea professora Dra. Maria Josilaine Matos dos Santos Silva que sempre me incentivou, apoiou e acreditou na realização deste sonho, contribuindo sempre com sábios conselhos.

À minha grande incentivadora que sempre acreditou na realização deste sonho Miriã Rodrigues (*in memoriam*).

Ao amigo e colaborador MSc. Apolo Alves que contribuiu com suas experiências no início das atividades de pesquisa.

Ao amigo doutorando Rodolfo Marcondes Silva Souza e José Ralison pelas inúmeras colaborações durante o período de execução do experimento e coletas de dados em campo.

Aos amigos Jéssica Oliveira, Amanda, Francis, Charles e Isadora pelos trabalhos compartilhados no laboratório de física dos solos.

Aos colegas de turma Andreza Raquel, Aline Oliveira, Bruna Morais, João Paulo, Jefeson Zumba, Alysson Sobreira, José Aldo, Sheylla Alves, Djairan Sobral e Antônia Gilciléia, pela boa vivência no âmbito acadêmico.

A todos os colegas de curso pelo respeito, pela vivência, paciência, incentivo e compartilhamento de experiências e conhecimentos.

Aos amigos e acolhedores de todas as horas Daurivane Rodrigues, Jailson costa, José Ribamar, Demoval Alves, Maria Selma, Cícera Pinto e Wellytânia de Oliveira, que brindaram comigo em cada conquista alcançada.

Aos funcionários da UAG Garanhuns que mantiveram o ambiente sempre limpo, seguro e organizado proporcionando condições favoráveis ao bem estar no ambiente de aprendizado.

Ao Sr. Amadeu e todos os motoristas que atuam no setor de transporte pelo apoio prestado nas viagens à Serra Talhada.

A FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco) pela concessão da bolsa de estudo e pesquisa.

A APAC (Agência Pernambucana de Água e Clima) pela concessão da bolsa complementar de apoio técnico.

A todos aqueles que acreditaram e torceram pela conclusão e sucesso desse trabalho.

A todos os brasileiros que contribuem com a educação pública de qualidade e que por meio destas, muitos sonhos de ser um profissional tornam-se realidade.

BIOGRAFIA

Paulo Ferreira da Silva, filho de Adolfo Ferreira da Silva e Maria Augusta da Silva, nasceu no município de Junqueiro – AL, em 20 de abril de 1980.

Em 2008 ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal Alagoas, *Campus Arapiraca*, concluindo em maio de 2013.

Em 2013 ingressou na Pós-Graduação em Produção Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns em Garanhuns – PE, sob a orientação do professor Dr. José Romualdo de Sousa Lima, defendendo a dissertação em 16 de julho de 2015.

Bem-aventurado o homem que acha
sabedoria, e o homem que adquire
conhecimento.

(Provérbios - 3:13)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1 Caracterização da Área experimental.....	21
2.2 Clima e classificação do solo	22
2.3 Equipamentos (Instrumentos Utilizados).....	24
2.4 Estimativa dos fluxos turbulentos de energia.....	26
2.4.1 Fluxo de Calor Sensível (H)	26
2.4.2 Fluxo de calor latente (LE).....	27
2.4.3 Fluxo de CO ₂	27
2.5 Evapotranspiração (ET)	27
2.6 Armazenamento de água no solo	28
2.7 Determinação da biomassa vegetal e do índice de área foliar	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.1 Armazenamento	31
3.2 Medidas de Biomassa.....	32
3.3 Índice de área foliar.....	34
3.4 Balanço de Energia	36
3.5 Evapotranspiração	41
3.6 Fluxo de CO ₂	42
4 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BOBLIOGRÁFICAS	48

RESUMO

A vegetação natural da Caatinga é relativamente bem adaptada e tolerante à seca e a altas temperaturas. Sabe-se que a conversão de florestas em pastagens e/ou cultivo de lavouras são intervenções humanas que afetam as trocas de energia, água e carbono entre a superfície da terra e a atmosfera. No entanto, até o momento não se tem nenhum estudo medindo esses fluxos em áreas de caatinga e de pastagens no semiárido brasileiro. Desse modo, este trabalho teve como objetivo determinar os fluxos de energia, H₂O e CO₂ em áreas de caatinga e de pastagens, além de analisar os padrões de variabilidade sazonal desses fluxos. As atividades de campo foram realizadas em duas áreas, sendo uma localizada na Fazenda Buenos Aires (7° 59' 31" S e 38° 17' 59" O) e a outra localizada na Fazenda Lagoinha (07° 56' 50,4"S e 38° 23' 29" O), cultivada com a pastagem capim corrente (*Urochloa mosambicensis*), ambas propriedades localizadas no Município de Serra Talhada PE. Para a determinação dos fluxos de energia, H₂O e CO₂ foi usada a metodologia da correlação dos turbilhões, por meio de torres micrometeorológicas instaladas no centro de cada área experimental. Foram medidos o índice de área foliar e a biomassa aérea da pastagem e da vegetação herbácea da caatinga e o armazenamento de água no solo, por meio de sensores TDR. Dos resultados, verificou-se que a produção máxima de massa seca da pastagem foi de 2.208 kg ha⁻¹ e média anual de 832 kg ha⁻¹, já a massa seca máxima da caatinga foi de 2.559 kg ha⁻¹ e a média anual de 626 kg ha⁻¹. O armazenamento de água no solo (0-40 cm) da pastagem foi 29% maior que da caatinga, possivelmente devido a interceptação da chuva pelo dossel da caatinga. Com relação aos fluxos de energia, o saldo de radiação (Rn) foi utilizado principalmente como fluxo de calor sensível (H), com 51% na pastagem e 47% na caatinga. A fração do Rn usada como fluxo de calor latente (LE) foi de 23% na pastagem e 32% na caatinga. Com relação a evapotranspiração, a caatinga teve valores totais (523 mm) e médios (1,4 mm d⁻¹) maiores que a pastagem (389 mm e 1,1 mm d⁻¹), possivelmente, devido a maior profundidade de seu sistema radicular. Durante o período experimental os fluxos de CO₂ médios diários foram de -0,91 e -0,68 μmol m⁻² s⁻¹ para a caatinga e a pastagem, respectivamente. Tanto na estação chuvosa quanto na estação seca, ambas as vegetações atuaram como sumidouro de CO₂ atmosférico. A caatinga foi mais eficiente que a pastagem, sequestrando em média 14,6

kg de C ha⁻¹ d⁻¹, na estação chuvosa e 4,3 kg de C ha⁻¹ d⁻¹, na estação seca; enquanto a pastagem sequestrou 11,7 kg de C ha⁻¹ d⁻¹, na estação chuvosa e 2,5 kg de C ha⁻¹ d⁻¹, na estação seca. A caatinga demonstrou ser mais eficiente em usar a água do solo (maior ET) e sequestrar CO₂ atmosférico que a pastagem.

Palavras-chave: Eddy covariance, evapotranspiração, sequestro de CO₂

ABSTRACT

The natural vegetation of Caatinga is relatively well adapted and tolerant to drought and to high temperatures. It is known that forest conversions to pasture and/or crop cultivation are human interventions, which affect energy exchanges, water and carbon between land surface and the atmosphere. However, up to the present moment, there is no study measuring these fluxes in the caatinga and pastures areas in the Brazilian semiarid lands. Thus, this paper aimed at determining the fluxes of energy, H₂O and CO₂ in areas of caatinga and pastures, as well as at analyzing the seasonal variability patterns of these fluxes. The land activities were carried out in two areas, one of them located on the Buenos Aires farm (7° 59' 31'' S and 38° 17' 59'' O), and the other located on the Lagoinha farm (07° 56' 50,4'' S and 38° 23' 29'' O), cultivated with pasture of grass chain (*Urochloa mosambicensis*), both properties located in the city of Serra Talhada, state of Pernambuco, Brazil. In order to determine the fluxes of energy, H₂O and CO₂, a methodology of correlation of swirls was adopted, by means of micrometeorological towers, installed in the center of each experimental area. Along with the index of foliar area, we have also measured the aboveground phytomass of both the pasture and the caatinga herbaceous vegetation, as well as water storage in the soil, by means of TDR sensors. On the basis of the results, it has been found that the maximum production of dry pasture mass was in the order of 2,208 kg ha⁻¹ and annual average of 832 kg ha⁻¹. On the other hand, the caatinga dry mass was in the order of 2,559 kg ha⁻¹ and the annual average was 626 kg ha⁻¹. Water storage in the soil (0-40 cm) of pasture was 29% greater than the one of the caatinga. This fact was possibly attributed to the interception of rain by the caatinga canopy. In relation the fluxes of energy, radiation balance (Rb) was used mainly as sensitive flow of heat (H), with 51% in the pasture and 47% in the caatinga. The fraction of Rb used as flow of latent heat (LE) was of 23% in the pasture and 32% in the caatinga. In relation to the evapotranspiration, the caatinga had total values (523 mm) and average values (1,4 mm d⁻¹) greater than the pasture (389 mm and 1,1 mm d⁻¹), possibly due to the greater depth of its radicular system. During the experimental period, the fluxes of daily average CO₂ were - 0,91 and - 0,68 μmol m⁻² s⁻¹ for the caatinga and the pasture, respectively. Not only during the rainy season but also the dry season, the vegetation acted as atmospheric

CO₂ sink. The caatinga was more efficient than the pasture, sequestering in average 14,6 kg of C ha⁻¹ d⁻¹, during the rainy season and 4,3 kg of C ha⁻¹ d⁻¹, in the dry season, while the pasture sequestered 11,7 kg of C ha⁻¹ d⁻¹, in the rainy season and 2,5 kg of C ha⁻¹ d⁻¹, in the dry season. The caatinga has proved more efficient than the pasture in using soil water (greater ET) and in sequestering atmospheric CO₂.

Keywords: Eddy covariance, evapotranspiration, CO₂ sequestration.

1 INTRODUÇÃO

Os fatores que afetam as mudanças climáticas tais como a mudança no uso da terra e emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, vem sendo estudados por pesquisadores de todo o mundo na tentativa de entender suas causas, quais as possíveis consequências e o que pode ser feito para amenizar os impactos dessas mudanças. O aquecimento global é decorrente de um processo natural que ocorre no planeta, no entanto, ações antrópicas tais como o uso de máquinas e equipamentos que emitem gases causadores do efeito estufa para atmosfera e mudanças no uso da terra, podem está contribuindo e acelerado este processo.

Dentre os gases que compõem o fenômeno do efeito estufa se destacam: CO₂ (dióxido de carbono), N₂O (óxido nitroso), CH₄ (metano) e H₂O (vapor d'água). Estes gases quando mantidos em equilíbrio são essenciais a manutenção da vida na terra principalmente por fazer parte do processo respiratório dos seres vivos, sendo o oxigênio produzido pelas plantas e o CO₂ (dióxido de carbono) emitido para atmosfera pela respiração dos animais e de forma desordenada através de várias práticas decorrentes de ações humanas.

O CO₂ que está aumentando na atmosfera é predominantemente orgânico, uma vez que passou por fotossíntese e é produzido pela queima realizada por atividades humanas em sua total maioria (NOBRE et al., 2012). Estes autores explicam que o processo de captura de CO₂ pelas plantas através da fotossíntese transformando-o em biomassa tem um papel importante na mitigação dos impactos causados pelas concentrações crescentes deste elemento na atmosfera. Os mesmos autores ressaltam, no entanto, que as plantas capturam CO₂ até certo limite, sabendo-se que quando este elemento na atmosfera aumenta, elas tendem a capturar mais CO₂ e conseqüentemente a transformação do CO₂ sequestrado em biomassa.

No Brasil, várias regiões têm sofrido com mudanças atípicas ocorridas no clima tais como aumento na temperatura do ar acima da média e escassez hídrica. Dentre as regiões que poderão ser mais afetadas com os efeitos das mudanças climáticas, destaca-se o semiárido brasileiro que apesar de constantes desmatamentos, possui uma vasta riqueza de espécies animal e vegetal que são únicos no planeta. Nessas regiões

semiáridas, a vegetação nativa predominante é formada de mata caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro.

A formação vegetal da caatinga segundo Oliveira et al. (2006) tem características bem definidas, com árvores baixas e arbustos que em geral, perdem as folhas na estação seca (caducifólias) para reduzir a transpiração e a perda de água da planta, tornando a florescer no período chuvoso.

A caatinga ocupa uma área equivalente a 844.453 km², que corresponde a 11% do território nacional segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014). A mesma fonte mostra o quanto este bioma é rico em biodiversidade, pois abriga 178 espécies de mamíferos, 591 espécies de aves, 177 espécies de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 espécies de peixes e 221 espécies de abelhas, além de cerca de 27 milhões de pessoas que vivem na região, a maioria carente e dependente dos recursos do bioma para sobreviver.

A vegetação da caatinga é a menos estudada entre as regiões naturais brasileiras e é a menos protegida, com menos de 2% de seu território composto por unidades de conservação, além de ainda estar passando por processos de modificação causada pela ação antrópica (LEAL et al., 2005). Apesar de sua importância, a vegetação da caatinga tem sido desmatada indiscriminadamente durante décadas, devido principalmente ao uso da lenha explorada de forma ilegal para abastecer as carvoarias, para queima doméstica e a utilização das áreas desmatadas para formação de pastagens e uso agrícola. O desmatamento no semiárido brasileiro chega a atingir 46% da área do bioma, de acordo com dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014).

O Censo Agropecuário de 2006 apresentou uma crescente substituição das áreas de vegetação natural por lavouras e pastagens (IBGE, 2006). Essa substituição de vegetação seguida de queimadas podem elevar à degradação do solo, principalmente se for seguida de outras práticas agrícolas de forma inadequada, pois, além de deixar o solo desprotegido, aumenta os riscos de perda da fertilidade por efeitos da erosão ou em alguns casos, salinização tornando as áreas vulneráveis à desertificação. O uso inadequado do solo é comum em regiões do semiárido, devido a grande quantidade de agricultores que não dispõem de tecnologias agrícolas nem de um manejo adequado, bem como a instabilidade e variabilidade das chuvas e o longo período de estiagem, seguido de altas temperaturas.

As mudanças climáticas que estão ocorrendo permite aos pesquisadores prever algumas mudanças consideráveis e um tanto quanto preocupantes. As projeções para meados deste século feitas por Nobre et al. (2012) mostram que, se a temperatura continuar a subir, esse efeito que ocorre hoje, das plantas absorverem CO₂, principalmente as florestas, desaparecerá. De acordo com estes autores, isso ocorrerá porque a temperatura vai começar a afetar a eficiência fotossintética e porque uma temperatura mais alta oxida a matéria orgânica do solo resultando em emissões de CO₂.

O cenário de mudanças climáticas para o semiárido brasileiro prevê conforme Cirilo (2008), a elevação da temperatura, tendo como consequência aumento da evaporação nos corpos d'água e redução da recarga dos aquíferos em até 70% até o ano 2050. Ainda segundo este autor, haverá redução da precipitação em um cenário otimista de 1 a 3° C mais quente, 10 a 15% de redução de chuva e uma tendência de "aridização" da região, com a substituição da caatinga por vegetação mais típica de regiões áridas, como as cactáceas. Para o final do século (2071-2100) as projeções indicam condições mais quentes (aumento de temperatura entre 3,5° e 4,5°C) e déficit hídrico regional com diminuição de (-40 a -50%) da distribuição de chuva (AMBRIZZI et al., 2012).

A vegetação natural da Caatinga é relativamente bem adaptada e tolerante à seca e a altas temperaturas. No entanto, não se conhecem os efeitos causados pelos aumentos da temperatura e déficit hídrico deste bioma. Nobre et al. (2012) ressaltam que estudos de longo prazo sobre o funcionamento da Caatinga sob condições extremas serão extremamente valiosos para a futura adaptação deste bioma às mudanças globais. Segundo Grace e Rayment (2000), as florestas estão servindo como sumidouro de carbono, provendo um serviço para o ambiente global removendo CO₂ da atmosfera e assim reduzindo as taxas de CO₂ que induzem ao aquecimento.

Futuros cenários de mudanças climáticas indicam elevada concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, o aumento das temperaturas e baixa precipitação pluvial, podendo ter uma série de impactos sobre a produção agrícola (WESSOLEK e ASSENG, 2006). Dessa forma, a substituição da caatinga por pastagens certamente poderá afetar os fluxos de energia e água, os quais afetam a evapotranspiração, e consequentemente, os de CO₂.

Sabe-se que a conversão de florestas em pastagens ou cultivo de lavouras são intervenções humanas que afetam as trocas de energia, de água e de carbono entre a

superfície da terra e a atmosfera, sendo necessário conhecer os efeitos causados por essas mudanças. Para enfrentar os desafios da terra e dos recursos hídricos, nas próximas décadas, é preciso entender as relações entre as características da superfície da terra e de energia, água e ciclos de nutrientes (TWINE, 2004). Ainda de acordo com este autor, é preciso quantificar como essa relação pode mudar com as mudanças na cobertura do solo, manejo da terra e do clima.

O sequestro de carbono (C), seja por floresta ou vegetação permanente (pastagem) associada ao aumento de biomassa, de acordo com Martens et al. (2004), são as únicas gerências de uso da terra aceitas pelo Protocolo de Kyoto, para alterar balanços globais de C, mas pouco se sabe sobre os efeitos da mudança no uso da terra sobre a composição de C estabilizado no solo.

Outras vegetações assumem um papel importante no controle ambiental e sequestro de C e que enfrentam a mesma problemática no que diz respeito a mudança de vegetação. Fan et al. (2015) mostram que, as áreas de savanas chegam a cobrir 60% do continente Africano e desempenham um papel importante nas emissões globais de carbono (C), em decorrência de queimadas e do uso da terra. De acordo com Hutley et al. (2013), as savana tropicais do Norte da Austrália são responsáveis por 12% da cobertura de savana total do mundo. Os mesmos autores enfatizam que conseqüentemente, a compreensão de processos que governam as trocas de carbono, água e energia dentro deste bioma é fundamental para o balanço global de água e carbono. Beringer et al. (2011) complementam afirmando que as mudanças no uso da terra comprometem a produtividade e biomassa da savana, e conseqüentemente causariam impactos no ciclo global de C e do clima.

Acredita-se que com a mudança de vegetação e do uso da terra, esses fluxos poderão ser afetados mesmo considerando que a pastagem possa ser potencialmente um parâmetro essencial na captura de CO₂ dos ecossistemas terrestres, deixando muitas dúvidas e incertezas sobre a eficiência do sequestro de CO₂ por essa vegetação e pela caatinga. Para isso, são necessários estudos que determinem simultaneamente os fluxos de CO₂, água e energia tanto na caatinga como em áreas de pastagens.

Neste contexto, em face da região semiárida ser, possivelmente, uma das que mais sofrerão com os efeitos das mudanças climáticas pelas razões abordadas, é necessário pesquisas no sentido de contribuir para a compreensão dos efeitos advindos

desse processo sobre a caatinga e os sistemas de produção, como as áreas destinadas ao pastejo animal, por ser esta a atividade de maior expressão na região, de forma a auxiliar na tomada de decisões sobre a preservação de matas nativas e o manejo agrícola e pecuário adequado.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o monitoramento dos fluxos de energia, água e CO₂ em áreas de caatinga e de pastagens na região semiárida de Pernambuco, sob influência da sazonalidade climática.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área experimental

As atividades de campo foram realizadas em duas áreas, sendo uma localizada na Fazenda Buenos Aires ($7^{\circ} 59' 31''$ S e $38^{\circ} 17' 59''$ O), com 30 ha de mata nativa (caatinga), e a outra localizada na Fazenda Lagoinha ($07^{\circ} 56' 50''$ S e $38^{\circ} 23' 29''$ O), cultivada com pastagem, cuja espécie introduzida foi o capim corrente (*Urochloa mosambicensis*) em uma área de 23,4 ha. Ambas as propriedades estão localizadas no Município de Serra Talhada PE, microrregião do Vale do Pajeú, bacia hidrográfica do Rio Pajeú (Figura 1).

Figura 1. Localização das áreas de pastagem e caatinga em Serra Talhada – PE.



Fonte: Dados da pesquisa

2.2 Clima e classificação do solo

O clima é classificado por Köppen como Bsh, caracterizado como sendo quente e semiárido, com chuvas de verão concentrada entre dezembro e maio correspondendo a 85% das ocorrências neste período. A precipitação média anual é de aproximadamente 600 mm, e o solo da área da pastagem é classificado como Luvisolo Crômico e da área de caatinga como Neossolo Litólico (EMBRAPA, 2006). A caracterização morfológica das áreas de pastagem e caatinga pode ser vistas na Tabela 1.

O monitoramento das variáveis meteorológicas e a coleta de material vegetal na caatinga e na pastagem foram realizados durante os meses de março de 2014 a fevereiro de 2015. Para analisar o efeito da variação sazonal das variáveis monitoradas, bem como as mudanças que ocorrem na vegetação ao longo do ano, o período foi dividido em duas fases de acordo com a distribuição da precipitação pluvial ocorrida, sendo estas fases denominadas de período chuvoso e período seco. O período chuvoso foi estabelecido pelos meses de março, abril, novembro e dezembro de 2014 mais os meses de janeiro e fevereiro de 2015 e o período seco foi compreendido pelos meses de maio a outubro de 2014.

A vegetação nativa da área da pastagem foi removida em 1974 para cultivar algodão em sistema de sequeiro, milho e feijão. Em 1980, devido a ocorrência de problemas fitossanitários, sobretudo causados pelo bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*), a área passou a ser cultivada apenas com milho e feijão, sendo anualmente o solo revolvido com gradagem e demais manejos agrícolas convencionais. A pastagem foi introduzida na área em 1995, sendo cultivada duas espécies, o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e o capim corrente (*Urochloa mosambicensis*).

Atualmente, a área é composta predominantemente de capim corrente, do qual com a formação da pastagem que ocorre no período chuvoso, são colocados bovinos, ovinos e equinos para pastejar.

Tabela 1. Caracterização morfológica dos perfis de solo coletados.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor			Estrutura	Consistência			Transição
		Seco	Úmido	Mosqueado		Seca	Úmida	Molhada	
<u>P 01 – Área de Pastagem: LUVISSOLO CRÔMICO Órtico planossólico</u>									
Ap1	0-8	7,5YR 4/3	7,5YR 3/3	-	Fraca, pequena a média, blocos subangulares e angulares	Dura	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e clara
Ap2	8-15	5YR 4/4	5YR 3/3	-	Fraca a moderada, pequena a média, blocos subangulares e angulares	Dura	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e clara
Bt	15-30	5YR 4/6	5YR 4/4	-	Fraca a moderada, muito pequena a média, blocos subangulares e angulares	Dura	Friável	Plástica e pegajosa	Ondulada e clara
C/Cr	30-60	-	10YR 5/3	10YR 2/1 pouco, médio, proeminente	Fraca, prismática, média a grande	Extremamente dura	Firme a muito firme	Muito plástica e pegajosa	-
<u>P 02 – Área de caatinga: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário</u>									
A	0-10	5YR 5/6	5YR 4/4	-	Fraca, pequena a média, blocos subangulares	Ligeiramente dura a dura	Muito friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e clara
C	10-20	5YR 5/6	5YR 4/6	-	Fraca a moderada, muito pequena a média, blocos subangulares	Ligeiramente dura a dura	Muito friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Irregular e abrupta
R/Cr	20-60	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Pessoa, L. G. M. (20014)

2.3 Equipamentos (Instrumentos Utilizados)

No centro de cada área (pastagem e caatinga) foi instalada uma torre metálica para suporte de sensores eletrônicos de alta frequência destinados a obter os fluxos turbulentos de energia e instrumentos eletrônicos de baixa frequência utilizados para realizar medidas da flutuação da componente da velocidade vertical do vento, temperatura do ar, concentração do vapor de H₂O e de CO₂ (Figuras 2 e 3).

As torres foram equipadas com sensores para medidas de velocidade (014A, Met One) e direção do vento (024A, Met One), umidade e temperatura do ar (HMP45C, Vaisala), precipitação pluvial (TB4, Hydrological Services), conjunto de instrumentos para medidas de radiação de onda curta (Piranômetro CM3, Kipp e Zonen), e saldo de radiação (CNR1 Lite, Kipp e Zonen).

Além desses sensores atmosféricos foram instalados fluxímetros, para medir o fluxo de calor no solo (G), numa profundidade de 02 cm, sendo 01 na área de pastagem e 01 na área de caatinga.

Os dados de todos esses sensores foram lidos a cada minuto e seus valores médios e totais a cada 30 minutos foram armazenados num sistema de aquisição de dados (CR100, Campbell Scientific).

Figura 2. Torre para medição de fluxos turbulentos de energia instalada na área de pastagem na fazenda Lagoinha, município de Serra Talhada- PE.



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 3. Torre para medição de fluxos turbulentos de energia instalada na área de caatinga na fazenda Buenos Aires, município de Serra Talhada- PE.



Fonte: Dados da pesquisa

Os dados brutos contendo as flutuações de turbulências em alta frequência da concentração das componentes de vapor de H₂O e de CO₂, medidas por um analisador de caminho aberto (EC150, Campbell Scientific), e as componentes verticais da velocidade do vento, medidas por um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific), foram processados numa taxa de 10 Hz num sistema de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific). , destinado a obter os fluxos turbulentos de energia (fluxo H e LE) através do sistema de correlação de vórtice turbulentos “Eddy Covariância, (EC)” e armazenados por meio de um cartão de memória de 2 GB.

2.4 Estimativa dos fluxos turbulentos de energia

A metodologia desenvolvida pelo método das correlações turbulentas visam realizar estimativas dos fluxos de CO₂, calor sensível e calor latente. A técnica de EC é a abordagem mais direta para a medição de fluxos de troca de turbulência na camada limite superficial e tem sido extensivamente utilizado durante as últimas décadas (PLAKE et al., 2015).

Para realização dos cálculos desses fluxos, foi necessário utilizar um software desenvolvido pelo CPTEC/INPE, que 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).

Os fluxos de calor sensível (H), de calor latente (LE) e de CO₂ foram determinados pelas equações (1), (2) e (3), respectivamente:

2.4.1 Fluxo de Calor Sensível (H)

$$H = pC_p \overline{w'T'} \quad (1)$$

Onde:

H = fluxo de calor sensível (Wm²)

p = densidade do ar seco (kg m⁻³)

C_p = calor específico do ar à pressão constante (J kg⁻¹ K⁻¹)

w' = variação da componente vertical da velocidade do vento em relação a sua média

T' = componente turbulenta da temperatura do ar (K)

2.4.2 Fluxo de calor latente (LE)

$$LE = pL_v \overline{w'q'} \quad (2)$$

Onde:

LE = fluxo de calor latente (W m^{-2})

p = densidade do ar seco (kg m^{-3})

L_v = calor latente de vaporização (J kg^{-1})

w' = variação da componente vertical da velocidade do vento em relação a sua média

q' = componente turbulenta da umidade específica do ar (kg kg^{-1})

2.4.3 Fluxo de CO_2

$$Fc = p \overline{w'pc'} \quad (3)$$

Onde:

Fc = fluxo de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

p = densidade do ar seco (kg m^{-3})

w' = variação da componente vertical da velocidade do vento em relação a sua média

pc' = variação da densidade do escalar c em relação a sua média

2.5 Evapotranspiração (ET)

A evapotranspiração (ET) foi obtida conforme a equação (4):

$$P = \frac{LE \times t}{10^6 \lambda} \quad (4)$$

Onde:

LE = média do fluxo de calor latente (W m^{-2})

t = intervalo de tempo (s)

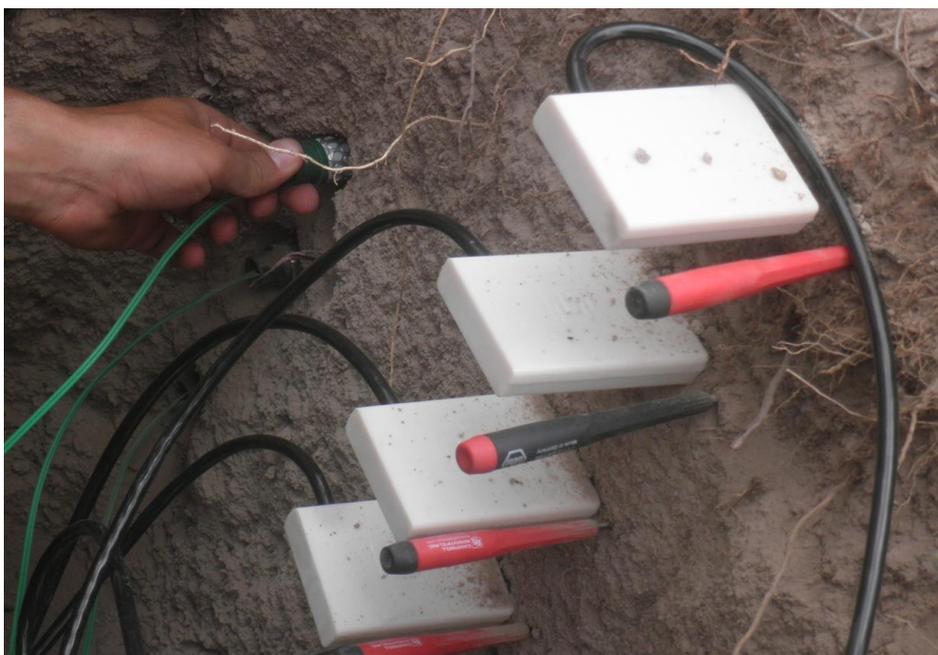
λ = calor latente de vaporização, considerado constante ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$)

10^6 = fator utilizado para converter (W m^{-2} para MJ m^{-2})

2.6 Armazenamento de água no solo

Para as determinações da umidade volumétrica do solo (θ , $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), em ambas as áreas, foram instalados sensores automatizados tipo TDR (modelo CS 616 da Campbell Scientific Inc., USA) nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m (Figura 4). As leituras foram realizadas a cada minuto com o valor de cada 30 min armazenados num sistema de aquisição de dados (modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., USA)

Figura 4. Medidores de umidade do solo instalados a cada 0,1 m de profundidade no solo nas áreas de caatinga e de pastagem.



Fonte: Dados da pesquisa

O armazenamento de água no solo na camada de 0-0,40 m foi calculado usando-se a regra do trapézio (LIBARDI, 2005), considerando-se que as medidas de umidade do solo foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L = 0,40 \text{ m}$).

2.7 Determinação da biomassa vegetal e do índice de área foliar

Para a obtenção da biomassa e da área foliar da pastagem e do estrato herbáceo da caatinga foram realizadas coletas mensalmente. O material vegetal foi obtido seguindo a metodologia de Moreira et al. (2006), utilizando um quadrado de 0,5 m x 0,5 m. Para a coleta do material, jogava-se o quadrado de forma aleatória em 10 repetições, para cada coleta e em ambas as vegetações.

Dentro do quadrado, todo material vegetal foi coletado, cortado no nível do solo, e somente a parte aérea foi armazenada em sacos plásticos, para manter a turgência e a liteira (material vegetal seco) encontrada na área do quadrado era separada e colocada em sacos plásticos para reduzir a perda de umidade. Após a coleta do material vegetal no campo, estes eram levados diretamente para o laboratório de Solos e Geologia da UAG/UFRPE para serem analisados. As Figuras 5 e 6 mostram os procedimentos realizados no momento das coletas do material vegetal na pastagem e na caatinga.

Figura 5. Etapas da coleta do material vegetal na pastagem (a) e coleta de toda vegetação existente na área do quadrado (b).



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 6. Etapas da coleta do material vegetal do estrato herbáceo da caatinga (a) e coleta de toda vegetação existente na área do quadrado (b).



Fonte: Dados da pesquisa

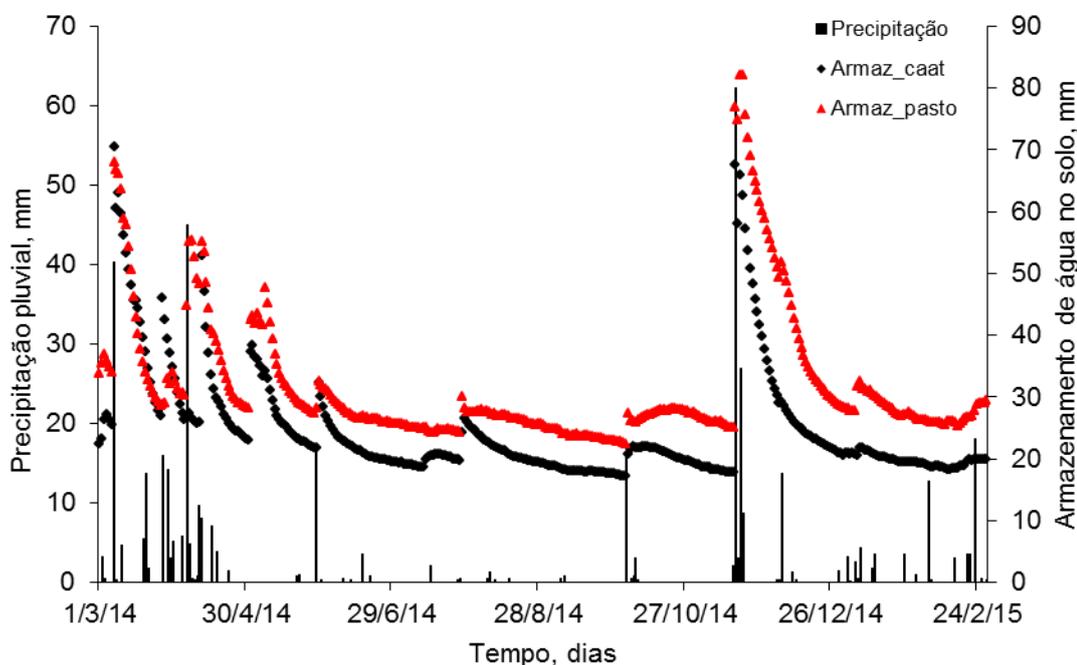
No laboratório, o material vegetal foi imediatamente pesado e em seguida desfolhado para determinar a área foliar, utilizando-se um leitor de área foliar modelo AM300 (ADC Bio Scientific Limited). Posteriormente o material era colocado em sacos de papel e levados para uma estufa por 72 horas a uma temperatura de 65° C. Após a desidratação do material vegetal na estufa, eles eram retirados e pesados novamente para quantificar biomassa total da pastagem e da caatinga. O índice de área foliar foi obtido por meio da divisão da área foliar pela área do quadrado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Armazenamento

A distribuição diária da precipitação pluvial e do armazenamento de água no solo (camada de 0-40 cm) na pastagem e na caatinga é apresentada na Figura 7.

Figura 7. Precipitação pluvial e armazenamento de água no solo (0-40 cm) em áreas de pastagem e de caatinga em Serra Talhada-PE no período de 01/03/2014 a 28/02/2015.



Fonte: Dados da pesquisa

A precipitação pluvial total para o período de março de 2014 a fevereiro de 2015 foi de 430,2 mm, estando cerca de 170 mm abaixo do valor da normal climatológica da região. Para o período chuvoso (meses de março, abril, novembro e dezembro de 2014, mais os meses de janeiro e fevereiro de 2015) a precipitação foi de 378,4 mm; já no período seco (meses de maio a outubro de 2014) o total precipitado foi de 51,8 mm.

Os maiores eventos de precipitação foram registrados nos dias 07/03/2014 (40,3 mm), 06/04/2014 (45,0 mm) e 17/11/2014 (62,0 mm). Observa-se, ainda, que dos 365 dias analisados, somente ocorreram precipitação em 73 dias, dos quais somente 04 dias tiveram precipitação acima de 20 mm, contudo esses 04 eventos de precipitação

corresponderam a 40,5% do total precipitado durante todo período experimental. Desse modo, as chuvas ocorridas seguiram o padrão normalmente encontrado em regiões semiáridas, com eventos de alta intensidade e elevada variabilidade temporal.

Quanto ao armazenamento de água no solo, verifica-se que o mesmo foi geralmente maior na área com pastagem (Armz_pasto), que na área com caatinga (Armz_caat). O Armz_pasto variou de 22,5 a 82,2 mm, com valor médio de 32,1 mm; enquanto que na caatinga variou de 17,3 a 70,4 mm, com média de 24,9 mm. Assim sendo, em média, a pastagem armazenou 7,1 mm a mais de água que a caatinga.

Uma possível razão para explicar este maior armazenamento está relacionado ao tipo de vegetação. De acordo com Weltzin et al. (2003), as áreas de pastagens são mais sensíveis a mudanças na umidade do solo. Já Merbold et al.(2008) afirmam que gramíneas são susceptíveis de responder mais fortemente a mudanças sazonais na precipitação do que o componente arbóreo.

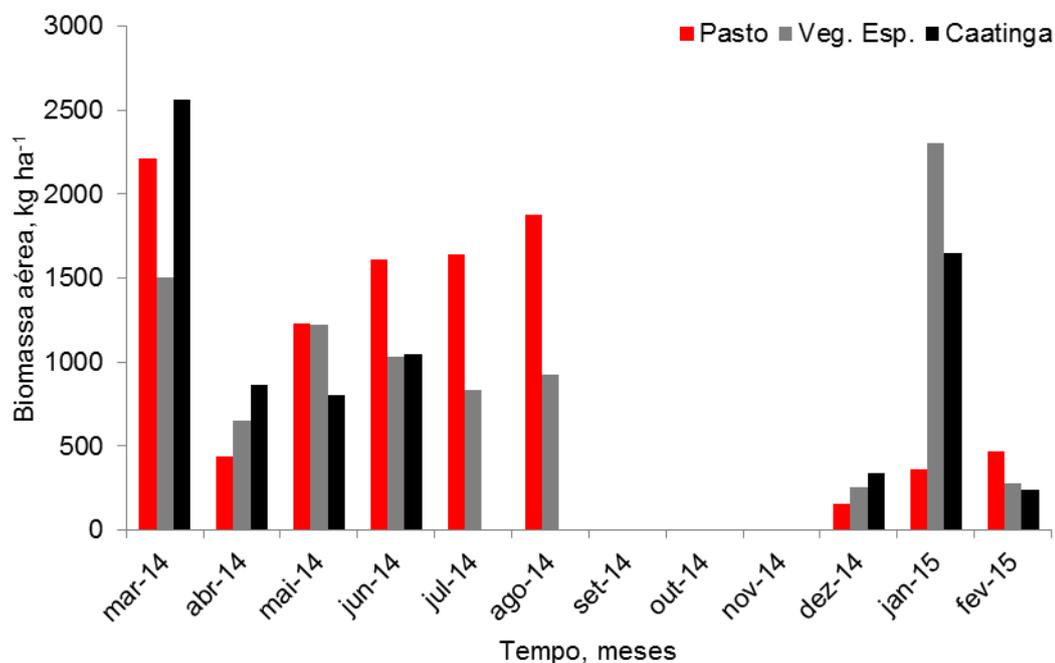
Além disso, esse menor valor de armazenamento de água no solo na caatinga deve está relacionado com uma provável maior retirada de água, pois a caatinga possui sistema radicular mais profundo que a pastagem. Nesse sentido, Li et al. (2005) confirmaram que a distribuição das raízes em áreas de savanas aumenta a extração de água nas camadas profundas do solo.

Outro fator que pode ter influenciado o menor armazenamento de água no solo na caatinga é a interceptação da precipitação pluvial pelo dossel da mesma. A interceptação da precipitação pela cobertura vegetal é uma das principais componentes do ciclo hidrológico, justificando a necessidade de avaliar as perdas por interceptação em regiões semiáridas, uma vez que experiências realizadas nesses ambientes indicam perdas que são de grande importância hidrológica (Carlyle-Moses, 2004).

3.2 Medidas de Biomassa

Na Figura 8 é apresentada a evolução mensal da biomassa aérea da pastagem (pasto mais vegetação espontânea) e da caatinga (estrato herbáceo) durante o período de março de 2014 a fevereiro de 2015. Na área de pastagem também foi contabilizada a biomassa da vegetação espontânea devido ao fato da mesma está presente na área e também atuar no sequestro de CO₂.

Figura 8. Biomassa aérea da pastagem, vegetação espontânea encontrada na pastagem e do estrato herbáceo da caatinga em Serra Talhada-PE, no período de março de 2014 a fevereiro de 2015



Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que o rendimento de material vegetal foi progressivo em função da ocorrência de chuvas e conseqüentemente pelo armazenamento de água no solo (Figura 7). A produção máxima de biomassa da pastagem foi de 2.208 kg ha⁻¹ de massa seca no mês de março de 2014 e a menor foi 159 kg ha⁻¹ no mês dezembro de 2014, com uma produtividade média anual de 832 kg ha⁻¹ de massa seca de pastagem. Na área de pastagem, foi monitorado também a biomassa da vegetação espontânea encontrada na área útil de coleta, do qual os valores máximo, mínimo e médio de biomassa foram 1.504, 258 e 700 kg h⁻¹. Já para o estrato herbáceo da área de caatinga observou-se que os valores máximo, mínimo e médio de biomassa foram 2.559, 243 e 626 kg ha⁻¹, respectivamente.

Nota-se ainda na Figura 8, que as vegetações no mês de abril sofreram um pequeno veranico que ocasionou em uma redução na produção de biomassa. Na pastagem nos meses de junho, julho e agosto de 2014 foi bastante produtiva, se consideramos que estes meses fazem parte do período seco na região. Essa produção é bem relativa quando levamos em consideração a distribuição de chuvas e pastejo dos

animais. Nos meses de setembro, outubro e novembro não teve vegetação verde, pois nesta fase a seca estava mais intensa e ocasionou a senescência das vegetações, sendo que na área de caatinga, a senescência da vegetação teve início no mês de julho e estendeu-se até o mês de novembro. No mês de janeiro houve um crescente aumento na biomassa da vegetação espontânea, primeiro porque choveu nos meses anteriores e segundo porque esta vegetação não é fonte de alimentação para os animais que pastejavam a área.

As vegetações da pastagem e da caatinga responderam rapidamente aos eventos de chuvas, de forma que a biomassa no mês de janeiro de 2015 foi o resultado do crescimento iniciado no mês anterior, quando houve ocorrência de chuvas (Figura 6). O contrário também acontece quando ocorre um veranico mesmo nos períodos de chuva causando um declínio na produção de biomassa devido à mortalidade das plantas, mantendo-se vivas apenas as espécies mais tolerantes.

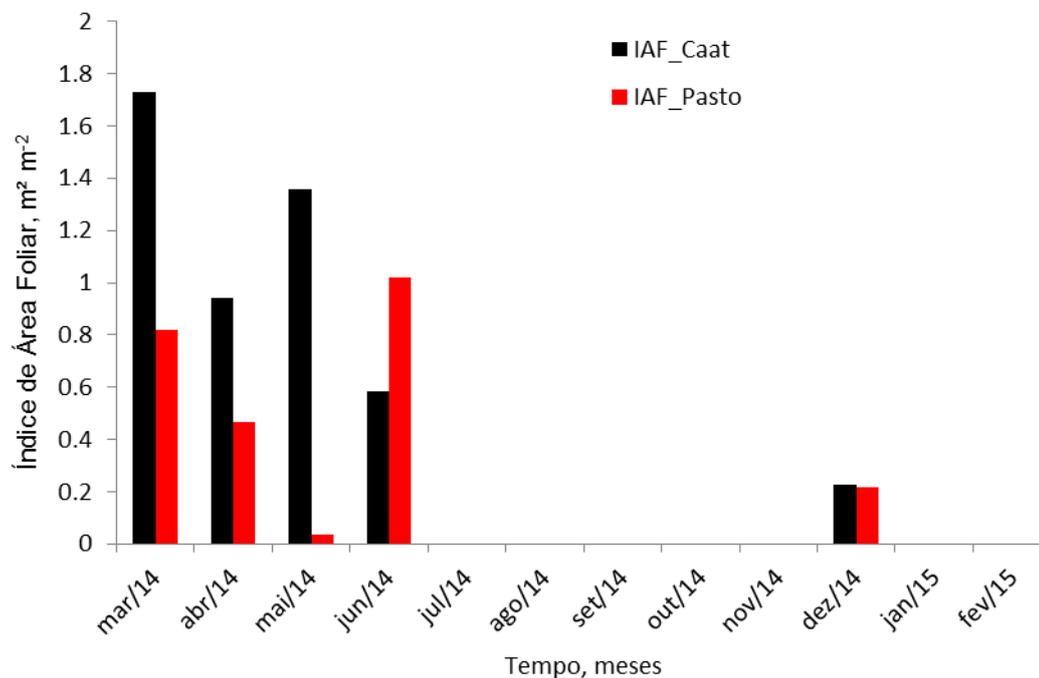
3.3 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) da área com pastagem e do estrato herbáceo da caatinga é apresentado na Figura 9.

Observa-se tanto para a área de pastagem quanto para a área de caatinga que no período de julho a novembro não se tem dados de IAF. Isto ocorreu como já comentado para a biomassa aérea (Figura 8), devido ao fato desse período não terem ocorrido chuvas, o que causou a morte da vegetação nas duas áreas.

O menor valor do IAF na pastagem ocorreu no mês de maio devido ao pastejo dos animais, no entanto, como os animais se alimentam basicamente das folhas, o IAF foi menor, mas não comprometeu a produção de biomassa (Figura 8).

Figura 9. Índice de área foliar de pastagem e do estrato herbáceo da caatinga durante o período de março a dezembro de 2014 em Serra Talhada, PE



Fonte: Dados da pesquisa

Os valores máximos do IAF nas vegetações foram de 1,7 e 1 m² m⁻² na caatinga e pastagem respectivamente. O valor do IAF da pastagem foi diferente do valor relatado por Zanchi et al. (2009) que encontraram o IAF médio de 2,6 m² m⁻² em uma pastagem (*Urochloa brizantha*), no período chuvoso em Roraima. A diferença desses valores é justificada considerando as condições regionais diferentes e o manejo da pastagem.

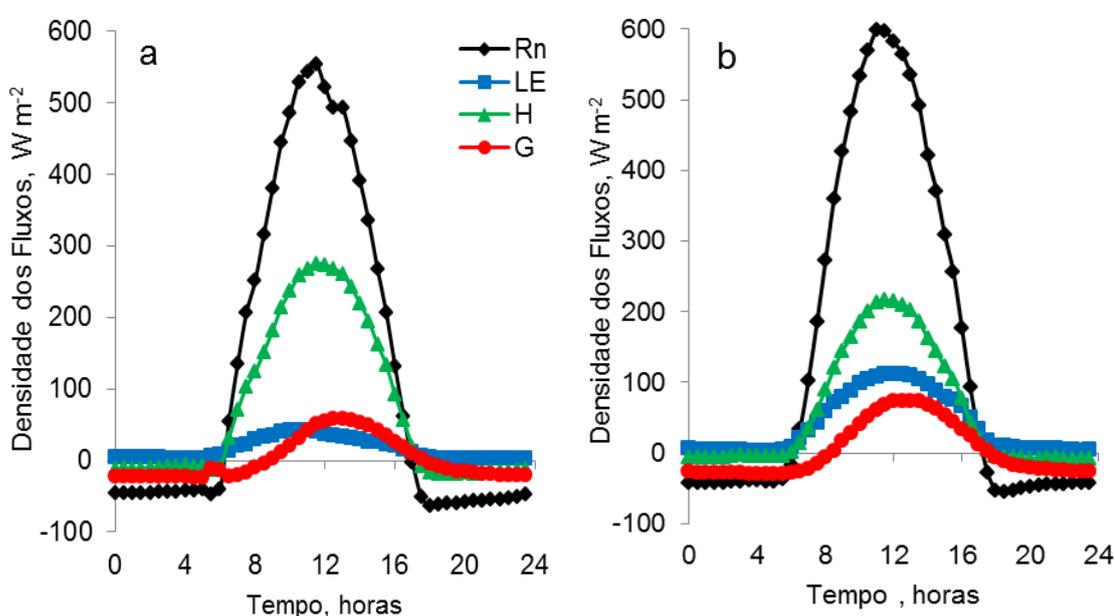
Em dezembro o IAF foi de 0,43 m² m⁻² para a pastagem e 0,23 m² m⁻² para a caatinga, quando ambas vegetações começaram a restabelecer-se após eventos de precipitação pluvial ocorridos no final de novembro (Figura 6).

Segundo Jupp et al. (2008), o IAF varia de acordo com o ecossistema e as condições do local, como fertilidade e suprimento de água do solo, além disso, a estrutura do dossel é um importante fator que influencia a sua estimativa. Dessa forma, a mudança no IAF da pastagem e da vegetação do estrato herbáceo da caatinga pode ser devido às mudanças da precipitação pluvial e, conseqüentemente, do armazenamento de água no solo.

3.4 Balanço de Energia

Os valores médios horários dos fluxos de energia (saldo de radiação e fluxos de calor latente, sensível e no solo) na pastagem são apresentados na Figura 10. Os valores representam a média de todos os valores de cada meia hora para o período seco (Figura 10 a) e para o período chuvoso (Figura 10 b).

Figura 10. Médias representativas a cada meia hora da densidade dos fluxos da pastagem em Serra Talhada-PE no período seco (a) e chuvoso (b).



Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que o saldo de radiação (Rn) e os fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G) apresentaram a evolução horária normalmente encontrada, com valores negativos no período noturno e com valores máximos no período das 10-15 h e em seguida ocorre a diminuição dos valores desses fluxos.

Em relação ao Rn, observa-se que o mesmo no período chuvoso (Figura 10 b), com valor máximo de $598,2 \text{ W m}^{-2}$, foi um pouco maior que no período seco (Figura 10 a), valor máximo de $535,7 \text{ W m}^{-2}$. Esses resultados mostram que o Rn não foi afetado pela presença das nuvens e nem pela atenuação da radiação solar global (ondas curtas) durante o dia, como normalmente acontece em períodos chuvosos. No entanto, há de se

ressaltar que em regiões semiáridas não se tem muito a presença de nebulosidade e as chuvas ocorrem em pequenos intervalos de tempo com alta intensidade (Figura 6).

Em relação ao G, nota-se que não houve grande diferença para o mesmo nos períodos seco e chuvoso, e que o mesmo apresentou seus valores mais elevados no período das 14-15 h, demonstrando um "delay" entre o valor máximo de Rn de cerca de 02 horas. Isso pode ser explicado pelo fato do G ser medido em profundidade (2 cm), ocasionando um atraso do seu valor máximo em relação ao valor máximo do Rn e dos outros fluxos (LE e H).

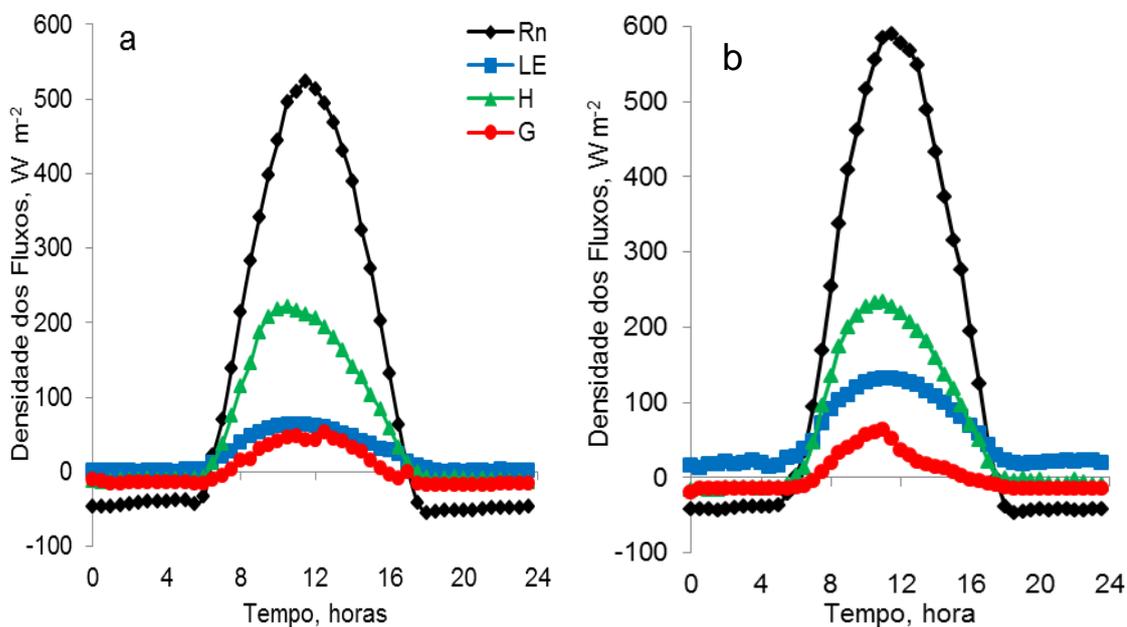
Os fluxos de calor latente (LE) e de calor sensível (H) seguiram a distribuição da precipitação pluvial e do armazenamento de água no solo (Figura 6), pois, no período seco (Figura 10 a) o H foi bem maior que o LE; já no período chuvoso (Figura 10 b), o H também foi maior que o LE, no entanto ocorreu um aumento do LE e uma diminuição do H, fazendo com que a diferença entre H e LE diminuísse.

Fazendo-se a partição do Rn em H e em LE, ou seja, dividindo-se o valor de LE por Rn (LE/Rn) e H por Rn (H/Rn), observa-se que a relação LE/Rn foi 0,12 e 0,28 nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Já a relação H/Rn apresentou valores de 0,59 para o período seco e de 0,41 para o período chuvoso. A partição desses fluxos é influenciada pelo status hídrico do solo, onde nos períodos de maior disponibilidade hídrica maior parte do Rn será usada em LE, ou seja, no processo de evapotranspiração; já nos períodos de déficit hídrico, maior parte do Rn será usada como H, ou seja, para o aquecimento do ar. Jongen et al. (2011) mediram os fluxos de energia em pastagens em Portugal e encontraram resultados semelhantes, atribuindo a variação de H e de LE ao armazenamento de água no solo.

Gondim et al. (2015), mediram os fluxos de energia em pastagens de braquiária no agreste pernambucano e também encontraram resultados semelhantes ao dessa pesquisa.

Para a caatinga também se fez a média horária dos fluxos de energia para os períodos seco (Figura 11 a) e chuvoso (Figura 11 b).

Figura 11. Médias representativas a cada meia hora da densidade dos fluxos da caatinga em Serra Talhada-PE no período seco (a) e chuvoso (b).

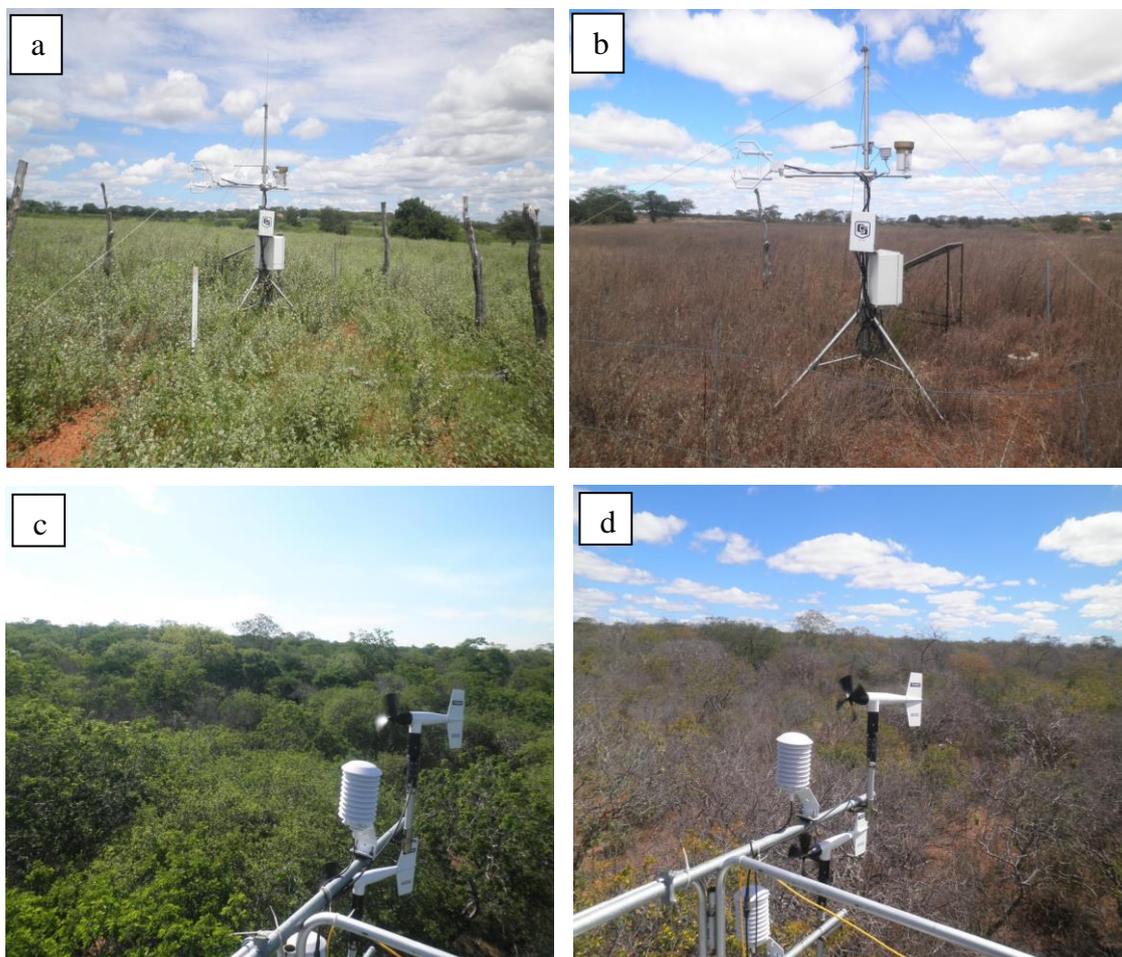


Fonte: Dados da pesquisa

Assim como ocorreu na pastagem, na caatinga a relação LE/R_n também foi maior no período chuvoso (0,38) que no período seco (0,18), o que ocasionou um aumento na perda de água por meio da ET. A relação H/R_n na caatinga também teve o mesmo comportamento que na pastagem, com valores mais elevados no período seco (0,49) que no período chuvoso (0,43). Do mesmo modo que na pastagem, o que controla a partição desses fluxos na caatinga, principalmente, é o armazenamento de água no solo.

Pelo visto nas Figuras 10 e 11 ocorrem grandes diferenças na partição dos fluxos de energia durante os períodos chuvoso e seco. Assim sendo, como uma forma de melhor ilustrar e caracterizar a vegetação nesses períodos, na Figura 12 são mostradas fotografias da pastagem e da caatinga nos períodos chuvoso e seco.

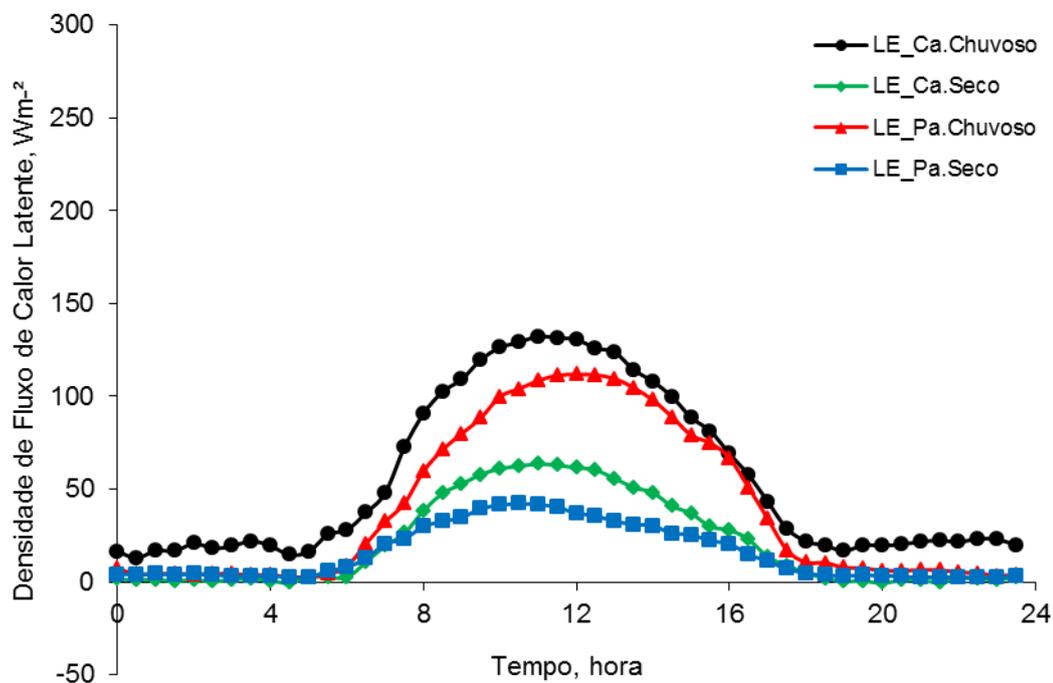
Figura 12. Demonstração dos períodos chuvoso e seco da pastagem (a e b) respectivamente e caatinga (c e d) Serra Talhada-PE.



Fonte: Dados da pesquisa

Como uma forma de melhor visualizar e comparar os fluxos de calor latente (LE) no período chuvoso e no período seco em pastagem e em caatinga, na Figura 13 são apresentados os valores médios horários de LE nesses períodos e nessas vegetações.

Figura 13. Evolução horária do fluxo de calor latente (LE) durante o período chuvoso e período seco em caatinga e pastagem em Serra Talhada-PE.



Fonte: Dados da pesquisa

Os valores máximos de LE foram de $132,24 \text{ W m}^{-2}$ na caatinga e $111,2 \text{ W m}^{-2}$ na pastagem no período chuvoso, já os mínimos foram $63,4$ e $42,1 \text{ W m}^{-2}$ no período seco, para a caatinga e pastagem, respectivamente.

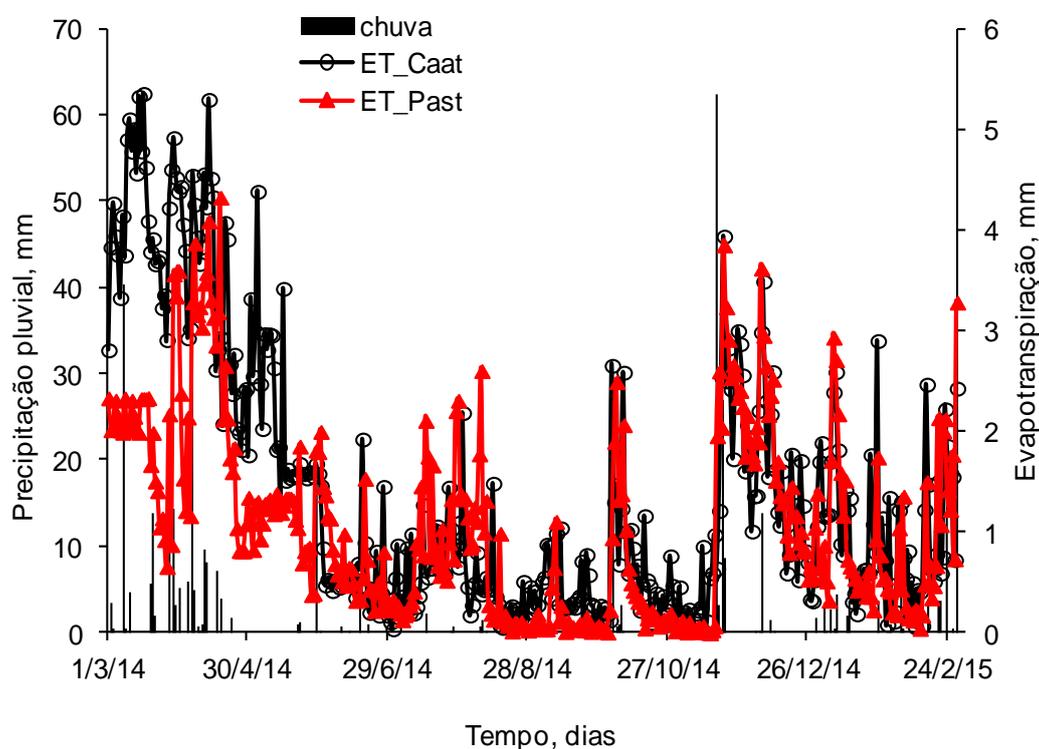
Oliveira et al. (2006) encontraram valores máximos de LE para uma área de caatinga no período chuvoso superior a 205 W m^{-2} , e mínimos de 111 W m^{-2} em Petrolina –PE. Já Da ROCHA et al. (2004) encontraram valores próximos ao deste trabalho em uma savana do cerrado em Mato Grosso com valores máximos de 100 W m^{-2} e mínimos de 71 W m^{-2} nos períodos chuvoso e seco respectivamente.

Observa-se, ainda, pela Figura 13 que o LE da caatinga foi superior ao da pastagem em ambos os períodos. Isso pode ser explicado pelo maior sistema radicular da caatinga, que ao extrair água de camadas mais profundas, aumenta a evapotranspiração, e conseqüentemente ocorre um aumento de LE.

3.5 Evapotranspiração

A variação diária da evapotranspiração (ET) em áreas de pastagem e de caatinga, além da precipitação pluvial, durante o período de 01/03/2014 a 28/02/2015 é apresentada na Figura 14.

Figura 14. Evapotranspiração (ET) em áreas de caatinga e de pastagem em Serra Talhada-PE no período de 01/07/2014 a 28/02/2015.



Fonte: Dados da pesquisa

A ET para as duas áreas apresentou grande variabilidade sazonal, uma vez que foram observados valores máximos de $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ na caatinga e $4,3 \text{ mm d}^{-1}$ na pastagem; já os valores mínimos foram próximos de $0,1 \text{ mm d}^{-1}$ nas duas vegetações. A ET média foi de $1,4 \text{ mm d}^{-1}$ para a caatinga e $1,1 \text{ mm d}^{-1}$ na pastagem.

Souza (2014) mediu a ET na mesma área de pastagem dessa pesquisa no ano de 2012 e encontrou resultados de ET média ($0,4 \text{ mm d}^{-1}$) bem menor que os dessa pesquisa. No entanto, no ano de 2012 ocorreram apenas 140 mm de chuva na área experimental, o que explica a diferença entre as duas pesquisas. Resultados semelhantes

de ET em pastagens ($1,5 \text{ mm d}^{-1}$) foram encontrados por Gondim et al. (2015) no agreste pernambucano.

Williams e Albertson (2004), medindo a ET numa região semiárida da África, também encontraram valores médios de ET mais elevados para a vegetação de savana ($2,8 \text{ mm d}^{-1}$) e menores para a pastagem ($0,7 \text{ mm d}^{-1}$), corroborando os dados de nossa pesquisa.

Observa-se, ainda, que a ET da caatinga para o período de 01/03/2014 a 28/02/2015 foi de 523 mm, sendo 372 mm ocorridos no período chuvoso, correspondendo a 70% do valor total, e 151 mm ocorridos no período seco, correspondendo a 30% da ET total. Já a pastagem teve ET total de 389 mm, sendo 269 mm no período chuvoso, o que equivale a 57% do total, e 120 mm no período seco, correspondendo a 43% da ET total.

Os maiores valores totais e médios de ET na caatinga devem ser devido a dois fatores: o primeiro deve está relacionado com o maior sistema radicular da caatinga, em profundidade e em volume, fazendo com que a mesma retire mais água do solo e, portanto, aumente a ET. Afirmarções nesse sentido também foram feitas por Huizhi et al (2008), ao compararem a ET de áreas cultivadas com culturas anuais e pasto degradado na China, e encontraram que a ET foi maior na área de cultura que na área de pastagem, atribuindo este aumento ao tipo de vegetação e sistema radicular mais profundo das culturas que o pasto. O segundo deve está relacionado com a interceptação da chuva pelo dossel da caatinga, fazendo com que essa água interceptada evapore livremente para a atmosfera. Da Rocha et al. (2009), medindo os fluxos de energia e a ET numa área de floresta na Amazônia, afirmam que a interceptação de água pelo dossel além de evitar que a água chegue ao solo, evapora rapidamente, uma vez que não há nenhuma limitação estomática, resultando em maiores taxas globais de evaporação.

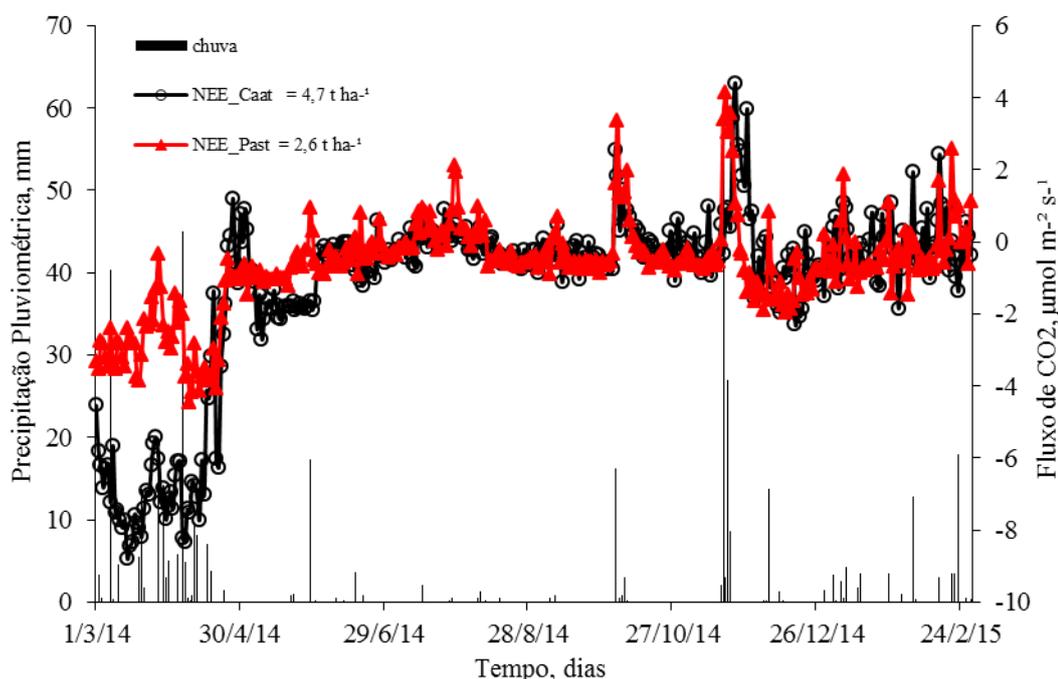
3.6 Fluxo de CO₂

De acordo com Oliveira et al. (2006), como indicativo das taxas líquidas dos processos de respiração e fotossíntese de uma vegetação, considera-se que valores positivos dos fluxos de CO₂ representam emissões de CO₂ para atmosfera durante o

processo respiratório, e os valores negativos, indicam fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação, devido ao processo fotossintético, ou seja, sequestro de carbono.

A variação diária dos fluxos de CO₂ em pastagem e em caatinga, bem como a precipitação pluvial, durante o período de 01/03/2014 a 28/02/2015 é apresentada na Figura 15.

Figura 15. Fluxos de CO₂ (NEE) em áreas de caatinga e de pastagem e precipitação pluvial no período de 01/03/2014 a 28/02/2015, em Serra Talhada-PE.



Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se, do mesmo modo que a ET (Figura 14), que ocorreu uma grande variação diária dos fluxos de CO₂, com valores variando de 4,4 a -5,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na caatinga e de 4,1 a -4,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na pastagem. Os valores médios foram de -0,91 e -0,68 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na caatinga e na pastagem, respectivamente. Esses valores médios correspondem a 4,7 t C ha⁻¹ ano⁻¹ sequestrados pela caatinga e 2,6 t C ha⁻¹ ano⁻¹ sequestrados pela pastagem. Valores semelhantes foram encontrados por Zeri et al. (2014) que encontraram valores médios de 5 t ha⁻¹ ano⁻¹ em uma área de floresta em Rondônia.

Os fluxos mais negativos, ou seja, maior sequestro de carbono, ocorreram nos meses de março e de abril de 2014, devido, provavelmente, a maior quantidade de

chuvas nesses meses, o que aumentou o armazenamento de água no solo, aumentando a fotossíntese das plantas.

Os valores mais positivos, indicando emissão de CO₂ para a atmosfera, foram observados após a ocorrência de chuvas isoladas no período seco. Como exemplo disso, pode-se citar o dia 04/10/2014, onde o fluxo de CO₂ na pastagem e na caatinga foram 3,35 e 1,82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, sendo que no dia anterior tinha chovido 16,3 mm e fazia 24 dias da última chuva (Figura 6). Essa maior emissão de CO₂ nesses dias ocorre devido a maior respiração dos micro-organismos do solo, os quais durante o período seco ficam em estado de "latência" e com a ocorrência de precipitação e melhoria das condições de umidade do solo ocorre maior respiração dos microrganismos, causando a emissão de CO₂ para a atmosfera. Vários autores, a exemplo de Xu e Baldocchi (2004), também encontraram um aumento considerável da respiração do solo após a ocorrência de chuvas na estação seca.

Oliveira et al. (2006), medindo os fluxos de CO₂ numa área de caatinga em Petrolina – PE, encontraram resultados semelhantes aos dessa pesquisa.

Os fluxos de CO₂ diferenciaram pouco entre as vegetações durante os demais meses, sendo que os meses de julho, outubro e novembro de 2014 e fevereiro de 2015 apresentaram valores positivos, com 0,03; 0,14; 0,59 e 0,02 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, na caatinga e 0,30; 0,02; 0,13 e 0,02 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, na pastagem. Neste período, a respiração das plantas juntamente com a atividade dos microrganismos dos solos foi maior que a fotossíntese promovendo uma emissão de CO₂ para a atmosfera, embora com taxas muito baixas para ambas as vegetações.

Segundo Zeri et al., (2014), quando o solo está seco impõe limitações a atividades microbiana que é responsável pelas emissões de CO₂ do solo. Quansah et al., (2015), avaliando os fluxos de CO₂ em ecossistemas de savanas na África, concluíram que esses ecossistemas serviram como fontes de CO₂ durante a estação seca, já durante a estação chuvosa, os ecossistemas atuaram como um sumidouros de CO₂. Huxman et al. (2004) fizeram a mesma afirmação ao estudar a vegetação do semiárido na América do Norte.

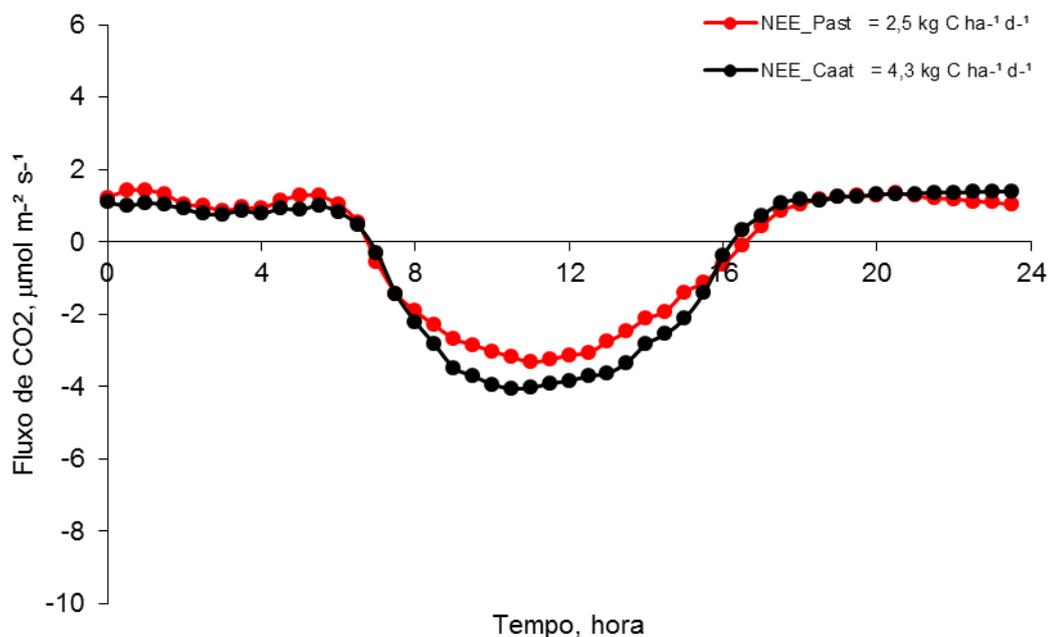
Oliveira et al. (2006) mediram os fluxos de CO₂ em caatinga preservada em Petrolina-PE, durante um ano, e concluíram que a caatinga atuou como sumidouro de CO₂ no início da estação seca e na estação chuvosa. Os mesmo autores observaram que

no final da estação seca, quando os estômatos se fecharam e ocorreu uma redução significativa no folheto em função do déficit hídrico, a taxa de fotossíntese tornou-se nula e a caatinga passou a atuar como fonte de CO₂.

Com o intuito de se analisar a influência da umidade do solo nos fluxos de CO₂ foi feita a média horária desses fluxos para o período seco e para o período chuvoso, tanto para a caatinga quanto para a pastagem.

A Figura 16 apresenta a evolução média horária dos fluxos de CO₂ em pastagem e caatinga no período seco.

Figura 16. Evolução horária dos fluxos de CO₂ em áreas de caatinga e de pastagem no período seco em Serra Talhada-PE.

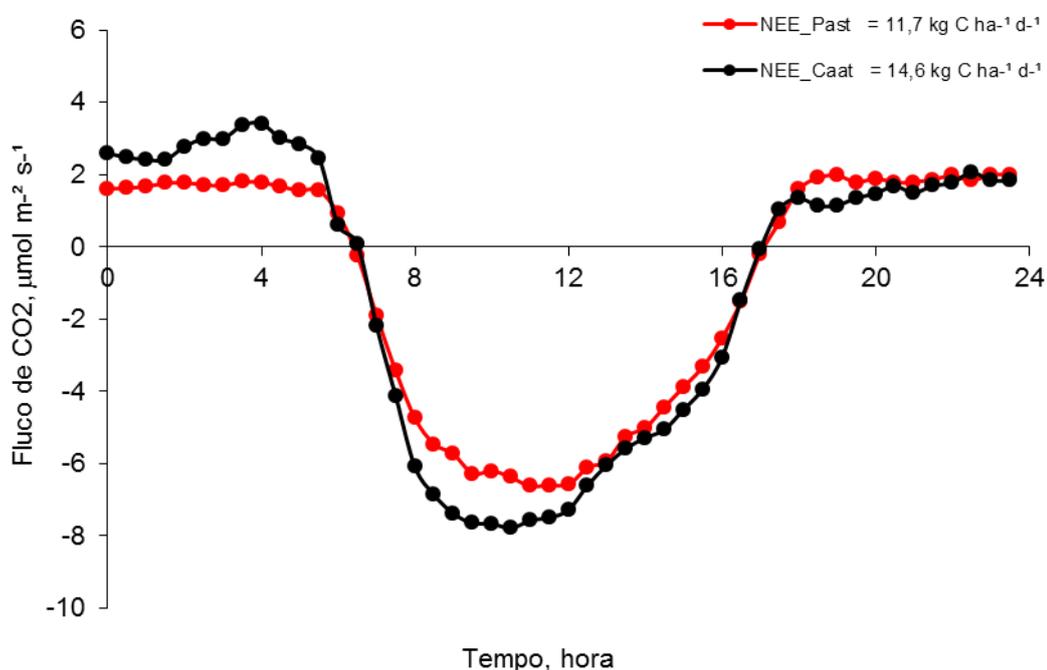


Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se um comportamento semelhante dos fluxos de CO₂ para as duas vegetações. No período diurno a fotossíntese (valores negativos) foi maior que a respiração (valores positivos) e no noturno, ocorreu o inverso. Observa-se também que não houve muita diferença nos fluxos entre as duas vegetações, no entanto, a caatinga sequestrou 4,3 kg de C ha⁻¹ d⁻¹, valor maior que a pastagem, que sequestrou 2,5 kg de C ha⁻¹ d⁻¹.

Para o período chuvoso (Figura 17), foi observado comportamento semelhante dos fluxos de CO₂ para as duas vegetações, no entanto, a pastagem iniciou as primeiras horas do período seco emitindo mais CO₂ que a caatinga, já no período diurno ocorreu o inverso, ou seja, a caatinga sequestrou mais carbono que a pastagem. Nesse período a caatinga sequestrou 14,6 kg de C ha⁻¹ d⁻¹, valor maior que a pastagem, que sequestrou 11,7 kg de C ha⁻¹ d⁻¹.

Figura 17. Evolução horária dos fluxos de CO₂ em áreas de caatinga e de pastagem no período chuvoso em Serra Talhada-PE



Fonte: Dados da pesquisa

O comportamento dos fluxos de CO₂ durante o período seco e chuvoso e em ambas as vegetações foi semelhante aos encontrados por Williams e Albertson, (2004), os quais afirmaram que a maior fração da respiração dos ecossistemas ocorre à noite, sendo insignificante durante o dia, quando ocorre a assimilação líquida de CO₂.

Pelos resultados das Figuras 16 e 17, observa-se que a caatinga foi mais eficiente em sequestrar carbono atmosférico que a pastagem em ambos os períodos, no entanto, no período seco essa eficiência foi maior, uma vez que a caatinga sequestrou 92% mais carbono que a pastagem. Já no período chuvoso essa diferença foi de apenas 10%.

4 CONCLUSÕES

O saldo de radiação foi usado principalmente como fluxo de calor sensível, tanto na caatinga quanto na pastagem.

A evapotranspiração foi maior na caatinga que na pastagem, estando diretamente relacionada com a disponibilidade hídrica do solo.

Durante o período experimental os fluxos de CO₂ médios diários foram de -0,91 e -0,68 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para caatinga e para pastagem, respectivamente.

A caatinga demonstrou ser mais eficiente que a pastagem ao usar a água do solo (maior ET) e sequestrar CO₂ atmosférico, com um sequestro de CO₂ equivalente a 4,7 e 2,6 t C ha⁻¹ para caatinga e para pastagem, respectivamente.

Os resultados encontrados nesta pesquisa são as primeiras informações sobre o balanço de energia e fluxo de CO₂ em áreas de pastagem e caatinga, implicando em realizar mais pesquisas com a finalidade de gerar informações que caracterize o comportamento dos fluxos nestas vegetações.

REFERÊNCIAS BOBLIOGRÁFICAS

AMBRIZZI, T.; ARAÚJO, M.; MEIRA FILHO, L. G.; SILVA DIAS, P. L.; WAINER, I. Base científica das mudanças climáticas. Disponível em: <http://www.agua.ufc.br/index.php?option=com_content&view=article&id=53:base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volume-1&catid=3:news>. Acessado em: 14-04-2015.

AUBINET, M.; GRELE, A.; IBROM, A.; RANNIK, U.; NONCRIEFF, J.; FOKEN, T.; KOWALSKI, A. S.; MARTIN, P. H.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CLEMENT, R.; ELBERS, J.; GRANIER, A.; GRUNWALD, T.; MORGENSTERN, K.; PILEGAARD, K.; REBMANN, C.; SNIJDERS, W.; VALENTINI, R.; VESALA, T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: **the EUROFLUX methodology**. *Advances in Ecological Research*, v. 30, p. 113-175, 2000.

BERINGER, J.; HUTLEY, L. B.; HACKER, J. M.; NEININGER, B. Patterns and processes of carbon, water and energy cycles across northern Australian landscapes: from point to region. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, n. 11, p. 1409-1416, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Caatinga. Brasília, DF. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>, Acessado em: 03-03-2014.

CARLYLE-MOSES, D. E. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. *Journal of Arid Environments*, v. 58, n. 2, p. 181-202, 2004.

CIRILO, J.A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.

DA ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D.; DE FREITAS, H. C.; SILVA FIGUEIRA, A. M. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological applications*, v. 14, n. sp 4, p. 22-32, 2004.

DA ROCHA, H. R.; MANZI, A. T.; CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R.; COUPE, N. R.; WOFSEY, S. C.; BORMA, L. S.; ARTAXO, P.; VOURLITIS, G.; NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H. C.; VON RANDOW, C.; AGUIAR, R. G.; MAIA, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, n. G00B12, 2009.

FAN, Z.; NEFF, J. C.; HANAN, N. P. Modeling pulsed soil respiration in an African savanna ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 200, p. 282-292, 2015.

GONDIM, P. S. D. S.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C.; HAMMECKER, C.; DA SILVA, R. A.; GOMES, C. A. L. Environmental control on water vapour and energy

exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 3-8, 2015.

GRACE, J.; RAYMENT, M. Respiration in the balance. **Nature**. v. 404, p. 819-820, 2000.

HUIZHI, L.; GANG, T.; CONGBIN, F.; LIQING, S. Three-year Variations of Water, Energy and CO₂ Fluxes of Cropland and Degraded Grassland Surfaces in a Semi-arid Area of Northeastern China. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 25, p. 1009-1020, 2008.

HUTLEY, L. B.; EVANS, B. J.; BERINGER, J.; COOK, G. D.; MAIER, S. W.; RAZON, E. Impacts of an extreme cyclone event on landscape-scale savanna fire, productivity and greenhouse gas emissions. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 4, p. 045023, 2013.

HUXMAN, T. E.; SNYDER, K. A.; TISSUE, D.; LEFFLER, A. J.; OGLE, K.; POCKMAN, W. T.; SANDQUIST, D. R.; POTTS, D. L.; SCHWINNING, S. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, n. 2, p. 254-268, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo agropecuário – 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro, 2006. p.775. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>, Acessado em: 13-02-2015.

JONGEN, M.; PEREIRA, J. S.; AIRES, L. M. I.; PIO, C. A. The effects of drought and timing of precipitation on the inter-annual variation in ecosystem-atmosphere exchange in a Mediterranean grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 5, p. 595-606, 2011.

JUPP, D. L. B.; CULVENOR, D. S.; LOVELL, J. L.; NEWNHAM, G. J.; STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E. Estimating forest LAI profiles and structural parameters using a ground-based laser called 'Echidna®'. **Tree physiology**, v. 29, n. 2, p. 171-181, 2009.

LEAL, I.R.S.; TABARELLI, M.; LACHER JR., T.E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v.1, p.139 146, 2005.

LI, K. Y.; COE, M. T.; RAMANKUTTY, N. Investigation of hydrological variability in West Africa using land surface models. **Journal of Climate**, v. 18, n. 16, p. 3173-3188, 2005.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Ed. EDUSP, 2005. 335 p.

MARTENS, D. A.; REEDY, T. E.; LEWIS, D. T. Soil organic carbon content and composition of 130-year crop, pasture and forest land-use managements. **Global Change Biology**, v. 10, n. 1, p. 65-78, 2004.

MERBOLD, L.; ARDO, J.; ARNETH, A.; SCHOLLES, R. J.; NOUVELLON, Y.; DE GRANDCOURT, A.; ARCHIBALD, S.; BONNEFOND, J. M.; BOULAIN, N.; BRUEMMER, C.; BRUEGGEMANN, N.; CAPPELAERE, B.; CESCHIA, E.; EL-KHIDIR, H. A. M.; EL-TAHIR, B. A.; FALK, U.; LLOYD, J.; KERGOAT, L.; LE DANTEC, V.; MOUGIN, E.; MUCHINDA, M.; MUKELABAI, M. M.; RAMIER, D.; ROUPSARD, O.; TIMOUK, F.; VEENENDAAL, E. M.; KUTSCH, W. L. Precipitation as driver of carbon fluxes in 11 African ecosystems. **Biogeosciences Discussions**, v. 5, p. 4071-4105, 2008

MOREIRA, J. N.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, G. C. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1643-1651, 2006.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas. **Rede Clima/INPE, São José dos Campos**, 2012.

OLIVEIRA, M. B. L.; SANTOS, A. J. B.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, M. F.; MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, p.166-174, 2006.

PLAKE, D.; STELLA, P.; MORAVEK, A.; MAYER, J. C.; AMMANN, C.; HELD, A.; TREBS, I. Comparison of ozone deposition measured with the dynamics chamber and the eddy covariance method. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 206, p. 97-112, 2015.

QUANSAH, E.; MAUDER, M.; BALOGUN, A. A.; AMEKUDZI, L. K.; HINGERL, L.; BLIEFERNICHT, J.; KUNSTMANN, H. Carbon dioxide fluxes from contrasting ecosystems in the Sudanian Savanna in West Africa. **Carbon balance and management**, v. 10, n. 1, p. 1, 2015.

SOUZA, R. M. S. **Dinâmica de energia, água e carbono em área de pastagem no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Pernambuco, 2014.

TWINE, T. E. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, p. 640-655, 2004.

WELTZIN, J. F.; LOIK, M. E.; SCHWINNING, S.; WILLIAMS, D. G.; FAY, P. A.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; HUXMAN, T. E.; KNAPP, A. K.; LIN, G.; POCKMAN, W. T.; SHAW, M. R.; SMALL, E. E.; SMITH, M. D.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. **Bioscience**, v. 53, n. 10, p. 941-952, 2003.

WESSOLEK, G.; ASSENG, S. Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. **European Journal of Agronomy**, v. 24, n. 4, p. 333-342, 2006.

WILLIAMS, C. A.; ALBERTSON, J. D. Soil moisture controls on canopy-scale water and carbon fluxes in an African savanna. **Water Resources Research**, v. 40, n. 9, 2004.

XU, L.; BALDOCCHI, D. D. Seasonal variation in carbon dioxide exchange over a Mediterranean annual grassland in California. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 123, n. 1, p. 79-96, 2004.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; AGUIAR, L. J.; VON RANDOW, C.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. Estimate of the Leaf Area Index (LAI) and Biomass in pasture in the state of Rondônia-Brazil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335-347, 2009.

ZERI, M.; SÁ, L. D. A.; MANZI, A. O.; ARAÚJO, A. C.; AGUIAR, R. G.; RANDOW, V. C. Variability of carbon and water fluxes following climate extremes over a tropical forest in southwestern Amazonia. **Plos one**, v. 9, n. 2, e 88130, 2014.