

CÁSSIA BEZERRA MACHADO

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA NO CONSÓRCIO MILHO E PASTAGEM
NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

GARANHUNS, PERNAMBUCO - BRASIL

FEVEREIRO DE 2014

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

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA NO CONSÓRCIO MILHO E PASTAGEM
NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

CÁSSIA BEZERRA MACHADO

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA

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
FEVEREIRO - 2014

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

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA NO CONSÓRCIO MILHO E PASTAGEM
NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

CÁSSIA BEZERRA MACHADO

GARANHUNS

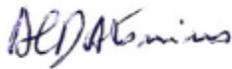
PERNAMBUCO - BRASIL

FEVEREIRO DE 2014

**FLUXOS DE CO₂, ÁGUA E ENERGIA NO CONSÓRCIO MILHO E PASTAGEM
NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO**

CÁSSIA BEZERRA MACHADO

APROVADO EM: 26 DE FEVEREIRO DE 2014



ANTÔNIO CELSO DANTAS ANTONINO
DEN/UFPE
Examinador Interno

ANTÔNIO RICARDO SANTOS DE ANDRADE
UAG/UFRPE
Examinador Externo

WERÔNICA MEIRA DE SOUZA
UAG/UFRPE
Examinador Externo

JOSÉ ROMUALDO DE SOUSA LIMA
UAG/UFRPE
Orientador

DEDICATÓRIA

Aos meus avós (“in memoriam”) João Pereira Machado e Jonas José da Silva.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, oportunidades (principalmente estudo), pelas pessoas amigas e preciosas que colocou no meu caminho e principalmente por nunca me abandonar.

A minha família pelo total apoio e por me ajudar em tudo que precisei para me formar. Principalmente a meus pais, Joseane e Francisco pelo apoio incondicional e irrevogável amor. Aos meus irmãos, Tássia, Clara e Túlio, por sempre estarem comigo, mesmo que a alguns quilômetros de distância. Aos meus avós, em especial Doracy, pela sabedoria passada. E a Pedro Eugênio pela paciência e apoio.

A todos os professores que contribuíram para minha formação em especial ao meu orientador, Professor José Romualdo, pela oportunidade, confiança, paciência e orientação nesses dois anos de mestrado.

Aos amigos de Mestrado e todos que participaram dessa pesquisa que fazem/fizeram parte do Laboratório de Solos, em especial Francis Henrique (que me acompanhou desde a graduação, uma verdadeira amizade que levarei para sempre em meu coração), Apolo Alves, Clarissa Albuquerque, Charles Galvão, Jéssica Oliveira e Aleph Miquéias.

Ao Senhor Antônio de Pádua, proprietário da Fazenda Riacho do Papagaio, pela cessão da área experimental.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, que deu condições através de seus laboratórios para que a pesquisa fosse realizada e também pela contribuição na minha formação. E também aos funcionários e técnicos que sempre comprometidos estavam sempre dispostos a ajudar no que fosse preciso.

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos financeiros (Projetos n^{os}: 475094/2009-3; 479289/2011-3; 305727/2009-5), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelos recursos financeiros (projeto n^{os}: APQ-0077-5.01/09, “Edital de Cooperação FACEPE-FAPESP de Apoio a Pesquisas em Mudanças Climáticas” e APQ-1178-3.01/10, “Edital FACEPE 12/2010 - Programa de Apoio a Núcleos Emergentes”) e bolsa de mestrado (IBPG 0896-5.01/11) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela concessão de recursos financeiros (projeto N^o: 551922/2011-7).

BIOGRAFIA

Cássia Bezerra Machado, filha de Francisco Tavares Machado e Joseane Bezerra da Silva Machado, nasceu em Garanhuns – PE em 20 de Junho de 1987.

Ingressou na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns para cursar Agronomia em Março de 2007. Graduou-se em Fevereiro de 2012.

Em Março do mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola na mesma Universidade, sob a orientação do Professor Dr. José Romualdo de Sousa Lima, defendendo a dissertação em 26 de fevereiro de 2014.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 Localização, clima, solo da área experimental	19
2.2 Procedimentos Experimentais	20
2.2.1 Solo	20
2.2.2 Planta	21
2.2.3 Atmosfera	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1 Atmosfera, solo, índice de área foliar e acumulação de biomassa	25
3.2 Balanço de energia	30
3.3 Evapotranspiração e fatores controladores	33
3.4 Fluxos de CO ₂ (FCO ₂)	38
4. CONCLUSÕES	41
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
Δ	Curva de saturação da pressão de vapor da água em função da temperatura do ar	kPa K ⁻¹
ρ	Densidade do ar	kg m ⁻³
AFO	Área Foliar	m ²
AS	Área de solo	m ²
c'	Concentração de dióxido de carbono	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
CC	Capacidade de Campo	m ³ m ⁻³
Cp	Calor específico do ar à pressão constante	J kg ⁻¹ K ⁻¹
DAP	Dias após o plantio	dias
DPV	Déficit de pressão de vapor	kPa
ET	Evapotranspiração	mm
ETo	Evapotranspiração de referência	mm
FCO ₂	Fluxo de dióxido de carbono	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
G	Fluxo de calor no solo	W m ⁻²
ga	Condutância aerodinâmica	m s ⁻¹
gc	Condutância do dossel	m s ⁻¹
H	Fluxo de calor sensível	W m ⁻²
IAF	Índice de Área Foliar	m ² m ⁻²
LE	Fluxo de calor latente	W m ⁻²
MSA	Massa seca da parte aérea	g
MSR	Massa seca da raiz	g
MST	Massa seca total	g
PMP	Ponto de murcha permanente	m ³ m ⁻³
q'	Umidade específica	g kg ⁻¹
RFA	Razão da área foliar	m ² g ⁻¹
RMSA	Razão da massa seca da parte aérea	g g ⁻¹
Rn	Saldo de radiação	W m ⁻²
u	Velocidade horizontal do vento	m s ⁻¹
u^{*2}	Velocidade de fricção	M s ⁻¹

w'	Velocidade vertical do vento	m s^{-1}
γ	Constante psicométrica	kPa K^{-1}
λ	Calor latente de vaporização	MJ kg^{-1}
Ω	Fator de acoplamento	Adimensional

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do município de São João no estado de Pernambuco.	19
Figura 2. Área onde foi realizado o experimento, durante o cultivo do consórcio milho-braquiária no período de 01/05/2013 a 31/12/2013 em São João, PE.....	20
Figura 3. Evolução diária da temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (a), da precipitação pluvial e umidade volumétrica do solo (b) durante o período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE. As linhas horizontais na Figura b são a capacidade de campo (linha preta) e o ponto de murcha permanente (linha vermelha).....	26
Figura 4. Massa seca dos colmos e das folhas em milho e braquiária no período de no período de 12/06 a 11/12/2013 em São João, PE.	29
Figura 5. Fechamento do balanço de energia no período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.	30
Figura 6. Variação diária do saldo de radiação (R_n) e dos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G) durante o período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.	31
Figura 7. Evapotranspiração (ET), evapotranspiração de referência (ET_o) e relação ET/ ET_o no período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.	34
Figura 8. Fator de desacoplamento (Ω) e condutância do dossel (g_c) no período de 06/08/2013 a 13/09/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.....	36
Figura 9. Relação entre a fração evaporativa e o índice de área foliar (IAF) do consórcio milho-braquiária em São João, PE.	38
Figura 10. Variação diária da precipitação pluvial e do fluxo de CO_2 no consórcio milho-braquiária em São João-PE.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índice de Área Foliar (IAF) do milho e da braquiária no período de 12/06/2013 a 11/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.....	28
Tabela 2. Valores médios mensais da partição do saldo de radiação (Rn) nos fluxos de calor no solo (G/Rn), latente (LE/Rn) e sensível (H/Rn) no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.....	32

RESUMO

O aumento crescente das emissões de gases de efeito estufa (dentre eles o dióxido de carbono, CO₂) ocasiona aquecimento global e causa mudanças climáticas globais. As principais mudanças esperadas em regiões semiáridas decorrentes do aquecimento global são redução dos recursos hídricos, das chuvas e vazões, além de salinização e desertificação. Desse modo, pesquisas que investiguem as relações entre os fluxos de CO₂, água e energia são de fundamental importância para se prever como os ecossistemas agrícolas responderão a essas mudanças climáticas. As transferências de água e energia e sua relação com os fluxos de CO₂ em pastagens, e como estas serão afetadas pelas mudanças climáticas, ainda não é muito estudada no nordeste do Brasil e nenhuma pesquisa foi realizada, nessa região, investigando esses fluxos em pastagem consorciada com milho. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho foi determinar os fluxos de água e energia (evapotranspiração, ET) e de CO₂ em pastagem de braquiária consorciada com milho, além de relacionar esses fluxos com a produção de biomassa dessas culturas. A pesquisa foi desenvolvida na fazenda Riacho do Papagaio em São João-PE, na região do Agreste Meridional. No centro da área foi instalada uma torre metálica equipada com o sistema de covariância dos vórtices turbulentos, composto por um analisador de CO₂ e H₂O de caminho aberto e um anemômetro sônico tridimensional, além de sensores para medidas da velocidade e direção do vento, umidade e temperatura do ar, precipitação pluviométrica, radiação global e saldo de radiação. Próximo à torre foram medidos o fluxo de calor no solo, bem como perfis de temperatura e de umidade do solo. A biomassa e o índice de área foliar da braquiária e do milho foram determinadas em amostras coletadas de Junho a Dezembro de 2013. Além disso, foram determinados a evapotranspiração de referência (ET_o), a condutância do dossel (g_c) e o fator de desacoplamento (Ω). Verificou-se que, durante a maior parte do período experimental, o fluxo de calor latente (LE) foi o principal consumidor da energia disponível, sendo que o fluxo de calor sensível (H) foi maior na parte final da pesquisa, devido ao período de escassez de chuvas e aquecimento da região. A variação diária e sazonal da ET no consórcio milho-braquiária foi controlada principalmente pela umidade do solo e índice de área foliar (IAF). Nos períodos de baixa umidade do solo, o déficit de pressão de vapor exerceu papel preponderante no controle da ET. O Ω e a g_c foram fortemente influenciados pela umidade do solo, sendo substancialmente reduzidos quando o armazenamento de água no solo (camada de 0-20 cm) ficou abaixo de 20 mm. Os fluxos de CO₂ foram afetados pelo IAF e umidade do solo, sendo que o consórcio milho-braquiária atuou com fonte de carbono para a atmosfera nos períodos mais secos e de menor IAF. Nos períodos mais úmidos e de maior IAF atuou como sumidouro de carbono atmosférico. Em todo período experimental, o consórcio sequestrou 3,59 t de C ha⁻¹, o equivalente a 14,66 kg de C ha⁻¹ d⁻¹.

Palavras-chaves: covariância dos vórtices turbulentos, emissão de carbono, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, mudanças climáticas

ABSTRACT

The increasing emissions of greenhouse gases (among them carbon dioxide, CO₂) causes global warming and change the global climate. The main expected changes in the semiarid regions due to global warming are reduction of water resources, rainfall and excessive flow rate, salinization and desertification. In this way, studies that investigate the relationship between the fluxes of CO₂, water and energy are essential to predict how agricultural ecosystems will respond to those climate changes. The transfer of water and energy and their relationship to CO₂ fluxes in grasslands, and how these will be affected by climate change, is not well studied in northeastern Brazil, and no research has been conducted in this region, investigating these fluxes in a pasture intercropped with corn. Therefore, the aim of this work was to determinate the fluxes of water and energy (evapotranspiration, ET) and CO₂ in brachiaria pasture intercropped with maize, and relate these fluxes with the biomass production of these crops. The research was conducted at the Riacho do Papagaio Farm in São João-PE, in the Agreste Meridional region. In the center of the area was installed a metallic tower with a eddy covariance system, composed of an open path analyzer of CO₂ and H₂O and a three-dimensional sonic anemometer, as well as sensors for measuring speed and wind direction, humidity and air temperature, rainfall, global radiation and net radiation. Next to the tower was measured soil's heat flux, as well as temperature and soil moisture profiles. Biomass and leaf area index of brachiaria and corn were determined in samples collected from June to December 2013. Furthermore, were determined the reference evapotranspiration (ET_o), canopy conductance (g_c) and the decoupling factor (Ω). It was found that during the most part of the experiment, the latent heat flux (LE) was the major consumer of the available energy, and sensible heat flux (H) was higher in the latter part of the study, due to the length of shortage of rainfall and warming of the region. The daily and seasonal variation of ET in the consortium corn-grass was controlled mainly by soil moisture and leaf area index (LAI). During periods of low soil moisture, deficit vapor pressure exerted major role in ET controlling. The Ω and g_c were strongly influenced by soil moisture, being substantially reduced when the water storage in the soil layer (0-20 cm) was below 20 mm. The CO₂ fluxes were affected by LAI and soil moisture, but the corn-grass consortium served as a source of carbon to the atmosphere during drier periods and lower LAI. In wetter periods and higher IAF, served as drain of atmospheric carbon. Throughout the experimental period, the consortium abducted 3.59 t of C ha⁻¹, equivalent to 14.66 kg of C ha⁻¹ d⁻¹.

Keywords : eddy covariance, carbon emission, latent heat flux, sensible heat flux, climate change

1. INTRODUÇÃO

O mais recente relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Bates et al, 2008) mostra que se as tendências de crescimento das emissões de gás carbônico se mantiverem, os modelos climáticos indicam que poderá ocorrer aumento de temperatura média global entre 2,0 e 4,5 °C (Nobre et al., 2007). O crescimento de emissões de carbono nesse último relatório mostrou que a concentração global de carbono nos tempos pré-industriais era de 280 ppm, em 2005 esse valor passou a ser 379 ppm; foi visto também que nos 10 anos, entre 1995 e 2005, houve um crescimento de 1,9 ppm por ano, enquanto que de 1960 a 2005, o crescimento anual foi de 1,4 ppm por ano (Aires, 2007). Esse aumento nas emissões de gás carbônico se deve principalmente ao uso de combustível fóssil (Frank, 2002). No entanto, no Brasil, é estimado que 75% do CO₂ seja devido ao desmatamento (Gomes et al, 2010).

Os estudos do IPCC indicam que as regiões áridas e semiáridas são particularmente expostas aos impactos das mudanças no clima e devem sofrer redução no escoamento superficial e na disponibilidade de recursos hídricos, além de sofrerem com os processos de desertificação, pela degradação das terras pela temperatura e pelo homem. Os processos hidrológicos serão afetados e podem significar diferentes tipos de prejuízos para as comunidades que vivem nessas regiões. Por exemplo, é provável que ocorra aumento da salinização da água subterrânea superficial em virtude da elevação da evapotranspiração (Bates et al., 2008). Haverá mudanças também nos regimes das chuvas onde nas melhores expectativas haverá chuvas médias, mas que não conseguirão manter a vegetação ou chuvas médias a intensas, mas que causarão erosão e dificuldade de manutenção da cobertura vegetal. Além disso, nas bacias hidrográficas dessas regiões, as consequências de mudanças no regime de vazões podem trazer prejuízos para a geração de energia hidroelétrica, manutenção de projetos de irrigação e abastecimento da população (Bates et al, 2008).

No Nordeste Brasileiro, região caracterizada em sua maior parte como semiárida, com grande variabilidade espacial e temporal das precipitações e elevada taxa de evaporação, estudos sugerem que as ações antrópicas e as mudanças climáticas globais agiriam, conjuntamente, para levar o sistema climático a um estado de equilíbrio mais seco que o atual, com efeitos sérios no balanço hidrológico e de nutrientes em ambientes naturais (Oyama & Nobre, 2004). Com o aumento da temperatura, é estimado que meio

milhão de pessoas deixem o Nordeste até 2050, já que a agricultura e pecuária estarão cada vez menos viáveis. Esse aumento de temperatura causará redução de chuvas, redução de 15 a 20% das vazões do Rio São Francisco, a vegetação da caatinga será uma vegetação típica de zonas áridas, as chuvas serão torrenciais e concentradas e a diminuição de águas de lagos, açudes e reservatórios (Marengo, 2008).

As transferências de água e de energia dos diferentes ecossistemas serão afetadas pelas mudanças climáticas, no entanto, ainda, existe uma falta de informações detalhadas caracterizando essas trocas entre a atmosfera e alguns ecossistemas de regiões tropicais, tais como, as pastagens. Esse ecossistema engloba aproximadamente 32% de toda vegetação natural do globo terrestre (Parton et al., 1988), além de contribuírem entre 18-32% da produção mundial (Ghannoum, 2000).

No Brasil, segundo dados do Censo Agropecuário de 2006 do IBGE, existem aproximadamente 172 milhões de hectares cultivados com pastagens (naturais e plantadas). No estado de Pernambuco a área ocupada com pastagens é de 2.506.730 ha, já a área ocupada por pastagens na mesorregião do Agreste Pernambucano é de 1.066.776 ha, sendo que 276.613 ha estão situados na microrregião de Garanhuns (IBGE, 2006).

Segundo dados da CONAB (2013), o Brasil tem 53,6 milhões de hectares cultivados com milho. Em divulgação de um relatório do MAPA, o Brasil encontra-se como terceiro maior produtor mundial de milho, com uma produção estimada de 186,5 milhões de toneladas na safra de 2012/2013. Em Pernambuco, foi cultivado uma área de 94,5 mil hectares de milho, com uma produção de 15,8 mil toneladas para a mesma safra. O maior destino dessa produção não é para consumo humano e sim animal, na produção de rações.

Numa escala global, estima-se que as pastagens e os prados contribuam com cerca de 23% para o armazenamento anual de dióxido de carbono na biosfera (Goudriaan, 1995). Contudo, os prados e as pastagens têm sido os ecossistemas menos estudados, e como são frequentemente submetidos a uma larga variedade de práticas de gestão, as estimativas do seu potencial de captura global podem ter elevadas incertezas. Devido a isso, os pesquisadores acreditam que parte do potencial de captura de dióxido de carbono dos ecossistemas terrestres, de origem desconhecida, pode estar associado a estes ecossistemas. Portanto, o seu estudo tem especial relevância (Aires, 2007).

Apesar de ser uma cultura bastante pesquisada, o milho tem sido pouco estudado quando se trata da sua relação com o dióxido de carbono, em destaque quanto de carbono a cultura poderia capturar. Acredita-se que com o crescimento tecnológico da agricultura, desenvolvimento de novas variedades, e o uso delas em rotações ou como culturas pioneiras antes da instalação da cultura definitiva, o milho poderá sequestrar grandes quantidades de carbono (Verma et al., 2005).

Na interação entre atmosfera e superfície e um processo turbulento de mistura são formados vórtices que se deslocam na horizontal e vertical de forma aleatória, sendo que o vento carrega essas massas de concentrações mais altas ou mais baixas para cima e para baixo. São através desses vórtices que são medidas as trocas totais de CO₂, H₂O e calor sensível no ecossistema, por um sistema chamado covariância dos vórtices turbulentos (Eddy Covariance) ou correlação dos turbilhões; é através desta técnica que se prova quando um ecossistema é fonte ou sumidouro de carbono (Burba & Anderson, 2010).

Este método permite a medição dos fluxos de água e de CO₂ do ecossistema-atmosfera. Os analisadores de gás infravermelho (mais conhecidos como IRGAs) são utilizados para medir as concentrações de CO₂ e H₂O através do sistema de caminho aberto ou caminho fechado. O sistema de caminho aberto requer menor manutenção e requer menor quantidade de energia, enquanto que o de caminho fechado requer uma maior atenção, já que precisa de manutenção regularmente (Haslwanter et al, 2009).

Gilmanov et al. (2007) utilizando dados de várias pastagens da Europa, com o método da correlação dos turbilhões, encontraram que na maioria dos experimentos o sistema de caminho aberto funcionou em áreas mais secas; já em áreas mais úmidas, foi recomendado o uso tanto do caminho aberto quanto do caminho fechado ao mesmo tempo, ou somente o de caminho fechado.

Li et al (2008), numa área cultivada com milho na China, fizeram uma comparação entre os métodos da correlação dos turbilhões e do balanço hídrico para determinar a ET dessa cultura. Esses autores encontraram que a correlação entre a ET medida pelo balanço hídrico e a medida pela correlação dos turbilhões foi de 0,98, mostrando que o método da correlação dos turbilhões poderia ser utilizado pela sua maior acurácia. Ainda nas mesmas condições, Ding et al (2010), compararam o método da correlação dos turbilhões com o do

lisímetro, e chegaram a conclusão de que o método da correlação dos turbilhões poderia ser utilizado para medir a ET na região árida da China.

Suyker et al (2004), comparando milho irrigado e de sequeiro, mediram quanto de carbono seria capturado por essa cultura, utilizando o método da correlação dos turbilhões. Como resultado, encontraram uma pequena diferença na troca de carbono entre o milho irrigado e o de sequeiro, explicado pelo estresse hídrico sofrido pelo segundo, e também o fato de o milho ter se desenvolvido menos que na área irrigada.

Frank et al. (2002) falam da importância das pastagens de modo geral para o mundo, já que por ter um sistema radicular muito desenvolvido são ricas em carbono orgânico, também criam um sistema ideal para os microrganismos e se mostram importantes na captação de CO₂. Esses autores comparam os fluxos de CO₂ numa planície sem pastagem, numa com pastagem e noutra com trigo nos primeiros estágios (mais conhecido como erva de trigo). É notado nos resultados, a importância da umidade do solo e da temperatura do solo para o fluxo de carbono, que variou de acordo com o clima e o tipo de cultivo. O maior valor encontrado do fluxo de carbono foi de 6,9 g C m⁻² d⁻¹ para a pastagem.

No Brasil, estudos dessa natureza, analisando os fluxos de CO₂, água e energia em pastagens, ficaram mais restritos ao Cerrado e Amazônia (von Randow et al., 2004; Ruhoff et al., 2009; Silva Júnior et al., 2013), sendo que na região nordeste praticamente inexistem trabalhos. Nesse sentido, um dos poucos estudos em área de caatinga, medindo continuamente os fluxos de CO₂, água e energia, durante as estações seca e chuvosa, foi o realizado por Oliveira et al. (2006). Eles encontraram baixos valores de fluxo de calor latente, tanto na estação seca quanto na chuvosa, e que a caatinga pode ser um sumidouro (na estação chuvosa e no início da estação seca) ou uma fonte (na estação seca) de CO₂ atmosférico. No entanto, esse estudo foi realizado apenas em área de caatinga.

Diante disso, esse estudo teve como objetivo geral medir os fluxos de CO₂, água e energia num consórcio braquiária-milho, em São João, agreste de Pernambuco. Os objetivos específicos incluem: analisar a variação sazonal da evapotranspiração e a transferência líquida de carbono do consórcio, além de quantificar a variação sazonal da produção de biomassa da *Brachiaria decumbens* e da cultura do milho e relacioná-la com os fluxos de CO₂ e evapotranspiração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização, clima, solo da área experimental

As medidas dos fluxos de água, energia e CO₂ foram efetuadas em área cultivada com pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf em consórcio com milho (*Zea mays*), localizada na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, na mesorregião do Agreste Meridional do estado de Pernambuco (Figura 1), com coordenadas geográficas 8° 52' 30'' de latitude sul, 36° 22' 00'' de longitude oeste e altitude de 705 m.



Figura 1. Localização do município de São João no estado de Pernambuco.

De acordo com Ydoyaga et al. (2006), o clima é classificado como As', o que equivale a um clima quente e úmido. A precipitação anual média é de 782,0 mm, sendo o quadrimestre mais chuvoso constituído dos meses de maio a agosto (Silva et al., 2013). O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico (Santos et al., 2012), sendo que a camada de 0-20 cm apresenta classificação textural Areia e de 20-60 cm Areia-Franca.

Em 2012 ocorreu uma das piores secas registradas nos últimos 50 anos na região, e assim, ocorreu destruição da pastagem que havia na área, a qual tinha sido implantada em 2000. Para a recuperação dessa pastagem, o produtor efetuou o plantio de milho (*Zea mays*) em consórcio com a pastagem de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) em 12 de junho de 2013. O espaçamento do cultivo do milho foi de 1,0 m entre linhas e com sete (07) sementes por metro linear. Entre as linhas da cultura do milho foram implantadas duas linhas de braquiária. A Figura 2 mostra a disposição do consórcio milho-braquiária.



Figura 2. Área onde foi realizado o experimento, durante o cultivo do consórcio milho-braquiária no período de 01/05/2013 a 31/12/2013 em São João, PE.

Os objetivos do plantio do milho junto com o braquiária foram: destinar o milho para silagem e implantar pastagem de braquiária. Devido às condições econômicas do produtor e tamanho da área usada (16 ha), não foi realizada a adubação do solo.

O sistema de plantio utilizado, conhecido como ‘Santa Fé’, é um dos mais utilizados pelos agricultores para recuperar a pastagem. De acordo com Alvarenga et al (2006), esse tipo de cultivo é um dos mais vantajosos para recuperação de pastagens.

2.2 Procedimentos Experimentais

2.2.1 Solo

2.2.1.1 Umidade e Temperatura

Para a medição da umidade volumétrica do solo foram instalados sensores automatizados do tipo TDR (modelo CS 615 da Campbell Scientific Inc.) nas seguintes profundidades: 10, 20, 30, 40 e 50 cm. Já para medir a temperatura do solo também foram utilizados sensores automatizados (modelo 108 da Campbell Scientific Inc.) nas mesmas profundidades citadas anteriormente. As leituras desses sensores foram realizadas a cada minuto e a média dos últimos 30 minutos armazenada num sistema de aquisição de dados CR 1000 (Campbell Scientific).

2.2.2 Planta

2.2.2.1 Altura das Plantas e Biomassa

Nas linhas da cultura do milho e na área com braquiária, utilizando-se uma trena, foi feito um quadrado de 1m² e todo o material vegetal que havia ali foi coletado. Antes de se coletar o milho, foi medido a sua altura e após foi coletado a planta inteira (parte aérea e raiz), os quais foram colocados em sacos plásticos e levados ao Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As plantas foram separadas em folhas, colmos, raiz e espigas (quando existia), sendo armazenadas em sacos de papelão e devidamente pesadas. No total foram feitas sete coletas para o milho, entre os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro de 2013. A última coleta foi realizada no dia 13/09/2013 e logo após o milho foi colhido, restando só a pastagem. Na pastagem só foram feitas cinco coletas, por causa da diferença de tempo de germinação entre a braquiária e o milho.

Para a coleta da braquiária, a planta também foi coletada inteira (parte aérea e raiz), e as amostras foram colocadas em sacos plásticos e lavadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As plantas foram separadas em folhas, colmos e raiz; logo após elas foram devidamente pesadas e depois colocadas em sacos de papelão.

Após pesagem, as amostras tanto do milho quanto da braquiária foram depositadas numa estufa de circulação forçada de ar por 72 horas, a 65 °C. Ao final das 72 horas a matéria seca foi pesada.

Foram avaliados para as duas culturas: massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR). Além disso, foram determinadas a massa seca total (MST), razão de massa seca da parte aérea (RMSA) e razão da área foliar (RFA), por meio das equações abaixo:

$$MST = MSA + MSR \quad (1)$$

$$RMSA = \frac{MSA}{MST} \quad (2)$$

$$RFA = \frac{AFO}{MST} \quad (3)$$

Em que MSA é a massa seca da parte aérea (g), MSR é a massa seca de raízes (g) e AFO é a área foliar (cm²).

2.2.2.2 Índice de Área Foliar e Área Foliar

Para medir a Área foliar foi utilizado medidor automático modelo LICOR – LI300, e medidas as áreas de todas as folhas de todas as amostras de milho e para a braquiária foi feita uma amostragem aleatória das folhas e depois foi extrapolado esse valor de acordo com a quantidade de folhas de cada ponto coletado. Foi utilizada a seguinte equação para calcular o Índice de Área Foliar:

$$IAF = \frac{AFT}{AS} \quad (4)$$

Sendo AFT, a área foliar (m²) e AS, a área de solo, que na referida pesquisa foi de 1 m².

2.2.3 Atmosfera

No centro da área foi instalada uma torre metálica para suporte de sensores eletrônicos de alta frequência, que obtiveram medidas de turbulência, e instrumentos eletrônicos de baixa frequência, que mediram diversas variáveis meteorológicas. A torre foi equipada com sensores para medidas de velocidade (014A, Met One) e direção do vento (024A, Met One), umidade e temperatura do ar (HMP45C, Vaisala), precipitação pluviométrica (TB4, Hydrological Services), conjunto de instrumentos para medidas de radiação de onda curta (Piranômetro CM3, Kipp & Zonen), onda longa (pirgeômetro CG3, Kipp & Zonen) e saldo de radiação (CNR1 Lite, Kipp & Zonen). Os dados desses sensores

foram lidos a cada minuto e seus valores médios e totais a cada 30 minutos foram armazenados em uma central de aquisição de dados. As medidas de alta frequência das componentes do vento, temperatura do ar e concentrações de vapor de água e de CO₂ foram realizadas com o sistema de covariância dos vórtices turbulentos, composto por um analisador de CO₂ e H₂O de caminho aberto (LI7500, Licor) e um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific). Esses dados foram lidos a cada 0,25 segundos (4 vezes por segundo) e armazenados por uma central de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific).

2.2.3.1 Balanço de Energia – Método da Covariância dos Vórtices Turbulentos (Eddy Covariance)

O cálculo dos fluxos de calor latente (LE, Wm⁻²), sensível (H, Wm⁻²) e de dióxido de carbono (FCO₂, μmol m⁻² s⁻¹) foi realizado utilizando a técnica da covariância dos vórtices turbulentos. Para tanto foi utilizado um programa desenvolvido pelo CPTEC/INPE. 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). Os fluxos de CO₂, de calor sensível e calor latente foram obtidos das equações 5, 6 e 7, respectivamente:

$$FCO_2 = \rho \overline{w'c'} \quad (5)$$

Em que: FCO₂ é o fluxo de CO₂, ρ é a densidade do ar, w' é a velocidade vertical do vento e c' é a concentração do dióxido de carbono.

$$H = \rho c_p \overline{w'T'} \quad (6)$$

Em que H é o fluxo de calor sensível, Cp é o calor específico do ar à pressão constante, T' é a temperatura do ar.

$$\lambda E = \rho \lambda \overline{w'q'} \quad (7)$$

Em que LE é fluxo de calor latente e λ é o calor latente de vaporização.

Foi aplicada a rotação de coordenadas dos vetores de vento e correções de resposta de frequência de acordo com o método descrito por Moore (1986), enquanto as correções das covariâncias e variâncias, devido às flutuações de umidade, foram realizadas de acordo com a metodologia de Schotanus et al. (1983). O cálculo da evapotranspiração foi feito por meio do fluxo de calor latente dividido pelo calor latente de vaporização, tomado como constante (2,45 MJ kg⁻¹).

Tentando estimar como os processos fisiológicos influenciam a troca de água, foi calculado o fator de desacoplamento (Ω), usando a equação de acordo com McNaughton & Jarvis (1983):

$$\Omega = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1 + g_a/g_c} \quad (8)$$

Em que Δ é a declividade da saturação da pressão de vapor da água em função da temperatura do ar (kPa °C⁻¹); γ é a constante psicométrica (kPa °C⁻¹); g_a é a condutância aerodinâmica (m s⁻¹); g_c é a condutância do dossel (m s⁻¹).

A g_a foi calculada utilizando a equação de Monteith-Unsworth:

$$g_a = \left(\frac{a}{u_*^2} + 6.2u_* - 0.67 \right)^{-1} \quad (9)$$

Em que u_* é a velocidade horizontal do vento (m s⁻¹); u_*^2 é a velocidade de fricção (m s⁻¹).

A g_c foi calculada utilizando a equação inversa de Penman-Monteith.

$$g_c = \frac{\gamma LE g_a}{\Delta(Rn - G) + \rho c_p DPV - LE(\Delta + \gamma)} \quad (10)$$

Em que Rn é o saldo de radiação (W m⁻²); G é o fluxo do calor do solo (W m⁻²); ρ é a densidade do ar (kg m⁻³); C_p é o calor específico do ar (J kg⁻¹ K⁻¹); DPV é o déficit de pressão de vapor (kPa).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atmosfera, solo, índice de área foliar e acumulação de biomassa

O experimento compreendeu o período de 01/05/2013 à 31/12/2013, totalizando 244 dias. Durante o experimento, que ocorreu em sua maioria durante a estação úmida de São João, ocorreu uma temperatura máxima do ar de 25,2°C, com mínima de 17,4°C e uma média de 20,4 °C. Observa-se que houve pouca variação de temperatura no período estudado (Figura 3a). Em Rondônia, na região Amazônica, von Randow et al. (2004) também encontrou uma variação sazonal na temperatura do ar em pastagens, com os menores valores no período de Junho e Julho.

A temperatura para o desenvolvimento do milho situa-se numa ampla faixa, indo de 0 a 40°C, sendo que para a germinação sua temperatura base é de 8°C, já para seu florescimento e maturação as temperaturas ideais são em torno de 25°C, temperatura menor que 19 °C já prejudicaria esta fase de desenvolvimento da espécie (Pascale, 1953; Barbano et al., 2000; Brunini et al., 2001). Temperaturas acima de 32°C podem reduzir a germinação dos pólenes (Herrero & Johnson, 1980). As gramíneas de clima tropical possuem uma melhor faixa de desenvolvimento entre 30 a 35 °C, abaixo de 10 a 15°C o desenvolvimento é quase nulo (Mcwilliam, 1978). Assim sendo, neste estudo, verifica-se que a temperatura do ar não foi um fator limitante ao desenvolvimento do milho.

Observa-se, ainda na Figura 3a, que o déficit de pressão de vapor (DPV) teve médias de 0,42 para o mês de Maio, 0,30 kPa para o mês de Junho, 0,27 kPa para o mês de Julho, 0,32 kPa para o mês de Agosto, 0,46 kPa para o mês de Setembro, 0,60 kPa para o mês de Outubro, 0,66 kPa para o mês de Novembro e 0,81 kPa para o mês de Dezembro. O comportamento do DPV esteve associado com a temperatura do ar, ou seja, em períodos de menor temperatura, ocorreram os menores valores de DPV. O contrário ocorreu no período de maior temperatura. Krishnan et al. (2012) avaliaram a variabilidade sazonal e interanual do balanço de energia de duas gramíneas na região semiárida do Arizona e encontraram que o DPV variou de 1,47 a 1,98 kPa, com os maiores valores ocorrendo nos períodos de temperaturas mais elevadas.

A precipitação pluvial (Figura 3b) teve um valor total de 329,8 mm o que corresponde a 64,7% do total normalmente precipitado na região nessa época do ano. A precipitação máxima, 21,7 mm, ocorreu no dia 03/07/2013. O mês em que houve maior

precipitação foi Julho (76,2 mm), e o segundo foi junho (54,7 mm). Esse comportamento da precipitação pluvial é o normalmente encontrado para essa região.

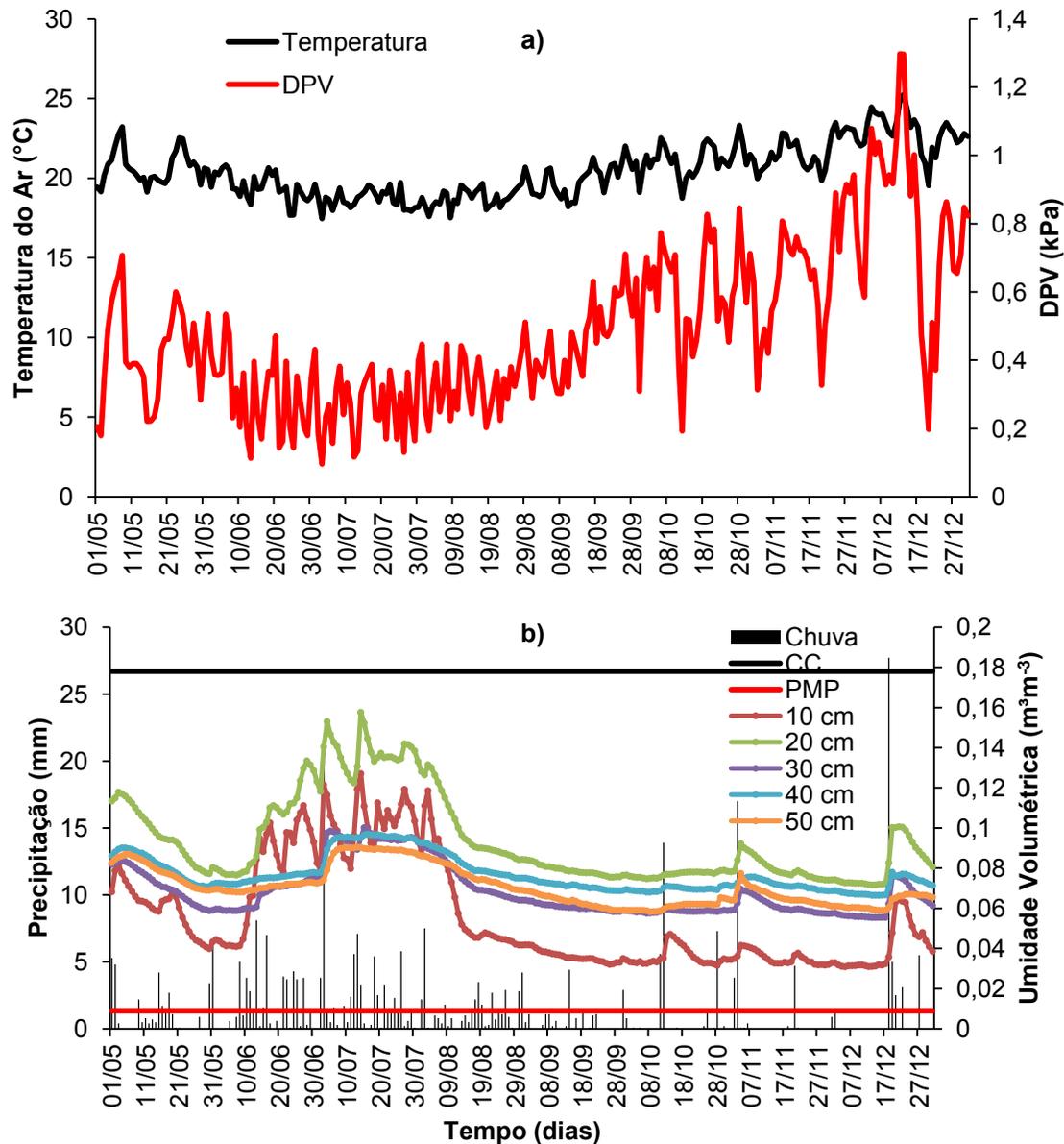


Figura 3. Evolução diária da temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (a), da precipitação pluvial e umidade volumétrica do solo (b) durante o período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE. As linhas horizontais na Figura b são a capacidade de campo (linha preta) e o ponto de murcha permanente (linha vermelha)

Moraes et al. (2005), realizaram um experimento em Viçosa-MG, com *Brachiaria decumbens* Stapf., durante os meses de Julho, Agosto e Setembro, e encontraram que a braquiária apresentou um menor desenvolvimento durante o mês de setembro, que teve a maior precipitação (30 mm) e as maiores temperatura mínima e máxima, em comparação com os meses de Julho e Agosto. Niquice (2006), ao fazer uma média histórica da precipitação pluvial entre os anos de 1961 a 1998, encontrou as menores produtividades do milho em sequeiro nos anos em que houve menores precipitações, como em 1982, quando houve uma seca. Ela concluiu que uma precipitação anual para a área (distrito de Chókwé) menor que 300 mm resultaria numa produção de milho bastante prejudicada.

A umidade do solo (Figura 3b) apresentou os maiores valores nos meses de junho e julho e os menores de setembro a dezembro, em concordância com os dados de precipitação pluvial. Observa-se, também, que as profundidades de 10 e 20 cm foram as que tiveram maiores variações na umidade volumétrica do solo. Isso pode ser devido a vários fatores, como: maior quantidade de radiação solar chegando nessas camadas, causando maior evaporação, e maior absorção de água pelas culturas. Por serem gramíneas, tanto a braquiária quanto o milho têm a maior densidade de suas raízes nas camadas mais superiores do solo, fazendo com que ocorra maior absorção de água nessas camadas. Silva et al. (2014) realizou experimento na mesma área experimental e encontrou que mais de 90% do sistema radicular da braquiária se localizou na camada de 0-20 cm.

Todos os fatores mencionados acima (temperatura do ar, DPV, precipitação pluvial e umidade do solo) demonstraram um ciclo sazonal. Nos meses mais úmidos (Maio, Junho, Julho e Agosto) ocorreu menor temperatura do ar, menor DPV, com maior umidade do solo e eventos mais frequentes de chuva. O inverso ocorreu durante o mês de setembro, outubro, novembro e dezembro. Esta variação sazonal nesses fatores meteorológicos e de solo também foi encontrada por vários autores (Aires et al., 2008; Chen et al., 2009; Jongen et al., 2011; Meirelles et al., 2011), que estudaram os fluxos de água e de energia em pastagens de várias regiões do mundo.

Em relação ao índice de área foliar (IAF), observa-se que o maior valor foi obtido na cultura do milho, aos 48 dias após o plantio (DAP), com $2,59 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, o que é esperado, já que o milho é uma planta de maior porte quando comparado com a braquiária, que

obteve maior IAF aos 93 DAP, com 0,63 m² m⁻² durante o consórcio e aos 182 DAP (0,68 m² m⁻²) no cultivo solteiro (Tabela 1).

Tabela 1. Índice de Área Foliar (IAF) do milho e da braquiária no período de 12/06/2013 a 11/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.

DAP (dias após o plantio)	IAF (m ² m ⁻²)		Biomassa (kg ha ⁻¹)	
	Milho	Braquiária	Milho	Braquiária
24	0,27		198,2	
43	1,81		2.087,6	
48	2,59	0,06	2.969,5	135,1
55	2,24	0,05	3.851,4	287,6
72	1,40	0,15	3.141,7	632,5
86	0,62	0,51	2.999,1	1.992,0
93	0,57	0,63	3.598,0	2.922,2
142		0,39		1.797,9
162		0,60		2.037,2
182		0,68		1.503,3

Portes et al (2000), ao estudarem braquiária em consórcio com milho encontraram IAF de 1,5 m² m⁻² aos 82 dias após o plantio, vale ressaltar que na pesquisa desses autores ocorreu adubação e calagem do solo. Gimenes et al (2010), num consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*, encontraram valores de IAF de 4,45 m² m⁻². Menores valores de IAF obtidos em nossa pesquisa podem ser explicados devido o solo não ter sido adubado.

Durante o experimento, devido à diferença entre a emergência do milho e da braquiária, foram feitas sete coletas para o milho e cinco para a braquiária. A maior biomassa para o milho foi obtida no dia 06/08/2013, aos 55 DAP (dias após o plantio) com valor de 3.851,4 kg ha⁻¹. Para a braquiária a maior biomassa foi de 2.922,2 kg ha⁻¹ no dia 13/09/2013 (93 DAP) (Tabela 1).

O IAF foi uma forma que os pesquisadores encontraram para relacionar produtividade e arquitetura das plantas. Folhas de plantas como gramíneas (milho, braquiária, etc.), por serem eretas absorvem menos luz, mas não promovem tanto

sombreamento, contudo por estarem bem distribuídas aumentam a eficiência fotossintética. Brown & Blaser (1968), foram os primeiros a usar esse índice com plantas forrageiras e manejo do pasto.

Foi perceptível também que o maior acúmulo de biomassa ocorreu nos colmos no milho, após os 72 dias após o plantio (DAP), já para a braquiária o mesmo ocorreu durante todo o consórcio, com exceção aos 142 DAP, pois havia sido feita a colheita do milho, mas logo em seguida é perceptível a recuperação da mesma aos 162 DAP. Aos 182 DAP, devido à baixa umidade, aumento da temperatura e começo da pastejo, a braquiária apresentou uma massa menor. As variações das massas no milho são devido a manchas de solo presente na área, o que levou a um cultivo desuniforme no tamanho (Figura 4).

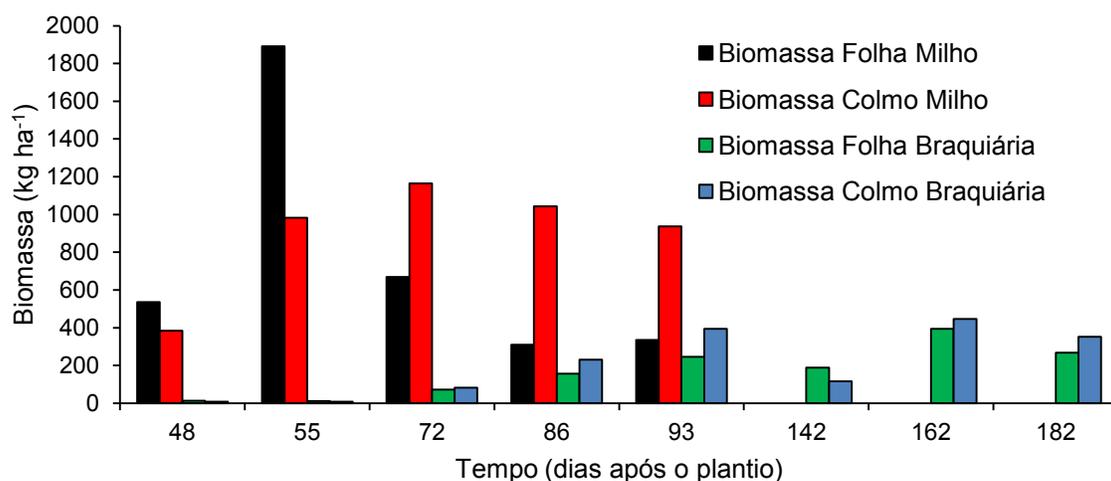


Figura 4. Massa seca dos colmos e das folhas em milho e braquiária no período de no período de 12/06 a 11/12/2013 em São João, PE.

Borghi et al. (2007), num consórcio de milho com *Brachiaria Brizantha*, encontraram em sua pesquisa que na época de inverno, ocorre uma competição entre a braquiária e o milho pela radiação, e isso estimulou mais o crescimento das folhas do que do colmo. Portes et al (2000), observaram que no cultivo solteiro da braquiária houve maior desenvolvimento dos colmos do que das folhas. Na nossa pesquisa, isso ocorreu para o milho isso foi notado somente aos 48 e 55 DAP (dias após o plantio), que foi quando o milho já estava de fato em consórcio com a braquiária, mas o mesmo não ocorre nas coletas

seguintes. Tanto no consórcio quanto no cultivo solteiro, a braquiária apresenta uma maior massa para os colmos do que para as folhas, com exceção aos 142 DAP.

3.2 Balanço de energia

Na Figura 5 tem-se o fechamento do balanço de energia diário durante o período experimental. Esse fechamento do balanço de energia é necessário quando se realizam pesquisas com a metodologia da correlação dos turbilhões (eddy covariance), uma vez que os quatro termos (R_n , G , H e LE) do balanço de energia são medidos separadamente. O fechamento é feito por meio da relação entre a energia disponível ($R_n - G$) e a soma dos fluxos de calor latente e sensível ($LE + H$). Nesta pesquisa foi encontrado um coeficiente de determinação de 0,41, o que está dentro do intervalo de valores encontrados por muitos pesquisadores. Como exemplo, pode-se citar Castellví et al (2008), que ao estudarem o fechamento do balanço de energia em diversas pastagens, encontraram valores de 0,41 a 0,71 de R^2 , bem como Wilson et al. (2002), em pesquisa realizada com dados de mais de 22 lugares da rede FLUXNET, encontraram valores de R^2 variando de 0,53 a 0,99.

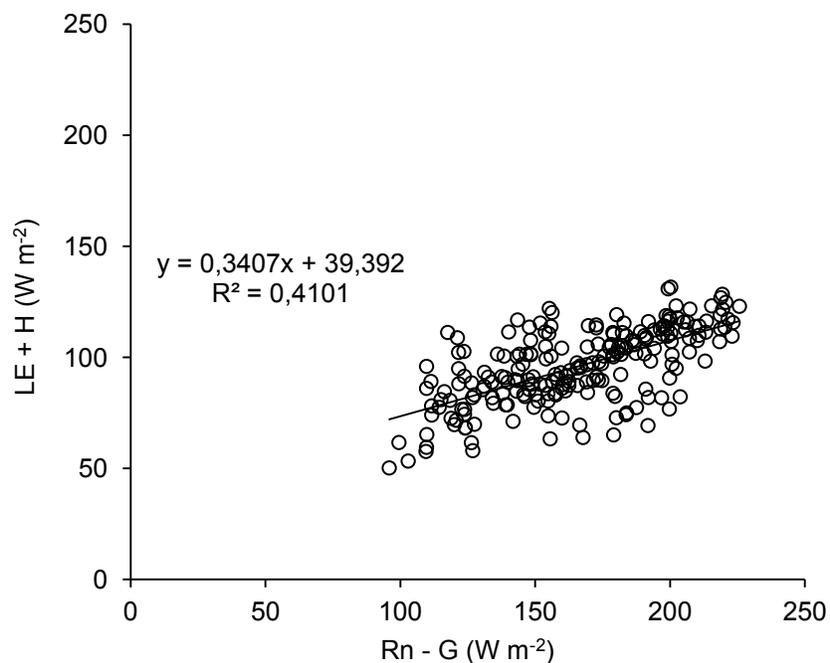


Figura 5. Fechamento do balanço de energia no período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.

De acordo com Mahrt (1998), existem várias razões para ocorrer problemas no fechamento do balanço de energia, dentre elas pode-se citar: problemas nas fontes dos vários fluxos medidos próximos a superfície, divergência de fluxos, erros de medição dos sensores devido à distância, frequência de resposta, problemas de alinhamentos dos sensores, dentre outros.

A variação diária dos fluxos de energia, quais sejam: saldo de radiação (Rn) e fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), é apresentada na Figura 6.

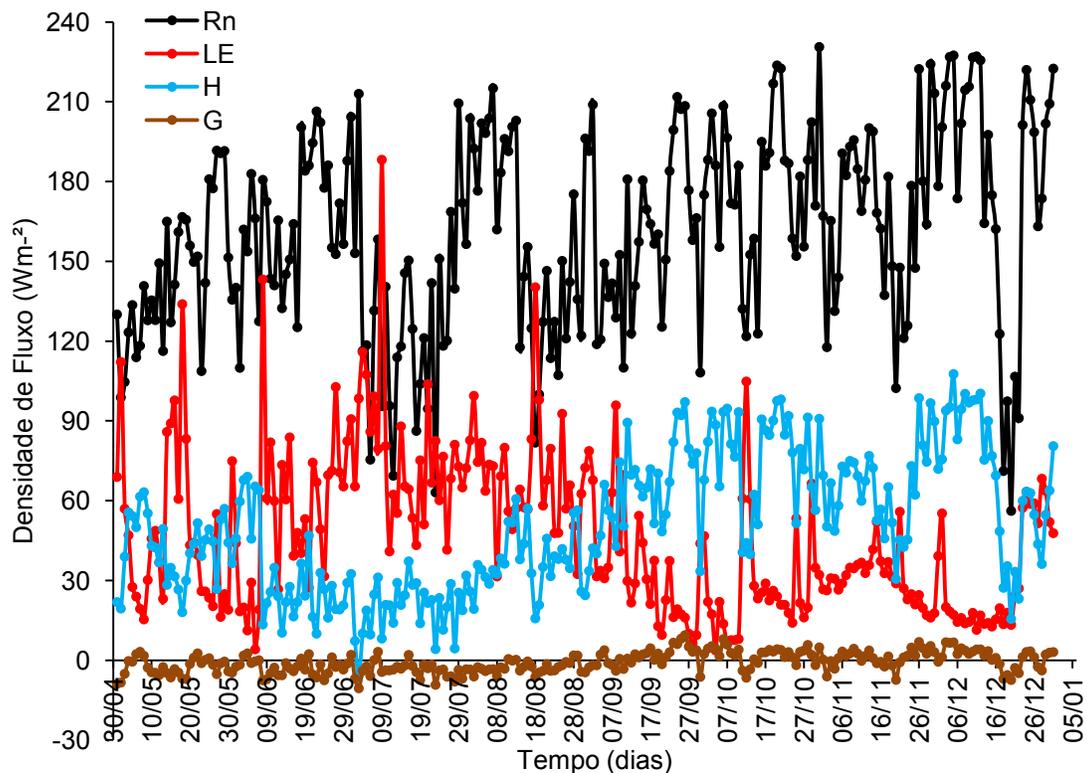


Figura 6. Variação diária do saldo de radiação (Rn) e dos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G) durante o período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.

Observa-se que o Rn apresentou maior variação e menores valores no mês de Julho, devido a maior pluviosidade e, provavelmente, a maior nebulosidade ocorrida nesse mês. Os maiores valores ocorreram nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro. O valor médio de Rn foi $97,01 W m^{-2}$. Aires et al. (2008) também encontrou o mesmo padrão

de variação do Rn, quando mediram os fluxos de energia numa pastagem composta de plantas C3/C4 no sudeste de Portugal.

Em relação ao fluxo de calor no solo (G), observa-se que os valores diários variaram de 9,45 a -10,52 W m⁻² (0,81 a -0,92 MJ m⁻² d⁻¹), e valor médio de -0,72 W m⁻² (-0,06 MJ m⁻² d⁻¹). San José et al. (1998), determinaram os fluxos de energia em *Brachiaria decumbens* na Venezuela e encontraram que o G teve um valor médio de 0,4 MJ m⁻² d⁻¹.

A variação dos fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H) acompanhou a variação da precipitação pluvial e, conseqüentemente, da umidade do solo (Figura 2b), uma vez que nos períodos de maior disponibilidade hídrica (maior umidade do solo) o LE foi superior ao H, o inverso ocorrendo no final do experimento, quando ocorreu diminuição das chuvas e menor umidade do solo.

Mais de 60% de Rn foi particionado como H e LE, onde a contribuição de G foi muito pequena (Tabela 2). A maior contribuição de G foi durante o mês de Julho (3,54%). Os valores de LE/Rn tiveram maior variação que os de H/Rn, onde a maior contribuição de LE foi durante o mês de Julho, com mais de 60%, e a maior partição do Rn em H foi no mês de outubro (42,11%). Durante todo o período experimental o Rn foi usado em média como 32,27; 31,08; e 2,25% em LE, H e G, respectivamente.

Tabela 2. Valores médios mensais da partição do saldo de radiação (Rn) nos fluxos de calor no solo (G/Rn), latente (LE/Rn) e sensível (H/Rn) no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.

	G/Rn	LE/Rn	H/Rn	Soma
	----- % -----			
Maio	2,50	34,69	29,94	67,13
Junho	2,03	33,73	20,87	56,63
Julho	3,54	64,85	15,52	83,91
Agosto	2,03	47,55	24,68	74,25
Setembro	1,83	22,95	39,75	64,54
Outubro	2,02	18,02	42,11	62,15
Novembro	1,66	19,10	38,12	58,88
Dezembro	2,40	17,30	37,67	57,38
Média	2,25	32,27	31,08	65,60

von Randow et al. (2004) estudaram os componentes do balanço de energia em *Brachiaria brizantha* na Amazônia durante o período de fevereiro de 1999 a setembro de 2002 e encontraram que os maiores valores de H/Rn (44%) ocorreram na estação seca e que a razão LE/Rn foi de 64% e ocorreu durante a estação úmida, corroborando os dados de nossa pesquisa.

Quanto maior for a relação LE/Rn, maior parte da energia está sendo direcionada para o processo de evaporação do solo e transpiração das plantas, ou seja, evapotranspiração (ET); enquanto que quanto maior for a relação H/Rn, mais energia está sendo utilizada para o aquecimento do ar. Desse modo, pelos dados da Tabela 2, vê-se que dos meses de setembro a dezembro foi que maior parte da energia disponível no consórcio milho-braquiária foi usada para o aquecimento do ar, ou seja, como fluxo de calor sensível. Isso pode ser explicado, como já dito anteriormente, pelo começo da estação seca, diminuição do regime de chuvas, e conseqüentemente também da umidade do solo. Krishnan et al. (2012), em experimento com pastagens, também encontraram os maiores valores de H na época de seca.

Além da umidade do solo, outro fator que pode explicar essa menor relação LE/Rn no mês de setembro é a fenologia do milho, o qual se encontrava no período de amadurecimento e iniciando sua senescência, reduzindo sua área foliar (Tabela 1) e, conseqüentemente, sua evapotranspiração.

3.3 Evapotranspiração e fatores controladores

Na Figura 7 são apresentados os dados de evapotranspiração (ET) e evapotranspiração de referência (ET_o) durante o período de 01/05 a 31/12/2013 no consórcio milho-braquiária.

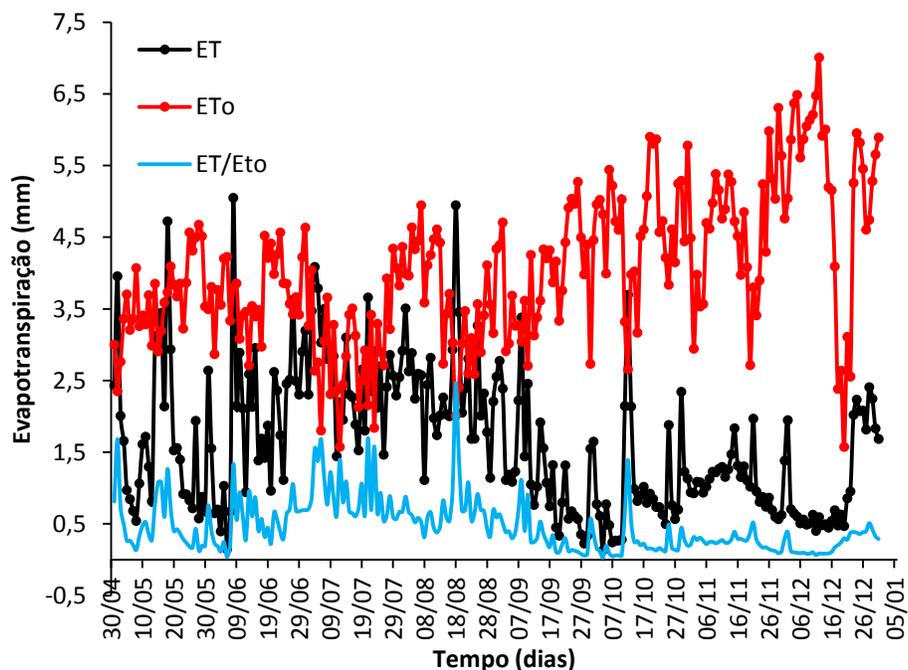


Figura 7. Evapotranspiração (ET), evapotranspiração de referência (ETo) e relação ET/ETo no período de 01/05/2013 a 31/12/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.

A ETo variou de 1,57 a 7,00 mm d⁻¹, com média de 4,03 mm d⁻¹. Os maiores valores de ETo (acima de 3,5 mm d⁻¹) ocorreram no meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, período de maior temperatura do ar e DPV (Figura 3a). De acordo com Borges Júnior et al. (2012), que estimaram a ETo para a microrregião de Garanhuns, o semestre primavera-verão (meses de setembro a março) é caracterizado por uma demanda atmosférica mais elevada (ETo em torno de 4,5 mm d⁻¹), em relação ao semestre outono-inverno (ETo em torno de 3,0 mm d⁻¹). Lima et al. (2013), mediram a ETo na mesma região de estudo dessa pesquisa e encontraram que os valores variaram de 1,9 a 4,1 mm d⁻¹, com média de 3,2 mm d⁻¹, corroborando os resultados desta pesquisa.

Em relação a ET, verificou-se que os valores variaram de 0,13 a 5,05 mm d⁻¹, com valor médio de 1,63 mm d⁻¹. Os maiores valores de ET (4,94 a 5,05 mm d⁻¹) ocorreram no período que tinha maior umidade no solo, meses de julho e agosto. Meirelles et al. (2011) mediram a ET num área de 40 ha plantada com braquiária no Cerrado de Goiás, usando a mesma metodologia dessa pesquisa (correlação dos turbilhões), e encontraram que a ET variou de 1,55 a 4,25 mm d⁻¹, com valor médio de 2,55 mm d⁻¹. Esses autores também encontraram que os valores máximos de ET ocorreram durante o período de maior umidade

do solo. Já San José et al. (1998), na Venezuela, encontraram ET média de braquiária de $3,0 \text{ mm d}^{-1}$, durante a estação chuvosa.

Souza et al (2012), num área de milho consorciada com mucuna, encontraram uma ET total de 437,1 mm e média de $3,64 \text{ mm d}^{-1}$. Li et al (2008), também com milho, encontraram ET total de 476 mm e média de $2,96 \text{ mm d}^{-1}$, numa área de clima temperado. Já ao estudarem duas áreas de pastagem num clima semiárido por quatro anos, Krishnan et al. (2012), encontraram valores de ET variando de 2,8 a $3,6 \text{ mm d}^{-1}$.

Como a região do experimento apresenta precipitação pluvial anual menor que 800 mm e nos meses de junho a agosto em torno de 350 mm (período experimental), e, além disso, o cultivo ter sido em condições de sequeiro, é normal que a cultura passe por algum período de estresse hídrico. A relação ET/ETo pode ser usada para avaliar se o consórcio de milho-braquiária sofreu estresse hídrico, pois, de acordo com Fontana et al. (1991), a relação entre ET e ETo pode indicar se a cultura está sofrendo estresse hídrico, uma vez que essa relação expressa o consumo relativo de água. A razão ET/ETo inclui, além da disponibilidade de água no solo, também a demanda evaporativa da atmosfera (ETo).

A relação ET/ETo média para todo período foi de 0,46 e no final do período experimental do consórcio foi de 0,4. Desse modo, observou-se que no final do experimento, o consórcio milho-braquiária deve ter sofrido estresse hídrico, dado os valores da razão ET/ETo bem abaixo de 1. Dados semelhantes aos dessa pesquisa foram encontrados por Ryu et al. (2008).

Na Figura 8 são apresentados os dados do fator de desacoplamento (Ω), proposto por McNaughton & Jarvis (1983), bem como os da condutância do dossel (g_c) durante o período de 06/08 a 13/09/2013 no consórcio milho-braquiária.

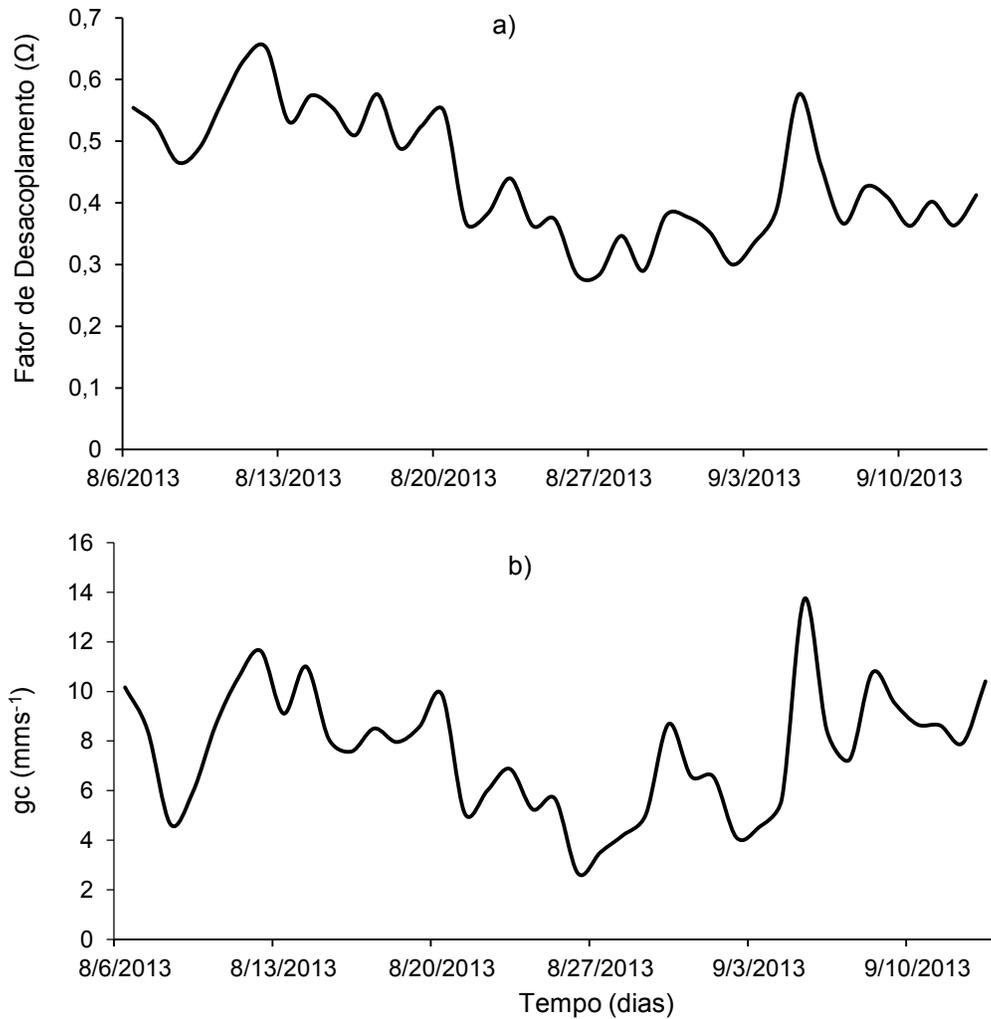


Figura 8. Fator de desacoplamento (Ω) e condutância do dossel (g_c) no período de 06/08/2013 a 13/09/2013 no consórcio de milho-braquiária em São João, PE.

Observa-se que Ω variou de 0,22 a 0,65, com valor médio de 0,44. Os maiores valores (acima de 0,5) foram encontrados no período de maior umidade do solo, enquanto os menores valores (abaixo de 0,4) foram encontrados no período mais seco e quando a cultura do milho estava na sua fase final de desenvolvimento, com menor IAF. Esses menores valores de Ω indicam um forte controle da evapotranspiração pelo DPV, que resulta em forte acoplagem entre a superfície do dossel e a camada limite externa. Em contraste, no período de maior disponibilidade hídrica, os maiores valores de Ω indicam que a ET é controlada principalmente pela energia disponível ($R_n - G$) e, neste caso, a superfície está desacoplada das condições externas (McNaughton & Jarvis, 1983). Valores similares de Ω foram encontradas em pastagens de Portugal (Aires et al., 2008), da China

(Hao et al., 2007; Chen et al., 2009) e do Brasil (Meirelles et al., 2011). Já Steduto & Hsiao (1998), encontraram valores de Ω entre 0,2 e 0,3 para milho em condições de sequeiro e de 0,5 a 0,65 para milho em condições irrigadas.

Em relação à condutância do dossel (g_c), verifica-se que a mesma seguiu o padrão do fator Ω , com os maiores valores (acima de 10 mm s^{-1}) no período de maior disponibilidade hídrica, em concordância com os maiores valores de IAF e de umidade do solo, e os menores (abaixo de $6,0 \text{ mm s}^{-1}$) ocorrendo no período mais seco. O valor médio de g_c foi $7,6 \text{ mm s}^{-1}$ está dentro do intervalo encontrado em pastagens por outros autores (Aires et al., 2008; Chen et al., 2009).

De acordo com Wever et al. (2002), depois que o IAF máximo é alcançado no final da estação de crescimento, a condutância do dossel é controlada principalmente pelas condições ambientais como o armazenamento de água no solo e o déficit de pressão de vapor. O aumento do DPV reduz g_c , entretanto a sensibilidade dessa resposta é afetada principalmente pelas condições de umidade no solo (Aires et al., 2008).

Para investigar o efeito do índice de área foliar (IAF) na partição da energia, e portanto, na evapotranspiração (ET), a relação entre a fração evaporativa (FE) e IAF é mostrada na Figura 9. Nesta figura os valores de IAF são a soma do IAF do milho com o IAF da braquiária, uma vez que os dois estavam consorciados.

Observa-se que quando ocorre um aumento do IAF, a FE também aumenta. Existiu uma forte correlação entre FE e IAF (R^2 de 0,97). As mudanças no IAF explicaram 87% da variação encontrada na FE. Valores similares desta relação (FE e IAF) foram encontradas em pastagens em Portugal (Aires et al., 2008) e na Suíça (Rosset et al., 1997). De acordo com Li et al (2000), uma região com alta FE pode ser indicativo de uma área densamente vegetada ou muito úmida e quando a vegetação começa a diminuir por exemplo com o pastejo de animais, a FE diminui.

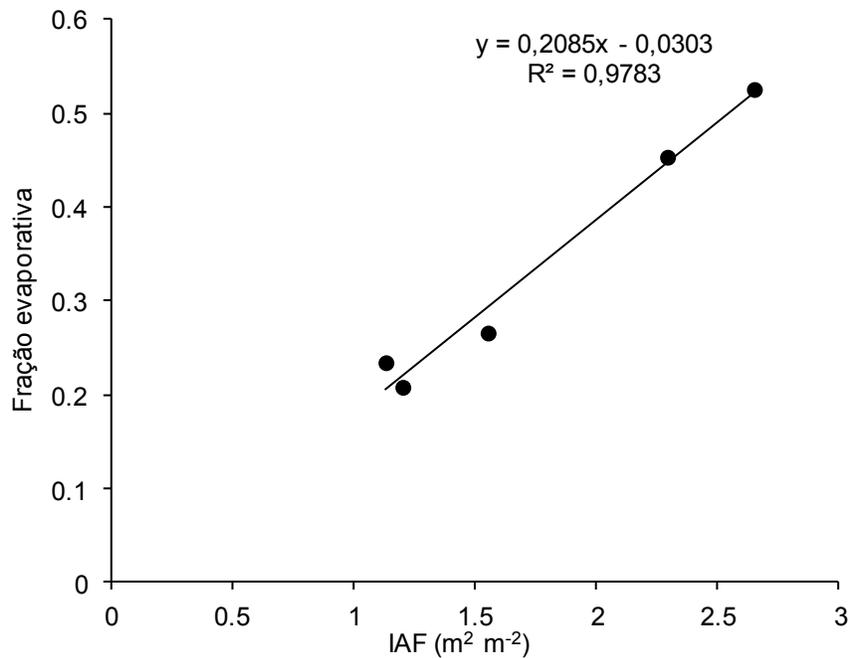


Figura 9. Relação entre a fração evaporativa e o índice de área foliar (IAF) do consórcio milho-braquiária em São João, PE.

3.4 Fluxos de CO₂ (FCO₂)

Os valores diários de fluxo de CO₂ (FCO₂) e de precipitação pluvial são apresentados na Figura 10. Observa-se que, no início do experimento, quando a área se encontrava sem qualquer preparo ou plantio, os fluxos de CO₂ foram positivos com uma média de 0,79 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a área nessa época se apresentou como fonte de carbono, chegando a emitir do dia 01/05 a 27/05 uma quantidade de 0,22 t C ha⁻¹. A área também se mostrou fonte de carbono na época em que só o milho havia emergido, com uma média de 0,07 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o equivalente a 0,05 t C ha⁻¹.

No começo do consórcio, com baixa umidade do solo (Figura 3b), quando o milho se encontrava no seu estágio inicial de crescimento, com baixo IAF, e a braquiária ainda não tinha emergido (Tabela 1), os fluxos de CO₂ foram positivos, com valores chegando a 20,06 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Já quando o milho se encontrava com maior IAF, a braquiária tinha emergido e a umidade do solo era maior, os fluxos de CO₂ foram menores que -5,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, chegando a -20,22 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Da mesma forma que o consórcio, após a colheita

do milho, a pastagem também atua como sequestradora de carbono, chegando a $-1,73 \text{ t C ha}^{-1}$.

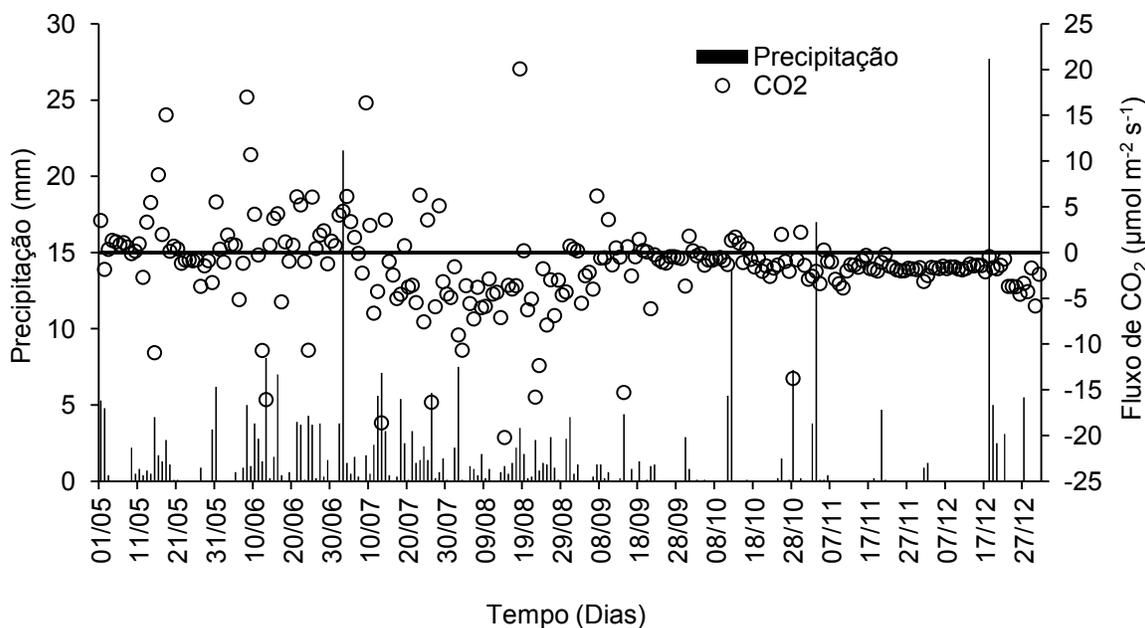


Figura 10. Variação diária da precipitação pluvial e do fluxo de CO₂ no consórcio milho-braquiária em São João-PE.

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão de acordo com Wolf et al. (2011), que mediram os fluxos de CO₂ em pastagens no Panamá e encontraram valores variando de 5,6 (na estação seca) a $-24,5 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, bem como com os de von Randow et al. (2004), que determinaram os fluxos de CO₂ em áreas de pastagens e de floresta na região amazônica e encontraram que os fluxos médios diurnos de CO₂ em pastagens na época úmida ($-11,2 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram maiores que na época seca ($-7,6 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

De acordo com Oliveira et al. (2006), como indicativos das taxas líquidas de fotossíntese e respiração sobre superfícies vegetadas, considera-se que valores positivos de fluxo de CO₂ indicam fluxos de carbono da vegetação para a atmosfera, oriundos de processos respiratórios, e valores negativos indicam fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação, devido à atividade fotossintética. Desse modo, no início do experimento (FCO₂ positivo), a área nua e somente com o milho, no estágio inicial, comportou-se como fonte de CO₂ para a atmosfera e no restante do período experimental (FCO₂ com valores negativos), atuou como sumidouro de CO₂, ou seja, sequestrando carbono da atmosfera.

Esse comportamento do FCO_2 pode ser explicado pela maior umidade do solo e maior IAF da braquiária e do milho (Tabela 1), que fazem com que essas culturas promovam maior absorção de água e, conseqüentemente, maior ET (Figura 7), aumentando sua biomassa (Tabela 1), devido a uma maior fotossíntese, o que gera maior absorção de carbono da atmosfera, ou seja, valores de FCO_2 mais negativos (Figura 10).

Vários autores também encontraram resultados condizentes com o desta pesquisa, a exemplo de Castellví et al (2008) e Li et al. (2008), que encontraram alta correlação entre o fluxo de CO_2 e a umidade do solo.

Considerando todo o período experimental, o valor médio do FCO_2 foi de $-1,41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que corresponde a um sequestro de carbono de $3,59 \text{ t C ha}^{-1}$ durante todo período experimental, e a $14,66 \text{ kg de C ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Vários estudos têm mostrado que o FCO_2 em pastagens tende a ser negativo, ou seja, as pastagens, geralmente, atuam como sumidouro de CO_2 atmosférico. Por exemplo, no Brasil, pode-se citar o estudo de von Randow et al. (2004), que determinaram o FCO_2 em pastagens na Amazônia e encontraram um sequestro de $7,56$ e $5,04 \text{ t de C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, nas estações úmida e seca, respectivamente.

Mas, nem sempre, as pastagens e até mesmo um consórcio se comportam como sumidouro de carbono atmosférico. Por exemplo, Aubinet et al (2009) estudaram o sequestro de carbono numa área com rotações das seguintes culturas: beterraba, trigo, batata e trigo, com consórcio entre as rotações; e mesmo com as rotações, as culturas se mostraram fontes de carbono, diferindo dos resultados dessa pesquisa. Do mesmo modo, Qun & Huizhi (2013) reportaram valor médio de emissão líquida de carbono na ordem de $1,38 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no semiárido da China no período de 2003 a 2009, que teve precipitação anual média de 306 mm.

Essa variação entre as culturas serem fonte ou sumidouro de carbono vai depender de vários fatores relacionados ao clima (maior ou menor precipitação, temperatura, etc.), ao tipo de planta (metabolismo C3 ou C4), ao estado de conservação das pastagens, umidade do solo, etc. Por exemplo, Zhang et al. (2014) mostraram, num estudo de 11 anos com pastagens em região temperada na China, que esse ecossistema tem o potencial de sequestrar carbono, mas a capacidade desse sequestro vai depender do tipo de pastagem e condições ambientais, e que um evento climático extremo, uma seca por exemplo, pode reduzir significativamente esse sequestro de carbono.

4. CONCLUSÕES

A variação diária e sazonal dos fluxos de água e energia (evapotranspiração) no consórcio milho-braquiária foi controlada principalmente pela umidade do solo e índice de área foliar (IAF). Nos períodos de baixa umidade do solo, o déficit de pressão de vapor exerceu papel preponderante no controle da evapotranspiração.

O fator de desacoplamento (Ω) e a condutância do dossel foram fortemente influenciados pela umidade do solo, sendo substancialmente reduzidos quando o armazenamento de água no solo (camada de 0-20 cm) ficou abaixo de 20 mm.

Os fluxos de CO_2 foram afetados pelo IAF e umidade do solo, sendo que o consórcio milho-braquiária atuou com fonte de carbono para a atmosfera nos períodos mais secos e de menor IAF. Nos períodos mais úmidos e de maior IAF atuou como sumidouro de carbono atmosférico. Em todo período experimental, o consórcio sequestrou 3,59 t de C ha^{-1} , o equivalente a 14,66 kg de C $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES, L. M. I. **Fluxos de CO₂, H₂O e energia numa pastagem mediterrânica C3/C4**. Universidade de Aveiro, Portugal. 192p. 2007. Dissertação de Mestrado.
- AIRES, L. M.; PIO, C. A.; PEREIRA, J. S. The effect of drought on energy and water vapour exchange above a mediterranean C3/C4 grassland in Southern Portugal. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p. 565-579, 2008.
- ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK F. J.; CRUZ, J. C.; NETO, M. M. G. **A cultura do Milho na Integração Lavoura-Pecuária**. Circular Técnica 80, Embrapa, Sete Lagoas, MG, 2006.
- AUBINET, M.; GRELE, M. A.; IBROM, A. ; RANNIK, Ü.; MONCRIEFF, J.; FOKEN, T.; KOWALSKI, A. S.; MARTIN, P. H.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C. H.; CLEMENT, R.; ELBERS, J.; GRANIER, A.; GRÜNWALD, 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.
- AUBINET, M.; MOUREAUX, C.; BODSON, B.; DUFRANNE, D.; HEINESCH, B.; SULEAU, M.; VANCUTSEM, F.; VILRET, A. Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 3-4, 11, p. 407-418, 2009.
- BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O. **Acúmulo térmico e duração do subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no estado de São Paulo**. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Uberlândia, 2000. p. 32.
- BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU S.; PALUTIKOF, J. P. Eds. **Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, IPCC. Secretariat, Geneva, 210p. 2008.
- BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.T.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S. & ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 380-390, 2012.
- BORGHI, E.; MOBRICCI, C.; PULZ, A.L.; ONO, E.O.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento de *Brachiaria brizantha* em cultivo consorciado com milho em sistema de plantio direto

- milho em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 91-98, 2007.
- BROWN, R. H.; BLASSER, R. E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**, v. 38, p. 1-9, 1968.
- BRUNINI, O.; ZULLO JR, J.; SILVEIRA PINTO, H.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A. P.; PATTERNIANI, M. E. Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p.519-526, 2001.
- BURBA G. G.; ANDERSON D.J. **A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications**. Edition 2, 2010, 212 p.
- CASTELLVÍ, F.; SNYDER, R. L.; BALDOCCHI, D. D. Surface energy-balance closure over rangeland grass using the eddy covariance method and surface renewal analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 6–7, p. 1147-1160, 2008.
- CHEN, S.; CHEN, J.; LIN, G.; ZHANG, W.; MIAO, H.; WEI, L.; HUANG, J.; HAN, X. Energy balance and partition in Inner Mongolia steppe ecosystems with different land use types. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 11, p. 1800-1809, 2009.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto/2013**. Brasília: CONAB. 2013. 29p.
- DING, R.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, Y.; TONG, L.; SUN, Q. Evaluating eddy covariance method by large-scale weighing lysimeter in a maize field of northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 1, p. 87-95, 2010.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H. & MELLO, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:399-403, 1991.
- FRANK, A. B. Carbon dioxide fluxes over a grazed prairie and seeded pasture in the Northern Great Plains. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, p. 397-403, 2002.
- FRANK, A. B.; LIEBIG, M. A.; HANSON, J. D. Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 9, p. 1235-1241, 2002.

- GHANNOUM, O.; CAEMMERER, S. V.; ZISKA, L. H.; CONROY, J. P. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant, Cell & Environment*, v. 23, p. 931–942, 2000.
- GILMANOV, T. G.; SOUSSANA, J. F.; ALLARDS, A. L.; AMMANN, C.; BALZAROLO, M.; BARZA, Z.; BERNHOFER, C.; CAMPBELL, C. L.; CESCATTI, A.; CLIFTON-BROWN, J.; DIRKS, B. O. M.; DORE, S.; EUGSTER, W.; FUHRER, J.; GIMENCO, C.; GRUENWALD, C.; HASZPRA, L.; HENSEN, A.; IBROM, A.; JACOBS, A. F. G.; JONES, M. B.; LAURILA, G.; LOHILA, A.; MANCA, G.; MARCOLLA, B.; NAGY, Z.; PILEGAARD, K.; PINTER, K.; PIO, C.; RASCHI, A.; ROGIERS, N.; SANZ, M. J.; STEFANI, P.; SUTTON, M.; TUBA, Z.; VALENTINI, R.; WILLIAMS, M. L.; WOHLFAHRT, G. Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 121, p. 93-120, 2007.
- GIMENES, M.J.; REZENDE, D. T.; PRADO, E. P.; POGETTO, M.H.F.A.D.; CHRISTOVAM, R.S.; RAETANO, C.G. **Influência de épocas de semeadura de *Brachiaria Brizantha* no desempenho da cultura do milho em sistema de consórcio.** XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Ribeirão Preto – SP, 2010.
- GOMES, V. M.; FARIA, A. M.M.; DALLEMOLE, D. Emissão de CO₂ derivado do consumo de combustíveis no Brasil e Mato Grosso entre 2000 e 2008: biocombustíveis como estratégia de ajustamento a uma economia de baixo carbono. *Revista de Estudos Sociais*, v. 2, n. 24, p. 129-152, 2010.
- GOUDRIAAN, J. Global carbon cycle and carbon sequestration. In: M.A. Beran (Editor), *Carbon Sequestration in the Biosphere - Processes and Prospects. Global Environmental Change* (vol. 33). Springer, Berlin, pp. 3-18. 1995.
- HAO, Y.; WANG, Y.; HUANG, X.; CUI, X.; ZHOU, X.; WANG, S.; NIU, H.; JIANG, G. Seasonal and interannual variation in water vapor and energy exchange over a typical steppe in Inner Mongolia, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 146, n. 1–2, p. 57-69, 2007.

- HASLWANTER, A.; HAMMERLE, A.; WOHLFAHRT, G. Open-path vs. closed-path eddy covariance measurements of the net ecosystem carbon dioxide and water vapour exchange: A long-term perspective. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 2, p. 291-302, 2009.
- HERRERO, M.P.; JOHNSON, R.R. High temperature stress and pollen viability of maize. **Crop Science**, v. 20, n. 6, p. 796-800, 1980.
- IBGE. **Banco de dados agregados 2006**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 01/10/2012.
- 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
- KRISHNAN, P.; MEYERS, T. P.; SCOTT, R. L.; KENNEDY, L.; HEUER, M. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 153, p. 31-44, 2012.
- LI, H.; YAN, J.; YUE, X.; WANG, M. Significance of soil temperature and moisture for soil respiration in a Chinese mountain area. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 3, p. 490-503, 2008.
- LI, S. G.; HARAZONO, Y.; OIKAWA, T.; ZHAO, H. L.; HE, Z. Y.; CHANG, X. L. Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 102, n. 2-3, p. 125-137, 2000.
- LI, S.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, L. Evapotranspiration and crop coefficient of spring maize with plastic mulch using eddy covariance in northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 11, p. 1214-1222, 2008.
- LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S., HAMMECKER, C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LIRA, C. A. B. O. Calibration of Hargreaves-Samani Equation for Estimating Reference Evapotranspiration in Sub-Humid Region of Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 5, n. 12A, p. 1-5, 2013.
- MAHRT, L. Flux sampling errors for aircraft and towers. **Journal Atmospheric Oceanic Technology**, v. 15, n. 2, p. 416-429, 1998.

- MARENGO, J. A. Possíveis impactos da mudança de clima no Nordeste. **Revista eletrônica de jornalismo científico**, 2008. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao%20=22&id=248>>. Acesso em 05/02/2013.
- MCNAUGHTON, K.G.; JARVIS, P.G. Predicting Effects of Vegetation Changes on Transpiration and Evaporation. In: Kozlowski, T.T. (Ed.), **Water Deficits and Plant Growth**, v.7, p. 1–47, 1983.
- MCWILLIAM, J. R. Response of pasture plants to temperature. In: WILSON, J. R. (Ed.). **Plant relation in pasture**, Melbourne: CSIRO, p. 17-34, 1978.
- MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant–atmospheric coupling in a *Brachiaria brizantha* pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**, v. 66, p. 206–213, 2011.
- MOORE, C.J. Frequency Response Corrections for Eddy Correlation Systems. **Boundary Layer Meteorology**, v. 25, p. 245-269, 1986.
- MORAES, E. H. B. K.; PAULINO, M. F.; ZERVOUDAKIS, J. T.; VALADARES FILHO, S. C.; MORAES, K. A. K. Avaliação qualitativa da pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* Stapf., sob pastejo, no período da seca, por intermédio de três métodos de amostragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 1, 2005.
- NIQUICE, C. A. **Efeito “Multiplicativo” de Água de Chuva para Produção de Milho em Regime de Sequeiro-Distrito de Chôkwé**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2006. 64p. Monografia.
- NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura** (SBPC), v. 59, p. 22-27, 2007.
- 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.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Climatic consequence of a large-scale desertification in Northeast of Brazil: a GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, p. 3203-3213, 2004.

- PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B.; COLE C.V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: A model. **Biogeochemistry**, v. 5, p. 109-131, 1988.
- PASCALE, A.J. Mapa fenológico do milho em la Republica Argentina. **Meteoros**, v. 3, n. 4, p. 383-394, 1953.
- PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, 2000.
- QUN, D.; HUIZHI, L. Seven years of carbon dioxide exchange over a degraded grassland and a cropland with maize ecosystems in a semiarid área of China. **Agriculture, Ecosystems and Environments**. v. 173, p. 1-12, 2013.
- ROSSET, M; RIEDO, M.; GRUB, A.; GEISSMANN, M.; FUHRER, J. Seasonal variation in radiation and energy balances of permanent pastures at different altitudes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 86, p. 245–258, 1997.
- RUHOFF, A.L.; SALDANHA, C.B.; COLLISCHONN, W.; UVO, C.B.; ROCHA, H.R.; CABRAL, O.M.R. Análise multivariada do processo de evapotranspiração em áreas de cerrado e cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, p. 137-146, 2009.
- RYU, Y.; BALDOCCHI, D. D.; MA, S.; HEHN, T. Interannual variability of evapotranspiration and energy exchange over an annual grassland in California. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D9, p. 2156-2202, 2008.
- SAN JOSÉ, J. J.; BRACHO, R.; NIKONOVA, N. Comparison of water transfer as a component of the energy balance in a cultivated grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) field and a savanna during the wet season of the Orinoco Llanos. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 90, p. 65–79, 1998.
- SANTOS, J. C. B.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. C.; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 683-695, 2012.
- SCHOTANUS, P.; NIEUWSTADT, F. T. M.; BRUIN, H.A.R. Temperature measurements with a sonic anemometer and its application to heat and moisture fluxes. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 26, p. 81-93, 1983.

- SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; AZEVEDO, P. V.; COSTA, R. F.; METCALFE, D.B.; GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A. P. Fluxos de CO₂ do solo na floresta nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 85-94, 2013.
- SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 147-157, 2014.
- SILVA, T. L. V.; ANASTACIO, D. T. D.; FERREIRA, F. F.; GUEDES, R. V. S.; COSTA JÚNIOR, V. G.; WANDERLEY SILVA, C. A.; GOMES, J. H. **Boletim do Clima**. Recife: APAC, 2013. 20p. (Boletim de informações climáticas do mês de abril de 2013, Agência Pernambucana de Águas e Clima, 3).
- SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 142-149, 2012.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. Maize canopies under two soil water regimes: III. Variation in coupling with the atmosphere and the role of leaf area index. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 89, n. 3-4, p. 201-213, 1998.
- SUYKER, A. E.; VERMA, S.B.; BURBA, G.G.; ARKEBAUER, T.J.; WALTERS, D.T.; HUBBARD, K.G. Growing season carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 124, n. 1-2, p. 1-13, 2004.
- VERMA, S. B.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K. G.; WALTERS, D. T.; KNOPS, J. M.; ARKEBAUER, T. J.; SUYKER, A. E.; BURBA, G. G.; AMOS, B.; YANG, H.; GINTING, D.; HUBBARD, K. G.; GITELSON, A. A.; WALTER-SHEA, E. A. Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 131, n. 1-2, p. 77-96, 2005.
- VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations

- in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 5-26, 2004.
- WEVER, L. A.; FLANAGAN, L. B.; CARLSON, P. J. Seasonal and interannual variation in evapotranspiration, energy balance and surface conductance in a northern temperate grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 112, p. 31-49, 2002.
- WILSON, K.; GOLDSTEIN, A.; FALGE, E.; AUBINET, M.; BALDOCCHI, D.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CEULEMANS, R.; DOLMAN, H.; FIELD, C.; GRELLE, A.; IBROM, A.; LAW, B. E.; KOWALSKI, A.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MONSON, R.; OECHEL, W.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; VERMA, S. Y. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, p. 223–243, 2002.
- WOLF, S.; EUGSTER, W.; POTVIN, C.; BUCHMANN, N. Strong seasonal variations in net ecosystem CO₂ exchange of a tropical pasture and afforestation in Panama. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 8, p. 1139-1151, 2011.
- YDOYAGA, D. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; CONCEIÇÃO SILVA, M.; SANTOS, V. F.; FERNANDES, A. P. M. Métodos de recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, 2006.
- ZHANG, L.; GUO, H.; JI, G.; WYLIE, B.; GILMANOV, T.; HOWARD, D.; JI, L.; XIAO, J.; LI, J.; YUAN, W.; ZHAO, T.; CHEN, S.; ZHOU, G.; KATO, T. Net ecosystem productivity of temperate grasslands in northern China: An upscaling study. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 184, p. 71-81, 2014.