



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Wilis Neiva Pires

**ANÁLISE DA SAZONALIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA  
CO<sub>2</sub> E DOS ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS EM UMA ÁREA  
DE CAATINGA DEGRADADA NA REGIÃO DA CHAPADA  
DO ARARIPE**

JUAZEIRO – BA  
2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Wilis Neiva Pires

**ANÁLISE DA SAZONALIDADE DOS FLUXOS DE ENERGIA  
CO<sub>2</sub> E DOS ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS EM UMA ÁREA  
DE CAATINGA DEGRADADA NA REGIÃO DA CHAPADA  
DO ARARIPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Agrometeorologia e Ambiente.

Orientadora: Magna Soelma Beserra de Moura

JUAZEIRO – BA  
2014

	Pires, Wilis N.
P667a	Análise da sazonalidade dos fluxos de energia co2 e dos aspectos ecofisiológicos em uma área de Caatinga degradada na região da chapada do Araripe / Wilis Neiva Pires. – Petrolina-PE, 2015. x; 69f.: il. ; 29 cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2015.
	Orientadora: Dra. Magna Soelma Beserra de Moura..
	1. Caatinga - Estudos. 2. Ecofisiologia da caatinga. I. Título. II. Moura, Magna Soelma Beserra. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 581.5

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Wilis Neiva Pires

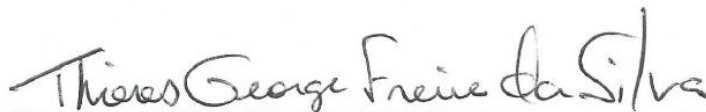
**ANÁLISE DA SAZONALIDADE DOS FLUXOS DE  
ENERGIA E CO<sub>2</sub> E DOS ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS  
EM UMA ÁREA DE CAATINGA DEGRADADA NA REGIÃO  
DA CHAPADA DO ARARIPE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



---

Dra. Magna Soelma Beserra de Moura  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa



---

Dr. Thieres George Freire da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE



---

Dra. Gertrudes Macário de Oliveira  
Universidade do Estado da Bahia - UNEB

Juazeiro, 27 de fevereiro de 2015.

## Dedicatória

*A toda minha família amada, principalmente ao meu pai, minha mãe e minha filha, por todo amor concedido e pela confiança que me foi dada.*

**Dedico.**

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por sempre me dar a força para continuar lutando e enfrentando com fé os empecilhos e obstáculos da vida.

Aos meus Pais Jailson Pires de Oliveira e Maura Batista Neiva de Oliveira que sempre foram meu motivo de força maior, sem eles eu não teria chegado aonde cheguei.

Aos meus irmãos Uilbesson Neiva Pires, Jailson Neiva Pires Junior e meu afilhado Thiaguinho que sempre me deram apoio para seguir minha jornada.

A minha filhinha Valentinne que sempre ao olhá-la tudo se torna tão belo e os sonhos mais fáceis de ser alcançados.

A minha Orientadora Magna Soelma que contribuí de maneira imprescindível na minha formação pessoal e acadêmica. Agradeço pela força, pela paciência e principalmente pela sua compressão. Serei sempre grato.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco por proporcionar o curso e aos professores do Colegiado de Pós Graduação em Engenharia Agrícola.

Aos meus colegas de trabalhos e parceiros da vida Mônica (Bubu), Joabe (O leitor), José Francisco (O Chico), Gilson Dennys, Leyde, Rômulo e a Luciana, entre muitos outros, serei sempre grato pela força e ajudada de cada um de vocês.

A minha família e amigos que dividiram comigo todos os momentos bons e ruins dessa minha jornada.

Aos ilustríssimos colegas do curso do mestrado por compartilhar nesse período momentos de distração e muito empenho, dentre eles Henrique, Sheila, Cintia, Roberto, Saulo, Rubem, Victor, Alisson dentro outros que participaram de forma direta nessa minha jornada acadêmica.

... Meus sinceros agradecimentos.

“... Ê, meu pai  
Olha teu filho meu pai

Ê, meu pai, olha teu filho meu pai  
Ê, meu pai, ajuda o filho meu pai

Quando eu cair no chão segura a minha mão  
Me ajuda a levantar para lutar

Se o medo da loucura nessa estrada escura  
Me afastar da luz que me conduz

Se eu me sentir sozinho ou sair do caminho  
E a dor vier de noite me assustar

“Ê, meu pai, olha teu filho meu pai...”.

Ê Meu Pai  
Raul Seixas

PIRES, W, N. **Análise da sazonalidade dos fluxos de energia co2 e dos aspectos ecofisiológicos em uma área de Caatinga degradada na região da chapada do Araripe.** 2015. X f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

## RESUMO

O principal bioma que recobre a região semiárida é a Caatinga, a qual é constituída por um complexo vegetacional que abrange uma área de aproximadamente 800.000 km<sup>2</sup>, dos quais quase 50% já foram degradados de alguma forma. Em função do clima, a vegetação apresenta adaptações que lhe permite reduzir a transpiração e acumular nutrientes, e dessa forma, revigorar-se rapidamente logo após o início das chuvas, interagindo com a atmosfera e modificando o clima. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar as relações ecofisiológicas e micrometeorológicas em uma área de Caatinga degradada no Araripe Pernambucano. Para tanto, dados micrometeorológicos foram obtidos para o ano de 2013, com base em medições efetuadas por meio de sensores eletrônicos instalados em uma torre micrometeorológica de 8 metros de altura, localizada em uma área com vegetação de Caatinga degradada, no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA (7°27'S; 40°24'W, 828 m) município de Araripina, PE. Em uma campanha realizada no período seco, foram estudadas as trocas gasosas foliares em cinco espécies de maior ocorrência na área (*Passiflora cincinnata*, *Croton heliotropiifolius*, *Pithecolobium multiflorum*, *Mimosa arenosa* e *Anadenanthera colubrina*). Os resultados mostraram que o ano de 2013 na região do Araripe pernambucano apresentou precipitação inferior à média histórica, influenciando no desenvolvimento da vegetação, e por sua vez, em suas relações com a atmosfera. 41% da radiação solar incidente corresponde à radiação fotossinteticamente ativa (PAR); com coeficiente de reflexão para ondas curtas (albedo) variando de 11 a 16,5% e o índice de área foliar entre 0,3 e 2,1 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. Durante o ano de 2013, 45% do saldo de radiação foi utilizado para aquecimento na forma de fluxo de calor sensível (H), com fechamento do balanço de energia igual a 80%. O fluxo de calor no solo (G) representou apenas 1% do saldo de radiação. Estudos mais detalhados das trocas gasosas informam que todas as espécies apresentaram condição de estresse. Todas essas informações contribuíram para que a assimilação de carbono na caatinga degradada seja altamente dependente da ocorrência de chuvas, e responsiva a temperatura do ar e do solo, portando-se, como sumidouro de CO<sub>2</sub> atmosférico durante o primeiro semestre do ano e fonte no segundo.

**Palavras-chave:** relações superfície-atmosfera, fluxos micrometeorológicos, ecofisiologia, Caatinga degradada.



PIRES, W, N. **Seasonality analysis of energy flows co2 and ecophysiological aspects in a Caatinga area degraded in the region of Araripe.** 2015. X f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

### ABSTRACT

The main biome that covers the semi-arid region is the Caatinga, which consists of a vegetation complex that covers an area of approximately 800,000 km<sup>2</sup>, of which nearly 50% have been degraded in some way. Due to the weather, the vegetation presents adaptations that allows you to reduce sweating and accumulate nutrients, and thus, refresh quickly after the onset of the rains, interacting with the atmosphere and changing the climate. The objective of this work was studied ecophysiological and micrometeorological relations in a Caatinga area degraded in Araripe Pernambucano. For this, micrometeorological data were obtained for the year 2013, based on measurements made by means of electronic sensors installed in a micrometeorological tower 8 feet high, located an area of Caatinga vegetation of degraded, in Pernambuco Agricultural Research Corporation - IPA (7°27'S; 40°24'W, 828 m) city of Araripina, PE. In a campaign located in the dry season, the leaf gas exchange were studied in five most common species in the area (*Passiflora cincinnata*, *Croton heliotropiifolius*, *Pithecolobium multiflorum*, sandy *Mimosa* and *Anadenanthera colubrina*). The results showed that the year 2013 in the Araripe region Pernambuco presented precipitation lower than the historical average, influencing the development of vegetation, and in turn, in its relations with the atmosphere. Thus, 41% of the incident solar radiation corresponds to the photosynthetically active radiation (PAR); with reflection coefficient for waves short (albedo) ranging from 11 to 16.5% and the leaf area index between 0.3 and 2.1 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. Thus, during the year 2013, 45% of the net radiation was used for heating in form of sensible heat flux (H), with closure of the energy balance equal to 80%. The heat flux in the soil (G) represented only 1% of the net radiation. More detailed studies of gas exchange report that all species showed stress condition. All of this information contributed to the sequestration of carbon in degraded savanna is highly dependent on rainfall, and responsive air temperature and soil, carrying up, as atmospheric CO<sub>2</sub> sink during the first half of the year and the second source.

**Keywords:** surface-atmosphere relationships, micrometeorological fluxes, ecophysiology, Caatinga degraded.

## SUMÁRIO

	pág.
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Estudos de Caatinga em regeneração.....	12
2.2 Degradação da Caatinga.....	14
2.3 Mudanças climáticas e fluxo de CO <sub>2</sub> .....	15
2.4 Balanço de radiação.....	16
2.5 Balanço de energia.....	17
3. ARTIGOS.....	18
3.1. ARTIGO 1 - SAZONALIDADE DOS FLUXOS DE RADIAÇÃO, ENERGIA, CO <sub>2</sub> E VAPOR D'ÁGUA EM UMA ÁREA DE CATATINGA DEGRADADA NA CHAPADA DO ARARIPE.....	18
3.2. ARTIGO 2 - VARIAÇÃO DIURNA DOS ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE CINCO ESPÉCIES DE CAATINGA EM REGENERAÇÃO NA CHAPADA DO ARARIPE.....	35
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	63
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga recobre o semiárido e estende-se por uma área de aproximadamente 800.000 Km<sup>2</sup>, caracterizando-se por apresentar uma vegetação predominantemente xerófila e decídua. Embora possua grande abrangência, é uma das composições florísticas brasileira menos estudada e protegida, de modo que aproximadamente 42% da vegetação que a compõe já foram intensamente modificadas (CASTELETTI et al., 2004). Sob aspectos gerais, a Caatinga é utilizada de forma extrativista, quando o homem utiliza seus recursos naturais em busca da própria sobrevivência.

Mais especificamente na Região do Araripe Pernambucano, no semiárido do Brasil, a exploração da caatinga se dá, principalmente, em busca de produtos madeireiros. Dessa forma, o ambiente do Araripe pernambucano encontra-se altamente alterado. De acordo com Sa et al. (2011), a utilização da vegetação de caatinga no Araripe com a retirada de sua cobertura vegetal original, produz desequilíbrio no meio ambiente, pois remove a proteção do solo e pode desencadear processos de desertificação. Estes autores observaram que entre 1998-2008 o desmatamento dessa região foi da ordem de 1.143,74 km<sup>2</sup> (16,14%), enquanto que 1.119,77 km<sup>2</sup> (15,80%) da cobertura vegetal se encontram em estágio de regeneração. Sá et al., (2011) mapearam o processo de desertificação no Araripe Pernambucano com um grau muito severo (9,9 km<sup>2</sup> - 0,13%), severo (953,15 km<sup>2</sup> - 13,46%), moderado (2.057,87 km<sup>2</sup> - 29,05%) e fraco (4.063,43 km<sup>2</sup> - 57,36%).

O rápido crescimento das intervenções antropogênicas em áreas nativas por meio dos processos de desmatamento, queimada e da substituição da vegetação nativa, tem chamado atenção para os diferentes ecossistemas naturais, uma vez que pode influenciar, de modo significativo, nas condições climáticas locais ou em mesoescala (BALDOCCHI et al., 2000; HAO et al., 2009); Promovendo alterações no albedo, na rugosidade da superfície, na umidade do solo e nas trocas de calor, vapor d'água e CO<sub>2</sub> entre a biosfera e atmosfera como tem sido evidenciado em outros ecossistemas (ADEGOKE et al., 2007; CAMPOS, 2006). Portanto, alterações na cobertura vegetal podem resultar em importantes variações no clima local,

principalmente por resultarem em alterações no albedo da superfície. Nos meses chuvosos, em uma área em recuperação da Chapada do Araripe, Souza et al. (2012) observaram albedo médio em torno de 16%, sendo que este valor varia, entre outros fatores, em função da ocorrência de chuvas, pela umidade do solo e desenvolvimento da cobertura vegetal.

Preocupações nesse sentido tem sido mais evidente, sobretudo, nos últimos anos, frente aos impactos que poderão ser causados nos padrões das variáveis climáticas devido ao aumento da concentração dos gases do efeito estufa. Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (2007) – as regiões semiáridas são as mais vulneráveis às mudanças climáticas, sendo imprescindível o estudo destas áreas.

O albedo tem grande influência no clima, sendo utilizado em estudos de modelagem e indicativo de desertificação. Dessa forma, como a região do Araripe pernambucano apresenta alterações na cobertura vegetal original, pode estar caracterizada por alterações nos padrões dos componentes dos balanços de radiação e energia, e conseqüentemente, no clima. Assim, para essa região, Lacerda et al., (2010) observaram que a precipitação anual no sertão de Araripina tem apresentado redução de 10,1mm por ano, enquanto que a temperatura máxima anual apresentou aumento de 4,0°C durante o período de 48 anos de estudo. Com isso, a quantificação dos fluxos de energia e carbono, bem como das características da vegetação nestas regiões é de grande importância, para o entendimento da interação da biosfera-atmosfera, tomada de decisão e implementação de políticas climáticas (XIAO et al., 2011).

O conhecimento das trocas de energia, massa e momentum entre a atmosfera e ecossistemas naturais ou cultivados é fundamental para pesquisas agrometeorológicas. De maneira geral, o balanço de energia na superfície determina a energia disponível para evaporação da água da superfície, transpiração dos vegetais e para elevar ou diminuir a temperatura da superfície e do ar adjacente a esta (OLIVEIRA, 2006).

As plantas da Caatinga apresentam diversas adaptações fisiológicas às condições estressantes, sendo o estudo desses parâmetros de vital importância para o entendimento do ecossistema. Medições das clorofilas podem ser usadas

para revelar informações sobre os estádios de desenvolvimento de plantas (BACARIN & MOSQUIN, 2002), para comparar genótipos CAMPOSTRINI & MAESTRI, 1998) e, também, para investigar danos causados no aparato fotossintético, por diversas causas de estresses (TORRES NETO et al., 2002). Esta variável é uma significativa informação da eficiência fotoquímica do processo fotossintético (TORRES NETO et al., 2002). Além disso, a realização de medidas das trocas gasosas fornece subsídios para a compreensão da interação entre a biosfera-atmosfera, bem como de possíveis mecanismos de ajustes das plantas aos elementos meteorológicos estressantes.

O conhecimento dessas variáveis fisiológicas possibilita o entendimento de como as espécies vegetais conseguem se estabelecer neste ambiente, exteriorizando fenótipos condicionados pelo seu patrimônio genético, permitindo-lhes a permanência e, portanto, a sua evolução nos diversos ambientes, muitas vezes considerados inóspitos e inviáveis à sobrevivência.

Estudos ecofisiológicos de espécies da caatinga são limitados (SILVA et al. 2004; Trovão et al., 2007) e muitos deles são realizados em casa de vegetação (NOGUEIRA & SILVA, 2002).

Estudos desta natureza, quando associados a pesquisas que permitam o entendimento das condições ambientais e dos mecanismos utilizados por estas plantas, podem ser utilizados para o entendimento da perpetuação de espécies em ambientes degradados. Com base no exposto, o objetivo deste estudo é analisar a sazonalidade dos fluxos de energia e CO<sub>2</sub> em uma área de caatinga degradada na região da Chapada do Araripe, bem como os aspectos ecofisiológicos de cinco espécies nativas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Estudos de Caatinga em regeneração**

O Nordeste brasileiro, onde está localizada a maior parte da região semiárida do país, é coberto por uma vegetação denominada de Caatinga, termo originado do

Tupi e que significa “mata branca”, que certamente caracteriza bem o aspecto da vegetação na estação seca, quando as folhas caem (PRADO, 2003). É o único Bioma exclusivamente brasileiro, o que significa que grande parte do seu patrimônio biológico não pode ser encontrada em nenhum outro lugar do planeta.

Antes que se tenha o profundo conhecimento dos aspectos relevantes deste Bioma, a caatinga vem sendo sistematicamente devastada. A eliminação da vegetação e o uso indevido das terras têm acarretado graves problemas ambientais no Semiárido nordestino, dentre os quais se destacam a redução da biodiversidade, a degradação dos solos, o comprometimento dos sistemas produtivos e a desertificação de extensas áreas na maioria dos Estados que compõem a região (BRASIL, 1995; JAPAN, 1990; AB’ SABER, 1977). Estudos têm demonstrado que a Caatinga é o terceiro Bioma brasileiro mais modificado pelo homem, sendo ultrapassado apenas pela Floresta Atlântica e pelo Cerrado.

A exploração racional de qualquer ecossistema só pode ser planejada a partir do conhecimento de suas dinâmicas biológicas e da sua interação com os processos atmosféricos. No que se refere ao componente vegetação (biótico) e sua relação com o meio (abiótico), torna-se imperativo conhecer, por exemplo, como se dão os processos de regeneração natural diante das perturbações antrópicas.

Segundo Daniel & Jankauskis (1989), o entendimento dos processos de regeneração natural de florestas é importante para o sucesso do seu manejo, o qual necessita de informações básicas em qualquer nível de investigação. Além disso, esses estudos em vegetações em regeneração são essenciais para a elaboração de modelos de caracterização climáticas.

Estudos sobre a dinâmica de regeneração natural são de grande interesse científico, no entanto, existem escassez e grandes lacunas desses estudos para a vegetação da Caatinga. A carência de informações sobre o Bioma se torna muito evidente quando se procuram dados relativos ao tempo de regeneração ou recuperação de uma área que foi previamente cortada, por qualquer método, e como a vegetação se renovou de acordo com o clima, tudo isso, associado ao fluxo de CO<sub>2</sub>, fluxos de radiação e energia, vapor d’água (evapotranspiração) e ecofisiologia. Todos esses elementos microclimáticos e ecofisiológicos podem auxiliar na compreensão da dinâmica de recuperação de espécies em áreas que passaram por ações antropogênicas; Conhecimentos essenciais para desenvolver estratégias que

possibilitarão a aplicação de modelos de preservação, conservação e recuperação dos recursos ambientais do Bioma Caatinga.

## **2.2 Degradação da Caatinga**

A vegetação que recobre a maior parte da região semiárida do Nordeste do Brasil é a Caatinga, com extensão territorial de aproximadamente 800.000 Km<sup>2</sup>, apesar da grande abrangência, a Caatinga proporcionalmente é a menos estudada e menos protegida das composições florísticas brasileiras (TROVÃO et al., 2004). De acordo com Castelleti et al., 2004, Caatinga é o terceiro Bioma brasileiro mais modificado pelo homem, sendo ultrapassado apenas pela Floresta Atlântica e pelo Cerrado, tem sido utilizada pelo homem há vários séculos.

Milhares de hectares da vegetação nativa da Caatinga são desmatados anualmente, gerando uma forte pressão sobre os recursos florestais. Além disso, o bioma caatinga ainda possui aproximadamente 40 a 50% do seu território com cobertura vegetal. (PAREYN et al., 2002).

Os principais fatores da extração vegetal do Bioma Caatinga é a grande demanda pelos recursos naturais de madeira, lenha e carvão, que aliada à condição de semiaridez e o histórico de ocupação de suas terras têm agravado a sua degradação (MOREIRA & TARGINO, 1997).

No estado de Pernambuco dos 81.141 km<sup>2</sup> de área de caatinga 2.204 km<sup>2</sup> foi antropizada entre 2002 e 2008, representando 0,27% da área do bioma da caatinga no Nordeste e 2,72% da área do bioma da caatinga do estado de Pernambuco (MMA, 2010). Segundo Campello (1999), a lenha é o segundo componente mais consumido na matriz energética da região, sendo representando 33% do consumo. Na Região do Araripe, a exploração da caatinga também se dá, principalmente, em busca de produtos madeireiros. Dessa forma, o ambiente do Araripe pernambucano encontra-se altamente alterado. De acordo com Sá et al. (2011) entre 1998-2008 o desmatamento dessa região foi da ordem de 1.143,74 km<sup>2</sup> (16,14%).

A antropização das áreas nativas tem chamado à atenção, uma vez que o processo de extração por meio de queimadas, desmatamento e da substituição da

vegetação nativa pode influenciar, de modo significativo, nas condições climáticas locais ou em mesoescala (BALDOCCHI et al., 2000; HAO et al., 2007).

A constante demanda da extração da vegetação nativa levará ao um processo degenerativo colaborando para a presença dos vazios de cobertura vegetal, acarretando um déficit na matriz ambiental relacionada á vegetação e possivelmente influenciando nas mudanças climáticas. Sendo, portanto, o manejo da caatinga, não somente uma atividade potencial para região, mas, sobretudo, torna-se uma necessidade ecológica, econômica e social, dando possibilidade de uso e manutenção da qualidade de vida ás futuras gerações.

### **2.3 Mudanças climáticas e fluxo de CO<sub>2</sub>**

Mudanças no sistema climático da Terra são consideradas processos naturais desde as eras geológicas (SPIELHAGEN, 2012). Entretanto, a velocidade e intensidade com as quais essas mudanças estão ocorrendo, especialmente quando somadas às várias ações antrópicas danosas ao planeta, têm sido objetos de preocupação nos domínios da ciência e política mundiais (KOEHLER & WATZLAWICK, 2002). Cientistas de todo o mundo têm alertado para o aumento das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), pois estes interferem no balanço radiativo da atmosfera, e estão levando, a longo prazo, a um aumento da temperatura média da terra (KOEHLER & WATZLAWICK, 2002). Koehler et al. (2002) descrevem as maiores fontes antrópicas de GEE's, especialmente de CO<sub>2</sub>, como sendo a queima de combustíveis fósseis, os desmatamentos, as queimadas, a pecuária extensiva, entre outros. Aqui no Brasil, algumas dessas atividades são bastante comuns, e em grande parte devido à falta de manejo e controle adequados.

Um dos efeitos mais preocupantes e imediatos do acúmulo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, juntamente com os demais gases de efeito estufa (GEE's), é o aumento da temperatura do ar. Em função deste aquecimento, prevê-se maior variabilidade climática, com maior frequência de secas ou excessos de chuvas e prejuízos para a produtividade agrícola (PACHAURI & REISINGER, 2007). Desta maneira, o estoque de CO<sub>2</sub> pelas plantas consiste uma forma de mitigação das mudanças climáticas (GIONGO et al., 2011). No entanto, pouco se sabe sobre as



respostas de espécies arbóreas tropicais ao acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera (PIMENTEL, 2011), sendo esta questão de extrema importância considerando-se que as florestas representam cerca de 50% do carbono sequestrado na biomassa terrestre (LONG et al., 2006).

O bioma Caatinga, entre algumas características funcionais de suas espécies vegetais, apresenta a notável capacidade de resistência à seca e a altas temperaturas do ar, com diferentes estratégias de vida apropriadas para sobreviver aos períodos mais longos de seca, conhecidos em todo o território brasileiro, típicos do clima no semiárido.

Considerando que a vegetação nativa da Caatinga contribui para o sequestro de carbono, uma vez que a fixação fotossintética do CO<sub>2</sub> em sua biomassa tende a diminuir a taxa de acúmulo deste gás na atmosfera inibindo seus efeitos prejudiciais para a estabilidade climática, torna-se importante conhecer as respostas fotossintéticas de suas espécies ao aumento da concentração de dióxido de carbono no ar atmosférico. Além disso, estudos na Caatinga referente aos fluxos de CO<sub>2</sub> são escassos. Desta forma, tornam-se imprescindíveis ações que visem quantificar e analisar com precisão a dinâmica desses gases para auxiliar no desenvolvimento de estratégias de combate ao aquecimento local, regional ou global, e ao impacto antrópico na região.

## **2.4 Balanço de radiação**

A radiação solar é a maior fonte de energia para a Terra, sendo também o principal elemento meteorológico, pois é ela que desencadeia todo o processo meteorológico afetando todos os outros elementos (temperatura, pressão, vento, chuva, umidade, etc) (PEREIRA et al., 2002).

O balanço de radiação em uma determinada superfície é a contabilização líquida entre a energia radiante recebida e refletida pela superfície. O saldo de radiação ( $R_n$ ), também denominado de radiação líquida, constitui-se da soma algébrica dos balanços de radiação de ondas curtas ( $R_{n_{oc}}$ ) e longas ( $R_{n_{ol}}$ ), considerando-se positivos, os fluxos verticais na direção da superfície e negativos quando na direção do espaço. As interações entre componentes do balanço de radiação condicionam as trocas de calor e massa entre superfície e atmosfera e

possibilitam identificar alterações naturais ou antrópicas decorrentes de mudanças no uso do solo.

Estudos em relacionados ao saldo de radiação em região semiárida, com especial atenção para a Caatinga, são de grande importância, pois essas informações podem ser utilizadas para melhor compreender as respostas dessa vegetação em regeneração às condições do ambiente.

## 2.5 Balanço de energia

O balanço de energia na superfície terrestre é de um modo geral, influenciado pela vegetação e pode modelar não só o clima local, mas também todo o clima regional e global (ZENG & NEELIN, 2000). o balanço de energia em uma superfície resulta do balanço de radiação ( $R_n$ ), o qual é, de forma simplificada, a contabilidade dos fluxos de calor sensível ( $H$ ), fluxo de calor no solo ( $G$ ) e fluxo de calor latente ( $E$ ).  $H$  representa a energia ou calor transferido pela turbulência atmosférica entre a superfície e a atmosfera devido à diferença de temperatura entre elas (PEIXOTO; OORT, 1992).  $G$  é o resultado da transferência de calor no solo por condução térmica (STULL, 1988).  $E$  está associado a evapotranspiração da água do ecossistema; pode ser entendido como a quantidade de energia ou calor fornecido à água durante o processo de evapotranspiração (MONTEITH; UNSWORTH, 1990; MONTEITH, 1965); além de ser o principal fator governante do fluxo de  $H_2O$  entre atmosfera e a superfície.

Para o caso do  $CO_2$ , o sentido e a magnitude do seu transporte são regidos pela ação de dois processos amplamente conhecidos a nível do ecossistema, a fotossíntese, ou a produtividade primária bruta do ecossistema (GPP; Gross Primary Production), e a respiração do ecossistema ( $R_{eco}$ ; Ecosystem Respiration), os quais atuam como sumidouro e fonte de dióxido de carbono, respectivamente. O balanço entre estes dois processos é designado por produtividade líquida do ecossistema (NEP; Net Ecosystem Productivity) ou balanço de dióxido de carbono no ecossistema (APPS, 1995).

### 3. ARTIGOS

#### 3.1. ARTIGO 1 - SAZONALIDADE DOS FLUXOS DE RADIAÇÃO, ENERGIA, CO<sub>2</sub> E VAPOR D'ÁGUA EM UMA ÁREA DE CAATINGA DEGRADADA NA CHAPADA DO ARARIPE

##### 3.1.1 RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar os fluxos de radiação, energia, gás carbônico e vapor d'água em uma área de Caatinga em regeneração na Chapada do Araripe, Pernambuco. Para tanto, dados micrometeorológicos foram obtidos para o ano de 2013, com base em medições efetuadas por meio de sensores eletrônicos instalados em uma torre micrometeorológica de 8 metros de altura, localizada em uma área com vegetação de Caatinga degradada, no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA (7° 27' S; 40 °24' W, 828 m) município de Araripina, PE Os resultados mostraram que o ano de 2013 na região do Araripe pernambucano apresentou precipitação inferior à média histórica, influenciando no desenvolvimento da vegetação, e por sua vez, em suas relações com a atmosfera. 41% da radiação solar incidente correspondem à radiação fotossinteticamente ativa (PAR); o coeficiente de reflexão para ondas curtas (albedo) variou de 11 a 16,5% e o índice de área foliar entre 0,3 e 2,1 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. 45% do saldo de radiação foi utilizado para aquecimento na forma de fluxo de calor sensível (H), com fechamento do balanço de energia igual a 80%. O fluxo de calor no solo (G) representou apenas 1% do saldo de radiação. Todas essas informações contribuíram para que a assimilação de carbono na caatinga degradada seja altamente dependente da ocorrência de chuvas, a temperatura do ar e do solo, portando-se, como sumidouro de CO<sub>2</sub> atmosférico durante o primeiro semestre do ano e fonte no segundo.

**Palavras-chave:** índice de área foliar, precipitação, fechamento do balanço de energia, fluxo líquido de dióxido de carbono.

### 3.1.2 ABSTRACT

This work aimed to evaluate the radiation fluxes, energy, carbon dioxide and water vapor in a Caatinga area in regeneration in the Araripe, Pernambuco. For this, micrometeorological data were obtained for the year 2013, based on measurements made by means of electronic sensors installed in a micrometeorological tower 8 feet high, located in an area of Caatinga vegetation of degraded, in Pernambuco Agricultural Research Corporation - IPA (7°27'S; 40°24'W, 828 m) city of Araripina, PE. The results showed that the year 2013 in Pernambuco Araripe region had rainfall below the historical average, influencing the development of vegetation, and in turn, in its relations with the atmosphere. Thus, 41% of the incident solar radiation corresponds to the photosynthetically active radiation (PAR); with reflection coefficient for shortwave (albedo) ranging from 11 to 16.5% and the leaf area index between 0.3 and 2.1 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. Thus, during the year 2013, 45% of the net radiation was used for heating in the form of sensible heat flux (H), with closure of the energy balance equal to 80%. The heat flux in the soil (G) represented only 1% of the net radiation. All of this information contributed to the sequestration of carbon dioxide in degraded savanna is highly dependent on rainfall, and responsive air temperature and soil, act as sink for atmospheric CO<sub>2</sub> during the first semester and source during the second semester of the year.

**Keywords:** leaf area index, precipitation, closing the energy balance, net flow of carbon dioxide.

### 3.1.3 INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro abrange 18,27 % do território nacional, possuindo uma área de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>; destes 962.857,3 km<sup>2</sup> estão inseridos no denominado Polígono das Secas. Esta região caracteriza-se por apresentar condições climáticas extremas: apresentando elevados índices de insolação, elevadas taxas de evaporação e baixos índices pluviométricos, cerca de 500 a 700 mm anuais.

O principal bioma que recobre a região semiárida é a Caatinga, a qual é constituída por um complexo vegetacional que abrange uma área de aproximadamente 800.000 km<sup>2</sup> (SANTOS et al., 2011), compreendendo cerca de 63% da região Nordeste. A vegetação apresenta adaptações para as condições climáticas as quais estão submetidas, em sua maior parte, as espécies perdem as folhas na estação seca, reduzindo a transpiração e a perda de água da planta, e revigora-se rapidamente logo após o início das chuvas, com o surgimento de flores e folhas. Essas mudanças sazonais ocorridas na vegetação alteram as relações da radiação solar com a superfície, e por sua vez, as magnitudes dos componentes do balanço de radiação, e assim, fazem-se necessárias medições dos fluxos de calor superficiais para uma melhor compreensão do balanço de energia. Dos componentes do balanço de energia, o fluxo de calor latente é um termo chave no ciclo hidrológico, que por sua vez, controla toda a dinâmica da camada limite atmosférica (DUARTE, 2006).

Segundo OKE (1988), a quantidade de energia que chega à superfície, é determinada pela radiação solar incidente e pela radiação emitida pela atmosfera, porém, a energia armazenada no sistema depende do tipo de cobertura superficial, variando com o albedo. Estudos sobre o balanço de radiação e albedo têm sido realizados para diferentes ecossistemas brasileiros, principalmente para Amazônia (LEITÃO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2013), Cerrado (COUTO, 2009; GIONGO et al., 2009; MORAES et al., 2012), Mata Atlântica (SANTOS et al., 2010; ARAÚJO FILHO et al., 2011), considerando diferentes coberturas vegetais e épocas do ano. Para a Caatinga, Lima et al. (2009) verificaram que durante seis meses, maiores variações do albedo ocorreram em áreas de pastagens em comparação com a vegetação nativa. Segundo estes autores, no início do período chuvoso, quando ainda havia espécies sem folhas, o albedo da caatinga foi da ordem de 12%, e aumentou para 16,5% quando as plantas estavam com muitas folhas. Já Souza et al. (2012) observaram que no período chuvoso da Chapada do Araripe, em uma área de caatinga degradada, o albedo foi da ordem de 16%. Cunha et al. (2013) realizaram estudos de modelagem convertendo a vegetação natural de caatinga em para agropecuária e em caatinga degradada, resultando em aumento do albedo médio anual da superfície para 12% e 16%, respectivamente. Andrade et al. (2009)

também verificaram maiores valores de albedo em pastagem em comparação com floresta.

Uma vez que o albedo afeta o balanço de radiação da superfície, controlando a disponibilidade de energia para a evapotranspiração e para o aquecimento, a energia líquida disponível no meio depende dos valores do albedo. A carência de informações da interação atmosfera-superfície para o Bioma Caatinga se torna muito evidente quando se buscam dados de fluxos de energia, evapotranspiração e gás carbônico, especialmente considerando-se áreas de caatinga degradada e, ou em processo de regeneração. Considerando que quase 50% do Bioma Caatinga foi alterado de alguma forma, não existem informações que relacionem o tempo de regeneração ou recuperação da vegetação de acordo com o clima, associando tudo isso associado aos fluxos de radiação e energia, de CO<sub>2</sub>, e de vapor d'água (evapotranspiração).

Os estudos micrometeorológicos envolvendo energia, vapor d'água e gás carbônico na Caatinga foram realizados por SOUZA (2014), TEIXEIRA (2010), OLIVEIRA et al. (2006) e SANTOS et al. (2012), considerando uma área preservada. Informações sobre a radiação (SOUZA et al., 2015; MOURA et al., 2014a; DINIZ et al., 2013; PIRES et al., 2014), o albedo (SOUZA et al., 2012), a temperatura (BARROS et al., 2014), o balanço de energia e a evapotranspiração (TEIXEIRA, 2010), o gás carbônico (OLIVEIRA et al., 2006; SANTOS et al., 2012) e a calibração de modelos dinâmicos de vegetação (REZENDE et al., 2013; CUNHA et al., 2013) têm demonstrado a importância de se estudar as relações vegetação x atmosfera no Bioma Caatinga, porém, pouco se conhece de uma área que foi desmatada e encontra-se em fase de reestabelecimento.

Todos esses elementos microclimáticos podem auxiliar na compreensão da dinâmica de recuperação de espécies em áreas que passaram por ações antropogênicas como também estudar o comportamento das mais diversas variáveis que governam o clima da região. Assim o objetivo deste estudo é avaliar os fluxos de radiação, energia, gás carbônico e vapor d'água em uma área de Caatinga em regeneração na Chapada do Araripe, Pernambuco.

### 3.1.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### - *Localização e caracterização da área experimental*

Este estudo foi conduzido em uma área com vegetação de Caatinga degradada, localizada no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA (7°27'S; 40°24'W, 828 m) município de Araripina, PE, o clima é classificado como BSw<sup>h</sup>, ou seja, semiárido, com precipitação média em torno de 752 mm anuais, temperatura média anual do ar de 24°C, evaporação de 1.127 mm ano<sup>-1</sup> e umidade relativa em torno de 55,2%.

A área experimental abrange cerca de 4 ha, e, encontra-se degradada pelo cultivo, em anos anteriores, de feijão, milho, mandioca e sorgo. Para a implantação destes agrossistemas, foram utilizadas as práticas de roços e queimadas no desmatamento da Caatinga e, posteriormente, foi feito um plantio de feijão (em 1977), sendo que as últimas culturas semeadas foram o milho e o sorgo, em 1997. Até 2009 a área foi mantida cercada, porém, havia pastejo animal, principalmente durante o período chuvoso. Atualmente, após isolamento realizado em 2010, a mesma encontra-se composta por uma vegetação de porte arbustivo-herbáceo, onde se verifica a presença das espécies *Mimosa colubrina* Vell, *Poincianella microphylla*, *Passiflora cincinnata*, *Aristida* sp., dentre outras, que exibem uma altura média em torno de 1,2 metros.

#### - *Medidas micrometeorológicas*

Os dados micrometeorológicos foram obtidos para o ano de 2013, com base em medições efetuadas por meio de sensores eletrônicos instalados em uma torre micrometeorológica de 8 metros de altura, localizada no centro da área experimental. A torre foi equipada com sensores instalados em dois sistemas de medidas, sendo um em alta frequência (fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e calor sensível) e outro em baixa frequência (componentes do balanço de radiação, radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela vegetação, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, umidade e temperatura no perfil do solo). Para

as medidas foram utilizados um datalogger modelo CR1000 e um multiplexador AM 16x32 (Campbell Scientific INC., Logan, Utah, EUA).

- *Balanço de radiação*

Para determinação dos componentes do balanço de radiação foram utilizadas sensores CNR1 (Net radiometer - Kipp & Zonen, Delft, Netherlands) e LI-190SA (Quantum sensor, Li-cor, Nebraska, USA) instalados na torre micrometeorológica, dois sensores LI-191SA (Line Quantum Sensor Li-cor, Nebraska, USA) instalados abaixo do dossel da Caatinga. Os componentes medidos foram: radiação de onda curta incidente ( $R_g$ ,  $W m^{-2}$ ) e refletida ( $R_r$ ,  $W m^{-2}$ ), radiação de onda longa incidente ( $R_a$ ,  $W m^{-2}$ ) e refletida ( $R_s$ ,  $W m^{-2}$ ), saldo de radiação total ( $R_n$ ,  $W m^{-2}$ ), saldo de onda curta (BOC,  $W m^{-2}$ ) e de onda longa (BOL,  $W m^{-2}$ ) e albedo ( $\alpha$ ), as expressões algébricas para o saldo de radiação total, de ondas curtas e longas e albedo são apresentados abaixo:

$$R_n = BOC + BOL \quad (1)$$

$$BOC = R_g - R_r \quad (2)$$

$$BOL = R_a - R_s \quad (3)$$

$$\alpha = 100 \times \frac{R_r}{R_g} \quad (4)$$

Com os dois sensores LI-190SA foram utilizadas para obtenção de medidas de densidade de fluxo da radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $PAR_i$ ,  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) e refletida ( $PAR_r$ ,  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) pela superfície. Além destes, por meio de dois sensores quantum lineares LI-191SA, foram determinadas a radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $PAR_{int}$ ,  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) pela vegetação. Com isso, foram calculadas as frações da radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $fPAR_i$ ) e absorvida ( $fPAR_a$ ) pela vegetação, segundo as equações descritas em Gower et al. (1999):



$$fPAR_i = 1 - \frac{PAR_{int}}{PAR_i} \quad (5)$$

$$fPAR_a = \frac{[(PAR_i - PAR_r) - (PAR_{int} - PAR_{rb})]}{PAR_i} \quad (6)$$

em que PAR é a radiação fotossinteticamente ativa refletida abaixo do dossel, nesse caso considerada nula, e os outros termos já foram definidos.

#### - *Balanço de energia*

O balanço de energia no sistema solo-planta-atmosfera é constituído pelos fluxos verticais de calor latente (LE), de calor sensível (H), do calor no solo (G) e do saldo de radiação (Rn), todos em  $W m^{-2}$ , além de fluxos associados à absorção de calor no volume ocupado pela vegetação e da energia utilizada na fotossíntese, sendo que estas duas últimas têm sido negligenciadas no cômputo do balanço de energia (VILLA NOVA, 1973), bem como a advecção de calor sensível e de calor latente. Assim, o balanço de energia se reduz à seguinte equação:

$$Rn - G - LE - H = 0 \quad (7)$$

Os valores de Rn foram obtidos a partir do sensor CNR1 (Kipp & Zonen B.V., Delft, Netherlands), para determinação do fluxo de calor no solo (G) foram utilizadas dois fluxímetros (HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc Logan, Utah, EUA), instalados a 0,06 metros de profundidade e em diferentes posições na superfície do solo. Os outros termos da Equação 7 foram obtidos pelo método das covariâncias dos vórtices turbulentos, descrito a seguir.

#### - *Covariâncias dos Vórtices Turbulentos*

O método da covariância dos vórtices turbulentos foi utilizado para obtenção dos fluxos de calor latente ou de vapor d'água (LE) e sensível (H), bem como para

determinação dos fluxos de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Para isso, utilizou-se um *datalogger* (CR-1000, Campbell Scientific INC., Logan, Utah, EUA) programado para efetuar medidas em alta frequência das concentrações de vapor de água e de  $\text{CO}_2$  por meio de um analisador de gás infra-vermelho de caminho aberto (LI-7500, Licor, Lincoln, NE, EUA); temperatura e velocidade do vento nas três direções (x, y e z) por meio de um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific, Logan, UT, EUA). Os dados obtidos em alta frequência das concentrações de  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  e H foram utilizados para cálculos dos fluxos médios de 30 minutos utilizando-se o *software* Alteddy, versão 3.6 (Alterra, University of Wageningen, Netherlands).

*-Índice de área foliar (ou Fator de cobertura vegetal)*

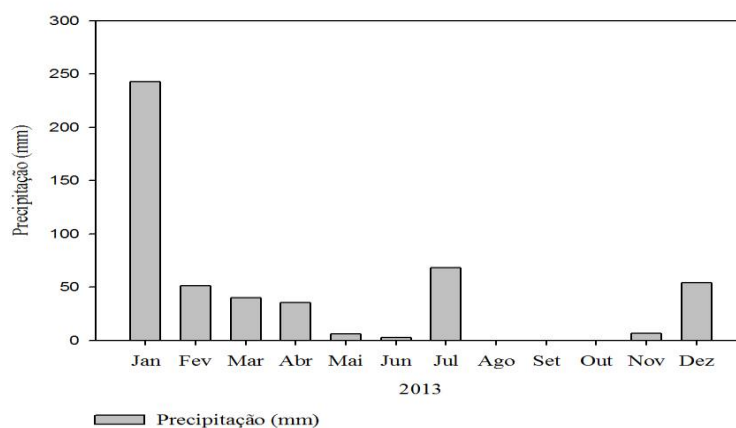
O índice de área foliar (IAF) ou fator de cobertura vegetal (FCV), compreende a interceptação de radiação fotossinteticamente (PAR) pela presença de folhas associada aos ramos, que de alguma forma impedem que a PAR alcance a superfície do solo. Para sua determinação ao longo do ano, foram utilizados os dados de radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $\text{PAR}_i$ ) e aquela que atravessa a vegetação e alcança o sensor instalado ao nível do solo ( $\text{PAR}_{\text{int}}$ ). A determinação se deu pelo método indireto, pelo conceito da interceptação de luz conforme descrito Decagon (2001).

### **3.1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*- Caracterização ambiental*

Foram registrados para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013, 507,00  $\text{mm ano}^{-1}$ , com 74,58% da precipitação pluviométrica ocorrendo no primeiro semestre (janeiro a junho). O segundo semestre, caracteristicamente seco, foi marcado pela ocorrência de 68mm no mês de julho e 54 mm em dezembro (Figura 1). Não ocorreu precipitação nos meses de agosto a outubro, e novembro foi de 6,8 mm (Figura 1). Comparando com a série histórica, este ano foi cerca de 32,58%

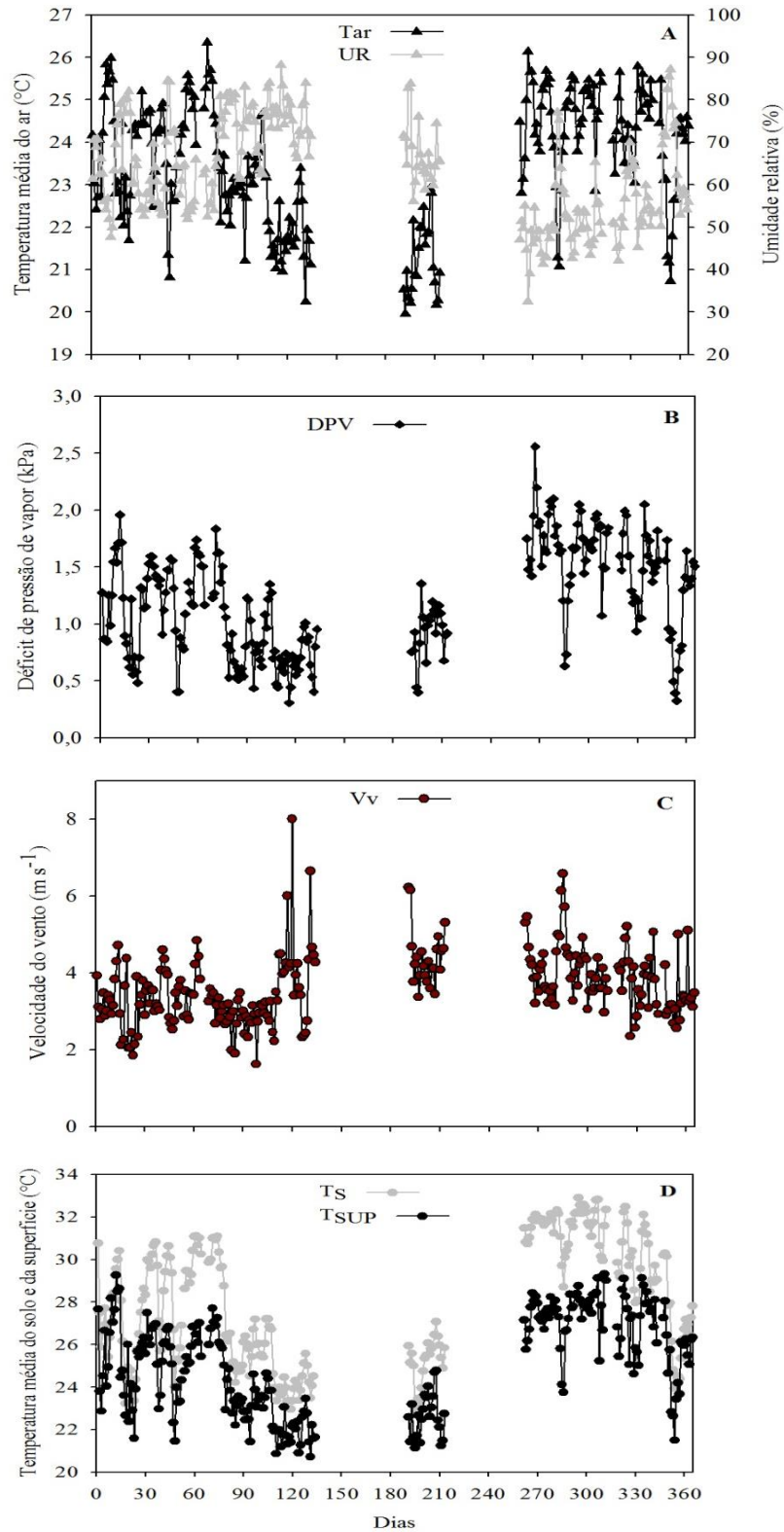
abaixo da média (SOUZA et al., 2012), resultando em alterações na dinâmica da água no solo e por sua vez, no desenvolvimento da vegetação.



**Figura 1.** Índice pluviométrico para o ano 2013, da área experimental no Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, município de Araripina, PE.

A temperatura e a umidade relativa do ar apresentaram valores médios anuais em torno de 23,55 °C e 62,61 %, respectivamente, e seu comportamento ao longo do período experimental pode ser verificado na Figura 2A. A Tar média diária variou de valores em torno de 20° C até um pouco acima de 26°C (Figura 2A), com coeficiente de variações ao longo do ano de 6,44%. Por sua vez, a UR chegou a valores inferiores a 40% durante o período mais seco do ano, até médias diárias superiores a 80% (Figura 2A), com coeficiente de variação igual a 18,91%. A variação do déficit de pressão de vapor (DPV) foi de 0,30 a 2,55 kPa (Figura 2B), com valor médio anual de 1,21 kPa.

Na Figura 2C, verificou-se que a velocidade do vento no primeiro semestre variou em torno 3,53 m s<sup>-1</sup>, enquanto que no segundo semestre o vento oscilou ao redor da média de 5,10 m s<sup>-1</sup>; apresentando, respectivamente, velocidade média, máxima e mínima diária de 4,28; 8,00 e 1,60 m s<sup>-1</sup> para o período.



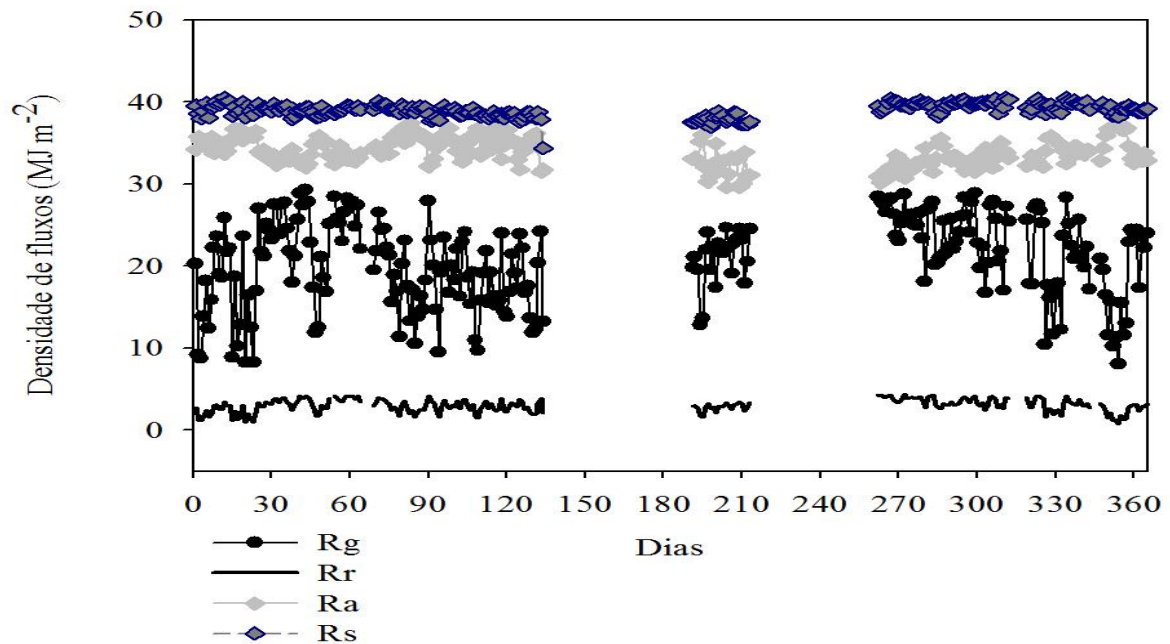
**Figura 2.** Caracterização ambiental sazonal da área de Caatinga degradada em Araripina, PE, para o ano de 2013: (A) temperatura (Tar) e umidade relativa do ar (UR); (B) déficit de pressão de vapor (DPV); (C) velocidade do vento (VV); (D) temperatura do solo (Ts) e da superfície (Tsup).

Os valores médios diários da temperatura do solo ( $T_s$ ) e da superfície ( $T_{sup}$ ), para o ano de 2013 são apresentados na Figura 2D. Observa-se que os menores valores tanto de  $T_s$  quanto de  $T_{sup}$  ocorreram no primeiro semestre. Verificou-se ainda que a temperatura do solo variou de 23 a 31°C no primeiro semestre, permanecendo acima de 32° C durante a maior parte do segundo, com média de 26°C. A temperatura do dossel ou temperatura da superfície ( $T_{sup}$ ) foi sempre inferior a temperatura do solo ( $T_s$ ), e apresentou média de 24,29° C e de 26° C, respectivamente para o primeiro e segundo semestres.

#### *- Balanço de radiação*

Na Figura 3, visualiza-se o comportamento dos componentes do balanço de radiação durante o ano de 2013. O balanço de radiação na superfície terrestre, como um dos componentes do balanço de energia, constitui-se em elemento fundamental para os estudos micrometeorológicos, esse parâmetro pode variar principalmente de acordo como o conteúdo de água e cobertura do solo.

A radiação solar global ( $R_g$ ) apresentou valores médios anuais de 20,86 MJ m<sup>-2</sup>. A média diária da irradiação solar global ao longo do primeiro semestre foi de 19,65 MJ m<sup>-2</sup>, enquanto no segundo foi 22,23 MJ m<sup>-2</sup> (Figura 3), observando-se um aumento de 11,6% entre os dois períodos. Esse aumento gradativo da radiação no segundo semestre a partir de setembro é uma característica da região, decorrentes da mudança de estação do ano. A variabilidade da radiação global durante os períodos apresentou-se maior no primeiro semestre, quando ocorreram os maiores índices de chuva, com grande ocorrência de nuvens, se comparados ao segundo semestre. O coeficiente de variação da  $R_g$  no primeiro semestre foi de 27,71%, enquanto no segundo foi de 20%.



**Figura 3.** Caracterização sazonal da densidade de fluxo: radiação global (Rg); radiação refletida (Rr); Radiação atmosférica (Ra) e Radiação da superfície (Rs) em área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE, para o ano de 2013.

Ao analisar-se a radiação de onda longa emitida pela atmosfera (Ra) e a radiação de onda longa emitida pela superfície (Rs), cuja contabilização resulta no saldo de ondas ondas (BOL), verifica-se que os valores médios de BOL para o primeiro e segundo períodos foram respectivamente iguais a  $-4,33 \text{ MJ m}^{-2}$  e  $-6,07 \text{ MJ m}^{-2}$ . Esse valor mais negativo de BOL no segundo semestre está relacionado com a diminuição da radiação de ondas longas atmosféricas (Ra) e um leve aumento da radiação de ondas longas emitidas pela superfície (Rs), conforme pode ser observada na Figura 3. Esse aumento de Rs pode está associado a diminuição da cobertura vegetal e ao aumento da temperatura do solo, já que para esse período as temperaturas médias foram superiores a  $30^{\circ}\text{C}$  (Figura 2D). De acordo com Filho (2006), quanto maior a temperatura do solo, maior será sua irradiação de onda longa. Por outro lado, quanto maior a temperatura da atmosfera, maior será a contra radiação atmosférica.

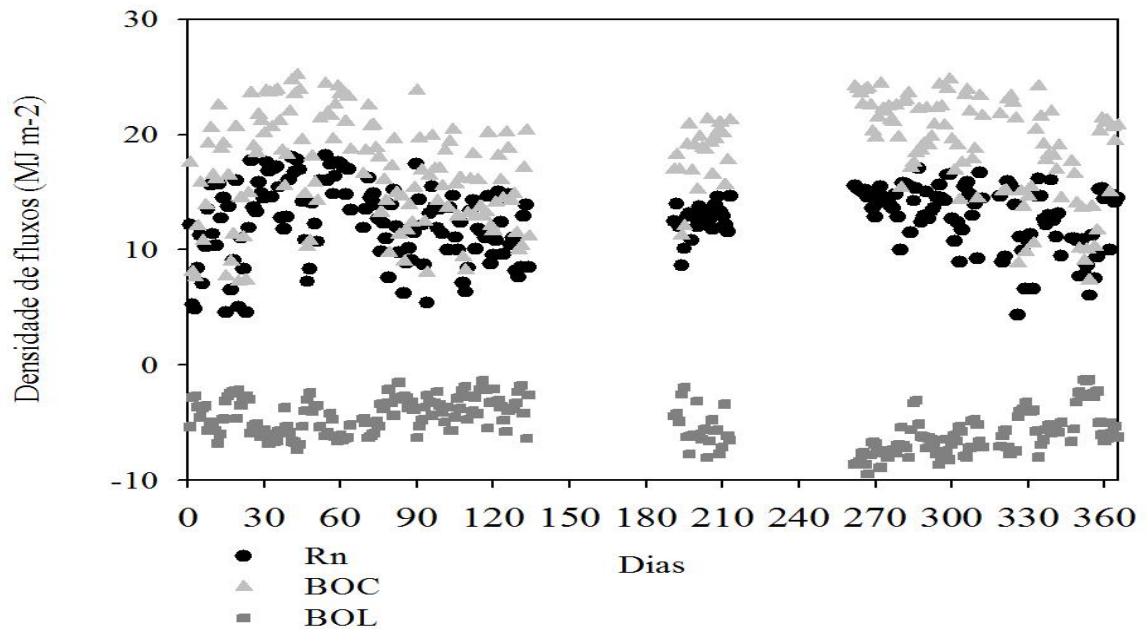
A radiação solar global anual foi em média igual a  $20,86 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , com isso, a média do BOC foi  $17,83 \text{ MJ m}^{-2}$  e do BOL igual a  $-5,16 \text{ MJ m}^{-2}$ , conferindo um saldo de radiação (Rn) médio do período equivalente a  $12,67 \text{ MJ m}^{-2}$ . O balanço de

onda curta (BOC) para os períodos podem ser observadas na Figura 4. No primeiro semestre (período com índice pluviométrico alto) a média do BOC foi de  $16,70 \text{ MJ m}^{-2}$ , já para o segundo semestre a média foi de  $19,06 \text{ MJ m}^{-2}$ , esse aumento de 12,38 % entre os períodos está diretamente relacionado à  $R_g$ , já que entre o primeiro e segundo semestre a radiação global incidente teve um acréscimo entre os períodos de 11,6%. Esta diferença na magnitude de BOC deve-se também, principalmente, à menor nebulosidade durante o período seco. Confirmando a relação de  $R_g$  em BOC, os meses em que se observou a soma das maiores e menores médias de  $R_g$ , o balanço de ondas curtas também obteve se a mesma característica, onde abril e janeiro apresentaram as menores médias de BOC ( $15,05$  e  $15,69 \text{ MJ m}^{-2}$ ) e outubro e fevereiro as maiores ( $23,93$  e  $23,68 \text{ MJ m}^{-2}$ ).

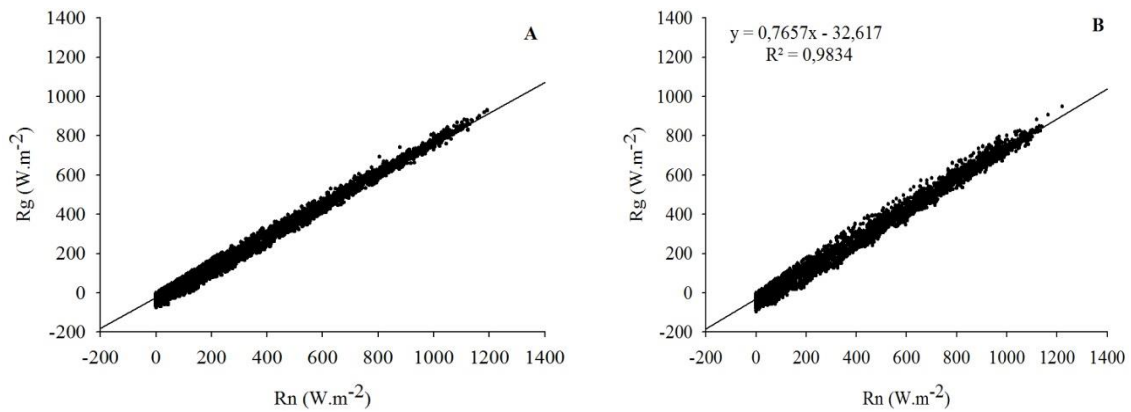
Ecossistemas terrestres afetam o clima, por meio da interação entre energia, água, aerossóis,  $\text{CO}_2$  e outros gases atmosféricos. Mudanças na composição da comunidade e estrutura do ecossistema alteram estas interações, que resultam em mudanças no balanço de energia à superfície, no ciclo hidrológico e nos ciclos biogeoquímicos (CONFERÊNCIA REGIONAL, 2008).

O saldo de radiação ( $R_n$ ) sintetiza a contabilidade dos fluxos descendentes e ascendentes de onda curta e onda longa, que interagem com a superfície terrestre. Essa variável é essencial em estudos do balanço de energia, sendo de grande importância no monitoramento do clima, previsão de tempo, modelagem hidrológica e meteorologia agrícola (BISHT et al., 2005).

Na Figura 4 verificar-se os totais diários médios do  $R_n$ , em que se observam valores mais elevados para o segundo semestre. Este fato pode ser explicado em razão da maior irradiação solar verificada nessa época e devido à menor nebulosidade neste período. É interessante notar que mesmo com o aumento da radiação refletida ( $R_r$ ) (Figura 3) e do BOL no período seco, o  $R_n$  ainda se manteve maior 12,39 % do que no período chuvoso. Com isso, a radiação solar incidente à superfície é o que mais influencia nos valores do  $R_n$ , sendo verificada uma relação linear direta nos períodos analisados chuvoso ( $R^2 = 0,9883$ ) (Figura 5A) e seco ( $R^2 = 0,9834$ ) (Figura 5B).



**Figura 4.** Comportamento sazonal médio dos componentes do balanço de radiação em área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE, para o ano de 2013.



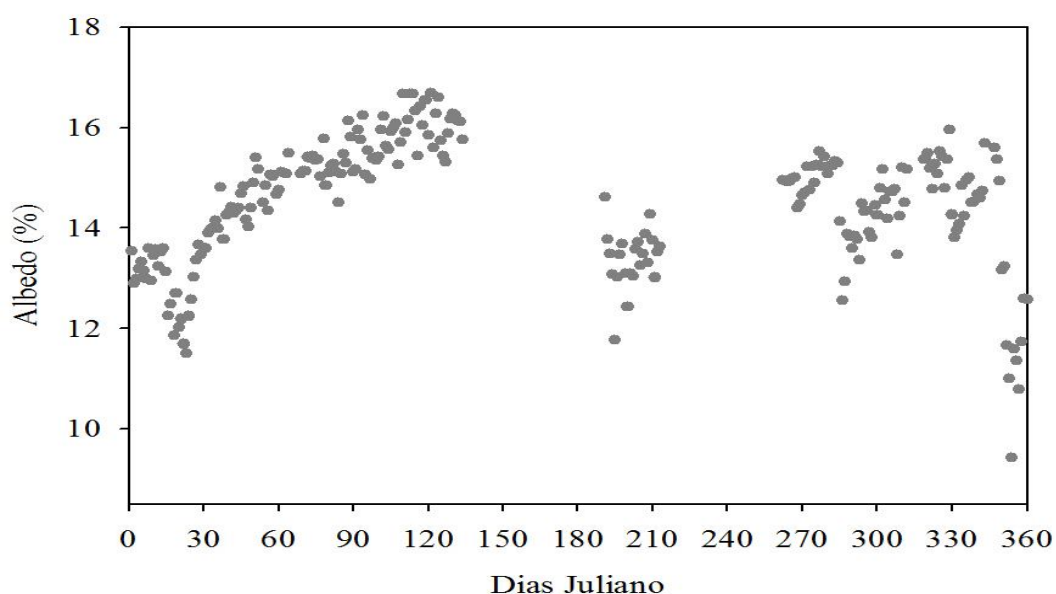
**Figura 5.** Relação da radiação solar global e do saldo de radiação para o primeiro semestre (A) e para o segundo semestre (B), em área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE, para o ano de 2013.

*- Albedo e fator de cobertura vegetal*

O albedo de uma superfície vegetada varia com o ângulo de elevação do Sol, com o tipo de vegetação, com as condições de umidade do ar e da superfície, com a



umidade e o tipo de solo, bem como com a quantidade e o tipo de nuvens (LEITÃO, 1994). O coeficiente de reflexão (albedo) para o ano de 2013 em área de caatinga degradada foi de 14,46 %, com maiores médias diárias observadas nos meses de abril e março 15,86 e 15,26 %, respectivamente, e os menores no mês de janeiro e dezembro 12,95 e 13,28 % (Figura 6). Essa variação pode estar associada à superfície (vegetação e solo), estado da cobertura vegetal e umidade do solo, os quais são modificados pela incidência de precipitação pluviométrica. Tal fato evidencia que, nos períodos das maiores medias diárias do albedo ( $\alpha$ ) foram observados os maiores valores de fator de cobertura vegetal (FCV) (Figura 7). A disponibilidade de água compreende o principal fator que controla a distribuição da vegetação sobre a superfície terrestre, influenciando as funções vitais e as reações adaptativas que capacita as plantas a sobreviverem por longos períodos, inclusive a períodos de estresse hídrico (DINIZ, 1999).

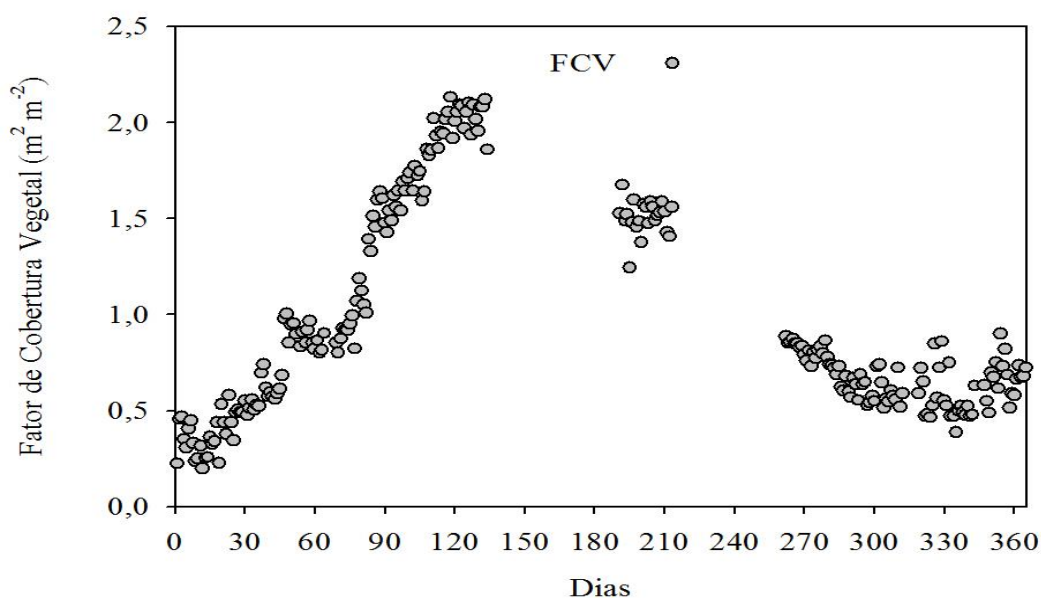


**Figura 6.** Caracterização sazonal do albedo em área de Caatinga degradada em Araripina, PE, para o ano de 2013.

As chuvas no início do primeiro semestre de 2013 (Figura 1) ocasionaram o aumento da cobertura do solo. Nesse período verificou-se que o fator de cobertura vegetal (FCV) mostrou-se mais elevado, chegando a atingir valores máximos de 2,31  $m^2 m^{-2}$  no final de abril (Figura 7), decorrente da folhagem remanescente formada em função das chuvas nos meses anteriores. Posteriormente, observou-se uma

redução da cobertura do solo no segundo semestre, atingindo valores mínimos de FCV próximos a  $0,38 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  no início de dezembro (Figura 7). Nessas condições, o baixo índice de precipitação associado às condições estressantes da atmosfera resultou na abscisão foliar da vegetação, conseqüentemente, uma diminuição da cobertura vegetal.

O conhecimento da área foliar é de fundamental importância, por ser um parâmetro utilizado na avaliação do desenvolvimento vegetal. A área foliar de uma dada espécie vegetal é diretamente relacionada com a sua capacidade fotossintética e de interceptação de luz, entre varias outras características (SEVERINO et al., 2004).

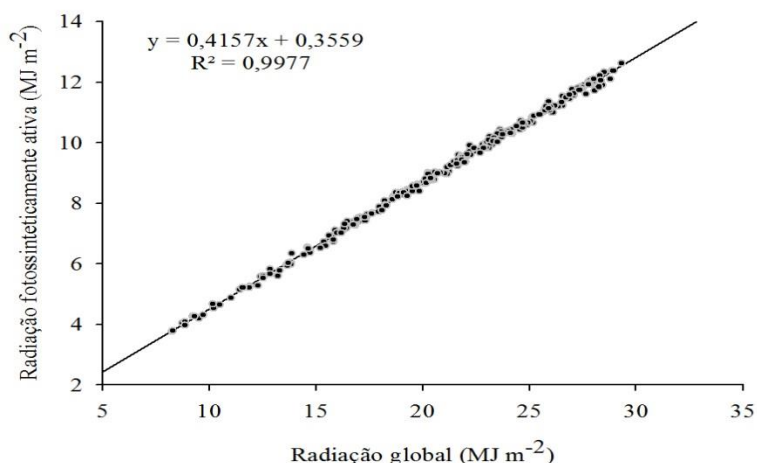


**Figura 7.** Caracterização sazonal do fator de cobertura vegetal (FCV) em área de Caatinga degradada em Araripina, PE, para o ano de 2013.

#### - Radiação fotossinteticamente ativa (PAR)

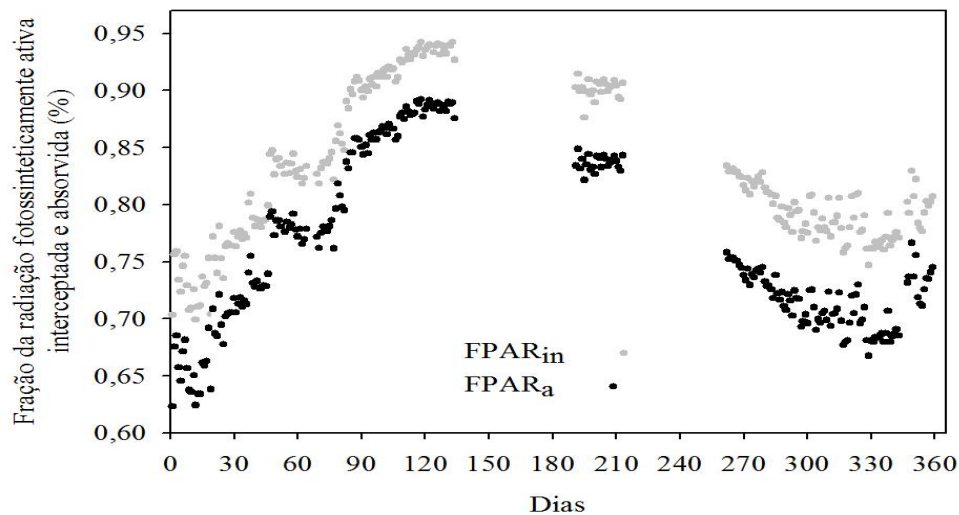
A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente no topo da vegetação variou de  $3,7$  a  $12,61 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  durante o ano de 2013, variando ao longo do ano de acordo com a incidência de  $R_g$ , as maiores valores médios ocorreram nos meses de outubro ( $10,27 \text{ MJ m}^{-2}$ ) e fevereiro ( $10,23 \text{ MJ m}^{-2}$ ), enquanto os mínimos foram verificados nos meses de abril ( $7,76 \text{ MJ m}^{-2}$ ) e de janeiro ( $7,97 \text{ MJ m}^{-2}$ ). Observa-se

uma relação linear entre PARi e Rg para o ano de 2013 apresentou-se de forma linear, com coeficiente de determinação igual a  $R^2 = 0,9977$  (Figura 8). Verificou-se também que a radiação fotossinteticamente ativa incidente representou cerca de 41% do total da radiação solar global, oscilando entre 41 e 46 % durante o ano de 2013.



**Figura 8.** Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa incidente e a radiação solar global em área de Caatinga degradada em Araripina, PE, para o ano de 2013.

O comportamento referente à fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (fPARin) e absorvida (fPARa), referente ao ano de 2013 é apresentado na Figura 9. Valor médio anual de fPARin foi igual a 0,82, sendo um pouco superior a fPARa (0,76), apenas 6,54% da radiação interceptada não foram absorvidas pela cultura. Os valores máximos foram observados no mês de abril, com fPARin foi igual 0,94 e a fPARa igual a 0,89. Esses valores mais elevados das frações estão associados ao desenvolvimento de folhas nas espécies da área de estudo, devido a eventos relacionados à chuva (Figura 1), onde a disponibilidade de água e luz promove o processo de fotossíntese e a formação de biomassa.



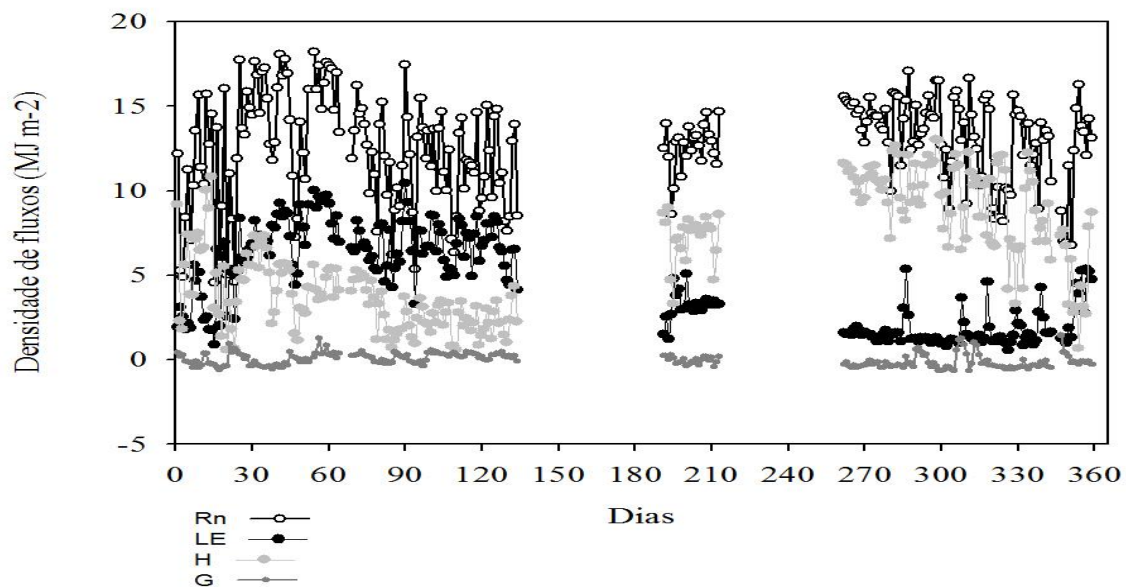
**Figura 9.** Caracterização sazonal da fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (fPAR<sub>in</sub>) e absorvida (fPAR<sub>a</sub>) em área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE, para o ano de 2013.

#### - *Balço de energia*

Os componentes do balanço de energia em uma área de caatinga degradada para o ano de 2013 pode ser observado na Figura 10. Observa-se na figura que os totais diários de Rn variaram entre 10 e 17 MJ m<sup>-2</sup> na maior parte dos dias estudados, entretanto, a maior partição da energia disponível (Rn) é utilizada na forma de calor sensível (H), principalmente no início do ano (janeiro) e no segundo semestre (Figura 10) quando os valores de H oscilaram entre 5 e 10 MJ m<sup>-2</sup> enquanto o LE esteve ao redor de 2,0 MJ m<sup>-2</sup>. Por outro lado, durante quase todo primeiro semestre, quando houve precipitação, LE foi superior ao H, e variou entre 5 e 9 MJ m<sup>-2</sup>. Mesmo em se tratando de uma área de Caatinga, no Semiárido, o fluxo de calor no solo é bem próximo de zero ao logo do dia. De acordo com Oliveira et al. (2006), em regiões sob condições limitadas de água (semiáridas), a maior parte da energia disponível é liberada em forma de (H).

A fração de Rn utilizada para aquecer o ar (H/Rn) foi em média 45% durante o ano, atingindo valores mínimos 19,23% no mês de abril, período onde verificou-se maior disponibilidade e acúmulo de água, devidos as chuvas nos meses anteriores,

aumentando gradativamente em períodos de estiagem, chegando a 74% no mês de outubro. Oliveira et al. (2004), em estudos realizados em caatinga preservada, encontraram valores semelhantes.

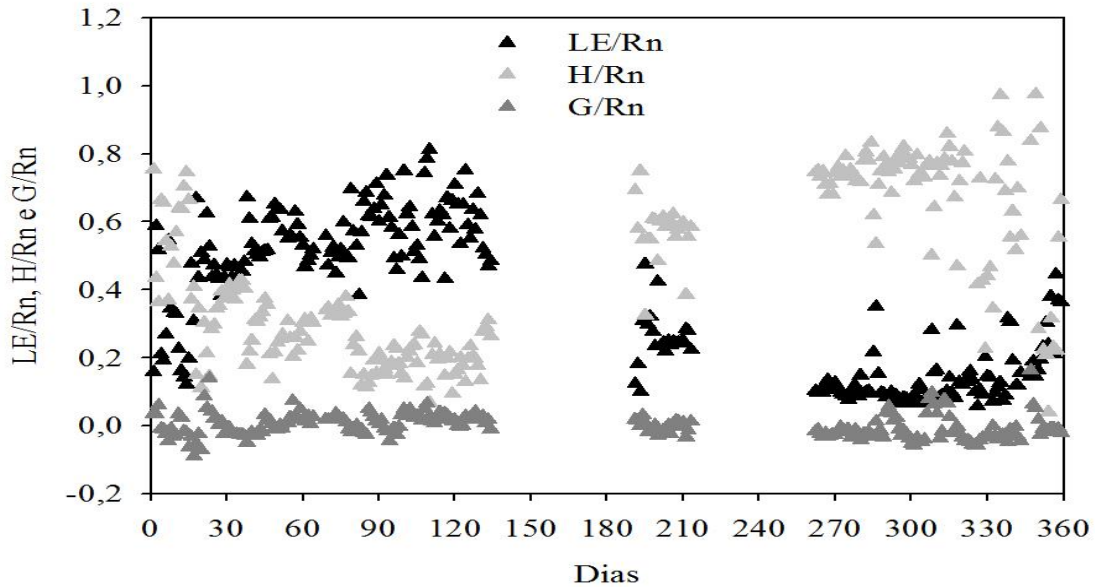


**Figura 10.** Caracterização sazonal da densidade de fluxo de energia: Saldo de radiação (Rg); Fluxo de calor latente (LE); Fluxo de calor sensível (H) e Fluxo de calor no solo (G) em área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE, para o ano de 2013.

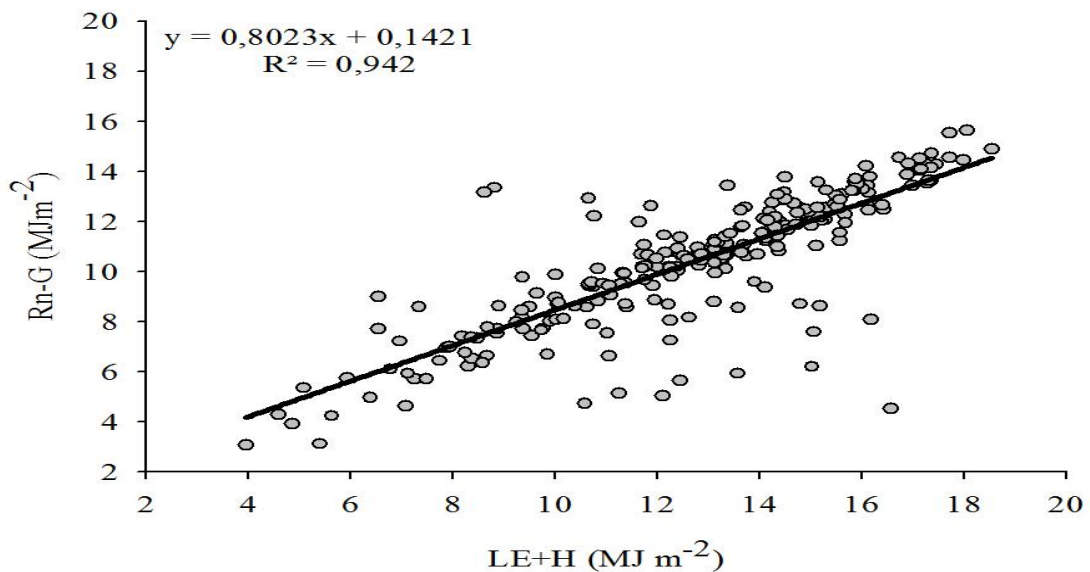
A fração de Rn utilizada para os processos de evapotranspiração da água do ecossistema (LE/Rn) iniciou o ano de 2013 com valores baixo, isso possivelmente decorrente de baixos índices de chuva nos meses anteriores, atingindo 37% no mês de janeiro. No entanto, após evento de precipitação, durante o primeiro semestre, (LE/Rn) atingiu a valores mais elevados no mês de abril 59,5%. Com a diminuição da umidade do solo, devido a ausência de precipitação, a maior parte da energia disponível passa a ser utilizada para aquecimento do ar (H), ocasionando a diminuição de (LE/Rn) atingindo valores mínimos no mês de outubro 10,6% (Figura 11).

Constatou-se que o valor médio da razão entre (LE+H) e (Rn-G) representou cerca de 80% do saldo de radiação ( $R^2 = 0,94$ ). Essa relação durante período de estudo pode ser observado na Figura 12. Em estudos sobre balanço de energia em regiões semiáridas, resultados semelhantes foram encontraram por Oliveira et al.,

(2006) e por Veenendall et al. (2004). O não fechamento do balanço de energia em regiões semiáridas está atribuído a alguns fatores, dentre eles, ao intenso gradiente de temperatura nas partes superiores do solo devido a alta insolação, resultando no armazenamento de calor na camada acima do sensor (VEENENDALL et al., 2004).



**Figura 11.** Partição do saldo de radiação ( $R_n$ ) nos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e de calor no solo (G), em área de Caatinga degradada em Araripina, PE, para o ano de 2013.

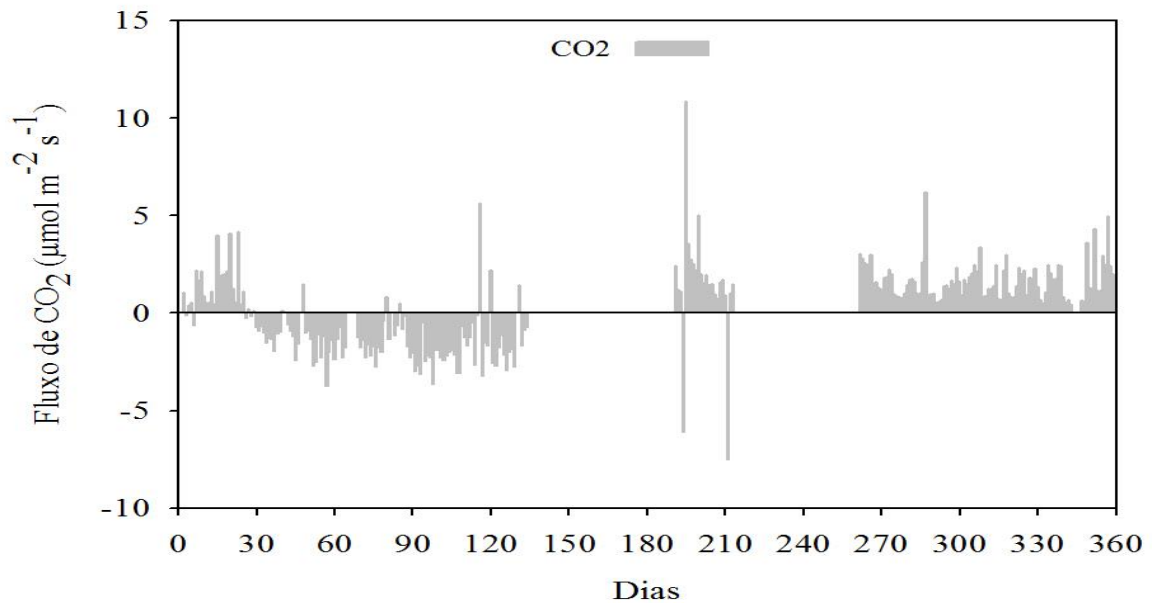


**Figura 12.** Relação entre a energia disponível no sistema ( $R_n - G$ ) e a soma dos fluxos de calor sensível e latente ( $LE + H$ ) em área de Caatinga degradada em Araripina, PE, para o ano de 2013.

- Fluxo de gás carbônico (CO<sub>2</sub>)

A Figura 13 apresenta a variabilidade do fluxo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para o ano de 2013. Os valores positivos indicam fluxos de CO<sub>2</sub> da vegetação para a atmosfera, enquanto valores negativos indicam fluxo de carbono da atmosfera para vegetação (SANTOS et al., 2012). Verificou-se que no início do primeiro semestre de 2013 a caatinga degradada apresentou-se com fluxos diários positivos médios da ordem de 1,04  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , esse valor pode estar relacionado aos baixos índices de chuvas nos meses anteriores, já que a média de FCV apresentou-se baixa, chegando a 0,56  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$  para esse período (Figura 7). No entanto, de fevereiro até metade de maio, o fluxo de carbono da Caatinga em regeneração chegou a valores médios diários na ordem de -1,43  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 13), indicando que a taxa de absorção de CO<sub>2</sub> pela vegetação nesse período supera a liberação, atuando como sumidouro. Nesse período também se observaram as maiores médias diárias de IAF chegando a 1,57  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ , e também constatou-se que os valores médios da temperatura do ar e do solo foram menores, alcançando 23,0 e 26,5°C, respectivamente; promovendo reduções na atividade microbiana e, conseqüentemente, menor liberação de CO<sub>2</sub> do solo.

Mesmo com falhas nos dados percebe-se que os resultados obtidos para o segundo semestre (julho a dezembro) mostram valores positivos nos fluxos de CO<sub>2</sub>, com média de 1,71  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ , quando a Caatinga atuou como fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, feriado em que se observou menor índice pluviométrico e de FCV (0,85  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ). Alterações na disponibilidade de umidade são determinantes para mudanças no regime de cobertura do dossel e impõem múltiplas adaptações a vegetação da Caatinga em regeneração. A redução na cobertura vegetal acarreta uma maior susceptibilidade do ambiente aos efeitos da radiação e insolação, com grandes variações diárias de temperatura, e acelera a atividade microbiana e perda de CO<sub>2</sub> do solo (BIGARRELLA et al., 1994).



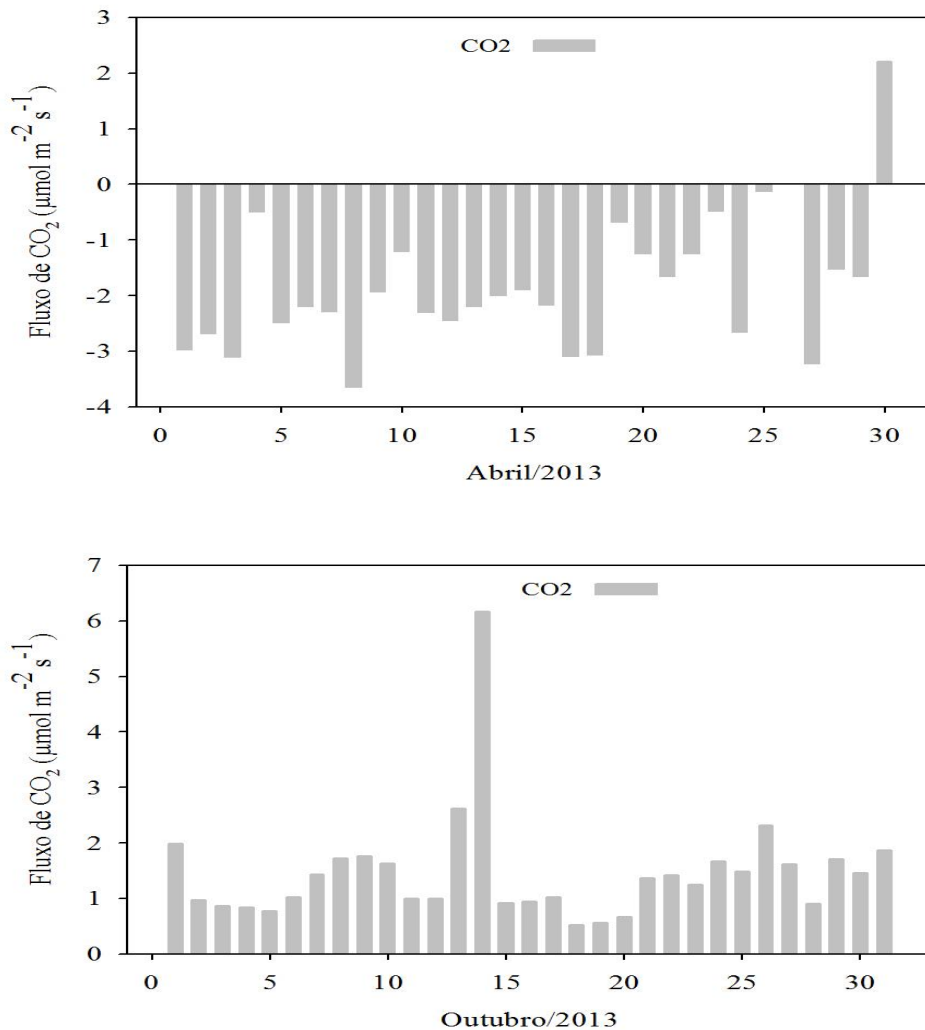
**Figura 13.** Variabilidade média diária do fluxo de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em área de Caatinga degradada em regeneração em Araripina, PE, para o ano de 2013.

A fim de se observar maiores detalhes nos valores dos fluxos diários de CO<sub>2</sub>, selecionou-se o mês de abril, representando o período chuvoso, e o mês de outubro da época seca (Figura 14). No mês de outubro considerado o período de seca, onde se observou déficit hídrico bastante elevado, os valores mínimos, médios e máximos do fluxo de CO<sub>2</sub> foram de 0,52, 1,46 e 6,17  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ , respectivamente (Figura 14B). Valores positivos, indicam que a fotossíntese foi minimizada nesse período, devido à queda das folhas para reduzir a perda de água por transpiração, consequentemente causando a diminuição da atividade metabólica do ecossistema. Em outubro, além da menor média diária do FCV ( $0,67 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ), ocasionando áreas mais extensas de solo exposto, maiores perda de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera, observou se também valores médios mais elevados de temperatura do ar ( $24,46^\circ\text{C}$ ) e do solo ( $31,62^\circ\text{C}$ ). Vários fatores incluindo temperatura, umidade, profundidade do solo, aeração e populações microbianas, determinam a taxa de fluxo de CO<sub>2</sub> para atmosfera (SANTOS et al., 2012).

Os resultados obtidos para abril (período chuvoso) apresentados na Figura 14A mostram comportamento inverso ao mês de outubro, onde a variação média do fluxo de CO<sub>2</sub> foi de  $-1,88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ , indicando que a taxa de absorção da Caatinga em



regeneração é superada pela de absorção, passando de emissor no período seco para sumidouro no período chuvoso. Isto está associado ao período de alto índice pluviométrico do primeiro semestre, maior média da área foliar ( $1,77\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) e menores temperaturas do ar ( $22,53^\circ\text{C}$ ) e do solo ( $25,10^\circ\text{C}$ ).



**Figura 13.** Variabilidade média diária do fluxo de CO<sub>2</sub> em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$  em área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE, para o mês de abril (A) e outubro (B) de 2013.

O ano de 2013 na região do Araripe pernambucano apresentou precipitação inferior à média histórica, influenciando no desenvolvimento da vegetação, e por sua vez, em suas relações com a atmosfera. 41% da radiação solar incidente corresponde à radiação fotossinteticamente ativa (PAR); com coeficiente de reflexão para ondas curtas (albedo) variando de 11 a 16,5% e o índice de área foliar entre 0,3

e  $2,1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Assim, durante o ano de 2013, 45% do saldo de radiação foi utilizado para aquecimento na forma de fluxo de calor sensível (H), com fechamento do balanço de energia igual a 80%. O fluxo de calor no solo (G) representou apenas 1% do saldo de radiação. Todas essas informações contribuíram para que a assimilação de carbono na caatinga degradada seja altamente dependente da ocorrência de chuvas, e responsiva a temperatura do ar e do solo, portando-se, como sumidouro de  $\text{CO}_2$  atmosférico durante o primeiro semestre do ano e fonte no segundo.

As características ambientais de uma área de Caatinga degradada foram bem representadas para o ano de 2013 na área da Chapada do Araripe, apesar de terem ocorrido falhas nos dados. Novas análises nos dados precisam ser realizadas a fim de se verificar os totais de carbono fixados pela vegetação na forma de produção primária bruta. A continuidade das medidas micrometeorológicas em área de Caatinga degradada poderão contribuir para melhoria da resposta de modelos climáticos, visto que quase 50% do Bioma Caatinga já foram alterados.

### **3.1.6 CONCLUSÕES**

- O balanço de energia ( $R_n$ ) variou em resposta à variação sazonal da radiação solar, mas também de acordo com a variação sazonal da umidade do solo, do índice de área foliar;
- A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) medida acima do dossel em regeneração de caatinga apresenta elevada correlação com a radiação solar global ( $R_g$ );
- A maior partição da energia disponível é utilizada na forma de calor latente (LE) no primeiro semestre e como calor sensível (H) durante o segundo semestre, sendo que este correspondeu a 45% do saldo de radiação durante o ano;
- A assimilação de carbono na caatinga em regeneração é altamente dependente da ocorrência de chuvas, e responsiva a temperatura do ar e do solo, portando-se, como sumidouro de  $\text{CO}_2$  atmosférico durante o primeiro semestre do ano e fonte no segundo.

### **3.1.7 AGRADECIMENTOS**

À FACEPE pela concessão da Bolsa de Mestrado, ao IPA pela disponibilização da área e dados de chuva, a FINEP por meio do Projeto MUCLIFE pelo financiamento dos equipamentos, à Embrapa pela infraestrutura de apoio.

### **3.1.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; AMARAL, T. B.; MENEZES, S. J. M. C. Estimativa do Albedo em áreas de pastagem e floresta no Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009, Viçosa, MG. Viçosa, MG: UFV, 2009. 5 p. 1 CD-ROM.

ARAÚJO FILHO, J. E.; MOURA, M. A. L.; MAIA, R. G. X.; ANDRADE, A. M. D.; SANTOS, A. B.; CARNEIRO, R. G. Avaliação da radiação solar global e albedo em função do ângulo zenital em uma floresta de mata atlântica no município de Coruripe-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros: anais. Guarapari: Incaper, 2011. 1 CD-ROM.

BARROS, J. P. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B. Comportamento da temperatura da superfície da Caatinga em Petrolina, PE. In: XVI Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2014, Serra Talhada. XVI Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão. Recife: UFRPE, 2014.

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

BISHT, G.; Venturini, V.; Islam, S.; Jiang, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear-sky days. Remote Sensing of Environment, v.97, n.1, p.52–67, 2005.

CONFERÊNCIA REGIONAL SOBRE MUDANÇAS GLOBAIS: AMÉRICA DO SUL, 3., 2007, São Paulo. Mudança climática - rumo ao novo acordo mundial: relatório científico. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, 2008. 240 p.

COUTO, D. L. N. Albedo em cerrado sensu stricto como resposta à variação climática e biológica - conexões com índice de vegetação, estoques de carbono e fluxos de CO<sub>2</sub>. Dissertação: Mestrado em Geografia Física. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, USP, 2009. 93p.

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região Semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.2, 139-152, 2013.

DECAGON DEVICES INC. AccuPAR. Linear PAR/LAI ceptometer Model PAR-80. Operator's Manual Version 3.4. Pullman, WA. 2001. 149 p.

DINIZ, I. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B.; RODRIGUES, G. D. S. Comportamento Sazonal da Radiação Fotossinteticamente Ativa em Vegetação de Caatinga no Submédio do Vale São Francisco. In: VIII Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 2013, Petrolina. VIII Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 2013.

DINIZ, M. C. M. M. 1999. Desenvolvimento e rebrota da cunhã (*Clitoria ternatea* L.) sob estresse hídrico, em associação com fungos micorrízicos-*Bradyrhizobium*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

DUARTE, H. F. Um método para medições de um fluxo de calor latente a partir de sensores de umidade capacitivos. 2006. 137 f. Tese (Mestrado em Ciências) - Setor de Tecnologia e Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2006.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B.; SILVA, B. B.; ROCHA, H. R.; MEDEIROS, S. R. R.; NAZARENO, A. C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.279–287, 2010.

LEITÃO, M. M. V. B. R. Balanço de radiação em três ecossistemas da Floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa. 1994. 135p. Tese. Micrometeorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, G. M. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.256-261, 2002.

LIMA, P. C. da S; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; AZEVEDO, P. V.; OLIVEIRA, G. M. de; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MOURA, M. S. B. de; MENEZES, H. E. A.; PINTO, M. G. C. de L. Albedo de pastagem e caatinga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável. Belo Horizonte: SBA: UFV: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 1 CD-ROM.

MORAES, M. G. S.; FINGER, A.; PAULO, I. J. C. Caracterização preliminar da variabilidade sazonal do albedo da superfície no cerrado sensu stricto mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 2, v. 6, p. 13-17, 2012.

MOURA, M. S. B.; PIRES, W. N.; SOUZA, L. S. B.; RODRIGUES, G. D. S.; LACERDA, F. F. Balanço de radiação durante o período chuvoso em uma área de Caatinga em regeneração na Chapada do Araripe - PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 18, 2014, RECIFE. O papel da meteorologia na construção de uma sociedade sustentável. RECIFE: SBMET, 2014a.

OKE, T. R. The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*.v.12, p. 471-508, 1988.

OLIVEIRA, B. L.; SANTOS, A. J. B.; MANIZ, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORRERIAS, A. O.; 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, n.3b, 378-386, 2006.

OLIVEIRA, G.; MORAES, E. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F. T.; ALVALÁ, R. C. S.; SANTOS, T. V. Avaliação do albedo em diferentes tipos de uso e

cobertura da terra no sudoeste da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVI, SBSR, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**, p. 8706-8713, 2013.

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**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 378-386, 2006.

PIRES, W. N.; MOURA, M. S. B.; RODRIGUES, G. D. S.; LACERDA, F. F. Radiação fotossinteticamente ativa durante o período chuvoso em vegetação de Caatinga em regeneração na Chapada do Araripe, PE. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA REALIDADE SEMIÁRIDA, 2.; SIMPÓSIO ALAGOANO SOBRE ECOSISTEMAS DO SEMIÁRIDO, 3., 2014, Delmiro Gouveia. Anais... Delmiro Gouveia: UFLA, Campus do Sertão, 2014. 1 CD-ROM.

REZENDE, L. F.; ARENQUE, B.; RANDOW, C.; MOURA, M. S. B.; AIDAR, S. T.; BUCKERIDGE, M. S.; MENEZES, R.; SOUZA, L. S. B.; OMETTO, J. P. H. B. Calibration of the maximum carboxylation velocity ( $V_{cmax}$ ) for the Caatinga for use in dynamic global vegetation models (DGVMs). In: AGU Fall Meeting, 2013, San Francisco. AGU, 2013.

SANTOS, A. B.; ANDRADE, A. M. D.; MOURA, M. A. L.; SCHMIDT, D. M. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e albedo PAR durante a época seca em uma floresta tropical (mata atlântica) em Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém, PA. A Amazônia e o clima global: anais. Belém, PA: SBMET, 2010. 1 CD-ROM.

SANTOS, J. C. et al. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. *Tropical Conservation Science*, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.

SANTOS, S. A.; CORREIA, M. F.; ARAGÃO, M. R. S.; SILVA, P. K. O. Aspectos da variabilidade sazonal da radiação, fluxos de energia e CO<sub>2</sub> em área de Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 04, p. 761-773, 2012.

SEVERINO, L.S.; CARDOSOS, G.D.; VALE, L.S.; SANTOS, J.W. Método para determinação da área foliar da momoneira. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v. 8, n.1, p. 753 -762, 2004.

SOUZA, L. S. B. Análise sazonal dos fluxos de carbono, energia e vapor d'água em um ecossistema de caatinga durante um ano seco em Petrolina-PE. Tese de Doutorado em Meteorologia Agrícola: Universidade Federal de Viçosa, 2014, 116p.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Balanço de Radiação em Ecossistema de Caatinga Preservada Durante um Ano de Seca no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2015. (no prelo).

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDYAMA, G. C.; RANDOW, C. V.; LACERDA, F. F.; SILVA, T. G. F. Comportamento do albedo durante o período chuvoso em uma área de caatinga degradada na região da chapada do Araripe - PE. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado. Incertezas e desafios para a sustentabilidade planetária: o papel da ciência meteorológica. Rio de Janeiro: SBMET, 2012.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. *Remote Sensing, Basel*, v. 2, n. 5, p.1287-1319, 2010.

VEENENDAAL, E.M.; KOLLE, O.; LLOYD, J. Seasonal variation in energy fluxes and carbon dioxide exchange for a broad-leaved semi-arid savanna (Mopane woodland) in southern Africa. *Global change Biology*, v. 10, p. 318-328, 2004.

VILLA NOVA, N.A. *Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz*. Piracicaba, 1973. 89p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

## 3.2. ARTIGO 2 - VARIAÇÃO DIURNA DOS ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE CINCO ESPÉCIES DE CAATINGA EM REGENERAÇÃO NA CHAPADA DO ARARIPE

### 3.2.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar as variações diurnas das trocas gasosas, fluorescência de clorofila *a* e do potencial hídrico foliar em cinco espécies da caatinga em regeneração na Chapada do Araripe. O trabalho foi conduzido em uma área de caatinga em regeneração no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Araripina, PE. Foram estudadas cinco espécies que apresentaram maior ocorrência entre os grupos arbustivo-herbáceo (*Passiflora cincinnata* e *Croton heliotropiifolius*) e arbóreo (*Pithecolobium multiflorum*, *Mimosa arenosa* e *Anadenanthera colubrina*). Para obtenção dos parâmetros fisiológicos foi realizada uma campanha de monitoramento das trocas gasosas ao longo do dia, em cinco horários e três repetições para cada espécie. Foram determinados a fotossíntese líquida (A), a condutância estomática (gs), a transpiração (E), a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e a eficiência do fotossistema II (Fv/Fm). Como resultados, *Croton heliotropiifolius* e a *Mimosa arenosa* apresentaram as maiores taxas fotossintéticas (A), com valores de 18,32  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$  às 7h e 15,74  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$  às 10h, e também os maiores valores de condutância estomática (gs) 0,181 e 0,166  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ . O *Croton Heliotropiifolius* teve o maior decréscimo na taxa fotossintética, reduzindo 73,57% próximo às 13 horas; a *Mimosa Arenosa* e a *Anadenanthera colubrina* apresentaram valores menores 20,18% e 22,93% respectivamente. Nas análises feitas próximas às 13h, com Tar e DVP elevados, a *Anadenanthera colubrina* e a *Mimosa arenosa* apresentaram os menores índices de redução de (gs), com 7,34 e 17,79%, respectivamente. A espécie que apresentou melhor eficiência no aumento da resistência estomática foi *Croton heliotropiifolius*, reduzindo o gs em 74,66%. As maiores taxas de transpiração (E) ocorreram às 13 h nas espécies *Mimosa Arenosa* (6,15  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ ) e *Anadenanthera colubrina* (5,7  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ ). O potencial hídrico caulinar ( $\Psi_f$ ) variou ao longo do dia, sendo mais negativo no período da tarde. Todas essas informações contribuíram para o conhecimento dos processos fisiológicos das espécies analisadas ao longo de um dia.



**Palavras-chave:** Eficiência quântica; estresse hídrico e Caatinga.

### 3.2.2 ABSTRACT

This work aimed to analyze the diurnal variations of gas exchange, chlorophyll fluorescence and the leaf water potential in five species of the Caatinga in regeneration conditions in the Chapada do Araripe, Pernambuco State, Brazil. The field campaign was conducted in an area of Caatinga under regenerating period located at the Company Pernambuco Agricultural Research (IPA) in Araripina, PE. Two species of shrub and herbaceous group (*Passiflora cincinnata* and *Croton heliotropiifolius*) and three of the tree group (*Pithecolobium multiflorum*, *Mimosa arenosa* and *Anadenanthera colubrina*) were studied. The physiological parameters measured in a monitoring campaign of gas exchange throughout the day (in five times) in three replicates for each species. Were determined net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), the internal CO<sub>2</sub> concentration (Ci) and the efficiency (Fv/Fm). *Croton heliotropiifolius* and *Mimosa arenosa* had the highest photosynthetic rates (A), with 18.32  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$  at 7h and 15.74  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$  at 10h, and also for stomatal conductance (gs) 0.181 and 0.166  $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ . *Croton Heliotropiifolius* had the largest decrease in photosynthesis, reducing 73.57% close to 13h. However, *Mimosa arenosa* and *Anadenanthera colubrina* showed lower values reduced by 20.18% and 22.93% respectively. At 13h the Tar and DVP presented the most high values. *Colubrina anadenanthera* and *Mimosa arenosa* had the lowest reduction (gs), with 7.34 and 17.79%, respectively. The species with the best efficiency in increased stomatal resistance was *Croton heliotropiifolius*, reducing gas at 74.66%. The higher transpiration rates (E) occurred at 13h for *Mimosa arenosa* (6.15  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) and *Anadenanthera colubrina* (5.7  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ). These factors may be linked to lower reduction (gs) and also by wind speed. The fluorescence data showed that individuals had rates below normal, indicating stress condition. The stem water potential ( $\Psi_f$ ) varied throughout the day, being more negative in the afternoon, this can be linked to environmental conditions, where the highest rates of vapor pressure deficit, air temperature and wind speed were observed.

**Keywords:** quantum efficiency; water stress and Caatinga.

### 3.2.3 INTRODUÇÃO

A Caatinga compreende um bioma exclusivamente brasileiro, ocupando cerca de 9% do território nacional e 55% da região Nordeste (IBGE, 2004). De sua área total de 826.411 km<sup>2</sup>, 45,6% foi desmatada até 2009, com destaque para os estados de Alagoas, Sergipe e Pernambuco (MMA, 2010). Esse desmatamento é, em sua maior parte, decorrente do uso de vegetação nativa para fins energéticos, uma vez que a grande parte da população que habita as áreas de caatinga exerce forte pressão sobre os recursos naturais deste bioma. Esse desmatamento é preocupante, por vários motivos, com destaque para o fato de que as espécies vegetais da Caatinga são de importância incontestável nas suas formações. Além disso, a devastação da cobertura vegetal nativa desta região fitogeográfica pode provocar impactos ambientais de grande magnitude, cujas consequências ainda não são totalmente conhecidas. Tais consequências exigem intervenção imediata no sentido de amenizar os problemas daí decorrentes, como ações de recuperação, manejo sustentável e preservação de áreas nativas, dentre outras.

A vegetação da Caatinga é caracterizada por apresentar espécies altamente adaptadas ao clima semiárido, que perdem as folhas como um mecanismo para reduzir a perda de água, formando uma vegetação do tipo mata seca e caducifólia. A região semiárida se caracteriza pelo balanço hídrico negativo, resultante das precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2.800 h ano<sup>-1</sup>, temperaturas médias anuais de 23° a 27° C, evaporação de 2.000 mm ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar média em torno de 50% (MOURA et al., 2007), com risco de seca acima de 60% (VALENTE JÚNIOR, 2010).

A elevada demanda evaporativa em associação a outros fatores ambientais característicos do bioma Caatinga, como a baixa precipitação e sua marcante sazonalidade provocam, conseqüentemente, redução da umidade do solo, um dos fatores que mais afeta a taxa fotossintética de uma planta e a disponibilidade de água no solo. O déficit hídrico altera o metabolismo e causa perdas na produtividade dos vegetais (TROVÃO et al., 2007; SANTOS et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2000).

Plantas submetidas a estresse hídrico severo frequentemente apresentam um marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por um decréscimo significativo do

rendimento quântico. Neste caso, o déficit hídrico em combinação com altos níveis de irradiância, pode causar redução na eficiência do fotossistema II (BAKER, 1993). Ao longo do dia, além da luminosidade, o potencial hídrico e a variação no déficit de pressão de vapor (DPV) são fatores que mais influenciam nas taxas fotossintéticas (MONTEITH, 1995; SINGSAAS et al., 2000; IIO et al., 2004).

Outra resposta da planta ao déficit hídrico é a redução da transpiração por meio do fechamento estomático, que pode ser considerado para algumas espécies como a primeira linha de defesa contra a dessecação. No entanto, essa resposta tem como consequência o prejuízo na fotossíntese pela diminuição da entrada de CO<sub>2</sub> nas folhas (NOGUEIRA; SILVA, 2002), comprometendo a produção de matéria seca e o crescimento da planta (LARCHER, 2004).

Em estudos com plantas da caatinga, Santos et al. (2014) verificaram que a assimilação de carbono reduziu gradativamente ao longo do dia, fato este associado ao aumento do déficit de pressão de vapor (DPV) que proporcionaram redução na abertura estomática contribuindo para manter a redução de perda de água por transpiração, e ocasionando, assim, a diminuição da capacidade fotossintética da planta.

De acordo com Costa e Marengo (2007) vários processos podem ser influenciados pelo estresse hídrico, dentre eles o potencial de água na folha, a resistência estomática, a transpiração, a fotossíntese e a temperatura foliar.

Estudos das relações hídricas e respostas das plantas à seca são muito importantes, pois com o aumento da temperatura devido às mudanças climáticas global, é esperado um maior déficit hídrico para as plantas (CHAVES et al., 2003).

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar as variações diurnas dos parâmetros fisiológicos e do potencial hídrico foliar em cinco espécies da caatinga em regeneração na Chapada do Araripe, em busca de um melhor entendimento deste ecossistema.

### **3.2.4 MATERIAL E MÉTODOS**

*- Caracterização e localização da área experimental*

O trabalho foi conduzido em uma área com vegetação de caatinga em regeneração no município de Araripina, PE, localizada no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA (7° 27' S; 40° 24' W, 828 m). O clima dessa região é classificado como BSw<sup>h</sup>, ou seja, semiárido, com precipitação média em torno de 752 mm anuais, temperatura média anual do ar de 24°C, evaporação de 1.127 mm ano<sup>-1</sup> e umidade relativa anual em torno de 55,2% (SOUZA et al., 2012). A área experimental abrange cerca de 4 ha, e encontra-se bastante degradada pelo cultivo, em anos anteriores de culturas agrícolas, como feijão, milho e sorgo. Para a implantação destes agrossistemas, foram utilizadas as práticas de roços e queimadas no desmatamento da caatinga, posteriormente, foi feito um plantio de feijão, por últimas semeadas as culturas de milho e o sorgo, em 1995. Atualmente, a área é composta, predominantemente, por uma vegetação de porte arbustivo-herbáceo, com altura média em torno de 1,2 metros, e arbóreas pouco frequentes com altura entre 2,0 e 4,0 metros. Foram selecionadas para estudo cinco espécies que apresentaram maior ocorrência entre os grupos arbustivo-herbáceo (*Passiflora cincinnata* e *Croton heliotropiifolius*) e arbóreo (*Pithecolobium multiflorum*, *Mimosa arenosa* e *Anadenanthera colubrina*).

#### - Curso diário das condições microclimáticas

As condições meteorológicas da área experimental foram monitoradas para todo ano de 2013, sendo que as curvas diárias dos elementos meteorológicos são apresentadas para o dia em que foram obtidos os parâmetros fisiológicos das espécies características da área de estudo.

As medições foram efetuadas por meio de sensores instalados em uma torre de 8,0 m de altura, localizada no centro da área experimental e equipada com um sistema de aquisição de dados (datalogger modelo CR1000 + multiplexador AM 16x32, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA). As variáveis medidas foram temperatura (Tar) e umidade relativa do ar (UR), radiação solar global (Rg), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), precipitação, Velocidade do vento (Vv) e Fotossistema II (Fv/Fm), sobre o ecossistema.

### *- Parâmetros fisiológicos*

Os aspectos fisiológicos foram analisados para um dia (19/09/2013) típico no período seco, porém quando as plantas ainda apresentavam folhas. Foram realizadas campanhas de monitoramento ao longo do dia, em cinco horários (4 h, 7 h, 10 h, 13 h e 16 h), em três repetições (indivíduos) para cada espécie. Parâmetros relacionados às trocas gasosas, como fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E), foram mensuradas com o auxílio de um analisador portátil de trocas gasosas por infravermelho - IRGA (modelo LI-6400XT, Li-Cor, EUA).

Para medições do potencial hídrico as medições foram realizadas em dois horários (04h45 e 13 h).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Os testes estatísticos foram feitos utilizando o programa Assistat e os gráficos por meio do SigmaPlot.

### **3.2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

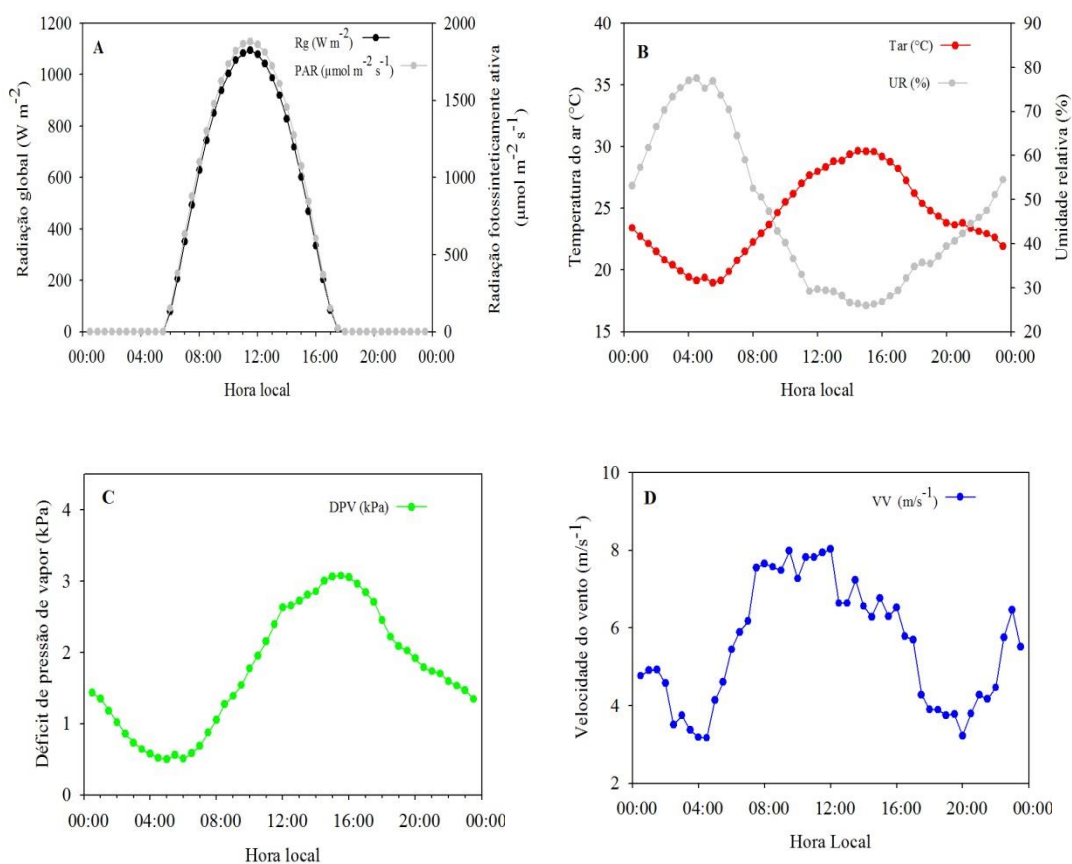
O ano de 2013 foi caracterizado pela ocorrência de 507 mm de precipitação, sendo que 378 mm (74,56%) foram verificados no primeiro semestre; enquanto no segundo semestre do ano, praticamente só ocorreram precipitações nos meses de julho e dezembro. Portanto, 2013 apresentou total de chuva inferior à média histórica da região, que é de 752 mm (SOUZA et al., 2012). A chuva e a evapotranspiração definem o balanço hídrico climático, cuja distribuição ao longo do ano influencia na disponibilidade de água e no desenvolvimento das espécies mais do que qualquer outro fator (SILVIA; FREITAS, 1998), desde suas funções vitais, ou até estimulando reações adaptativas que capacitem as plantas a sobreviverem por longos períodos de estresse hídrico (DINIZ, 1999). A precipitação ocorrida no mês de julho (68 mm) permitiu uma recuperação da cobertura vegetal na área de estudo, porém, a alta demanda evaporativa associada à falta de chuva no segundo semestre, pode ter ocasionado um período de déficit hídrico prolongado, interferindo

de forma direta na cobertura vegetal, e dessa forma, algumas espécies já se apresentavam totalmente sem folhas e, ou com folhas velhas no mês de setembro, quando as medidas fisiológicas foram realizadas. Entre 01 de janeiro e 19 de setembro de 2013 ocorreram 499,8 mm de chuva na área de estudo, sendo que entre os dias 01 e 18 de setembro, período que antecedeu as medidas ecofisiológicas, não houve precipitação.

A caracterização meteorológica do dia selecionada para as análises fisiológicas encontra-se na Figura 1. Conforme pode ser observado na figura, 1A esse dia foi marcado pela alta disponibilidade de radiação solar (Figura 1A), com valor máximo em torno de  $1.100,00 \text{ W m}^{-2}$  ocorrendo próximo ao meio dia local. A temperatura mínima foi  $18,9^\circ \text{ C}$ , às 06h, enquanto a máxima foi da ordem de  $30^\circ \text{ C}$ , por volta das 15h, contrastando com os valores de umidade relativa, que variaram entre 77 e 25 % (Figura 1B). As condições de Tar e UR resultaram no déficit de pressão de vapor (DPV) crescente a partir do início da manhã até alcançar valor máximo de 3,0 KPa por volta das 15h30 (Figura 1C). Já o vento, que também é um condicionante dos fatores de estresses, ficou superior a  $5,0 \text{ m s}^{-1}$  durante a maior parte do dia (Figura 1D).

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a radiação solar incidente (Rg) apresentaram relação significativa representada pela equação  $y = 1,7349 \cdot Rg + 4,8635$  com  $R^2 = 0,9998$ . A curva de PAR seguiu a de Rg, e seu valor máximo também foi observado próximo ao meio dia local, da ordem de  $1.800,79 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

A fotossíntese líquida (A) foi mais elevada no início da manhã, com taxas que variaram de  $5,89$  a  $18,32 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , destacando-se das demais espécies, o *Croton heliotropiifolius* e a *Mimosa arenosa* que apresentaram as maiores taxas do dia com  $18,32 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  às 07h e  $15,74 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  às 10 h, respectivamente (Figura 2A). A maior eficiência fotossintética observada nos primeiros horários, provavelmente, esta associada as condições do tempo mais amenas, favorecendo a maior abertura estomática. Entretanto, nos horários próximos às 13h foram verificados decréscimos da taxa fotossintética em todas as espécies, o que pode estar associado ao aumento do DPV. No período diurno a condutância estomática responde às mudanças na diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar. No geral, os estômatos fecham à proporção que o DPV aumenta (LLOYD et al., 1995).



**Figura 1.** Caracterização meteorológica da área de Caatinga em regeneração em Araripina, PE para o dia 19 de setembro de 2013: (A) radiação solar incidente ( $R_g$ ) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR), (B) temperatura ( $T_{ar}$ ) e umidade relativa do ar (UR), (C) déficit de pressão de vapor (DPV) e (D) velocidade do vento (VV).

Das espécies estudadas o *Croton heliotropiifolius* teve o maior decréscimo na taxa fotossintética, reduzindo 73,57% próximo às 13 h. No entanto, a *Mimosa arenosa* e a *Anadenanthera colubrina* apresentaram menores valores de redução (20,18% e 22,93%, respectivamente). A radiação elevada observada combinada com outros fatores ambientais adversos contribui com a diminuição da capacidade fotossintética da planta, podendo levar esta à fotoinibição (MORAIS et al., 2007).

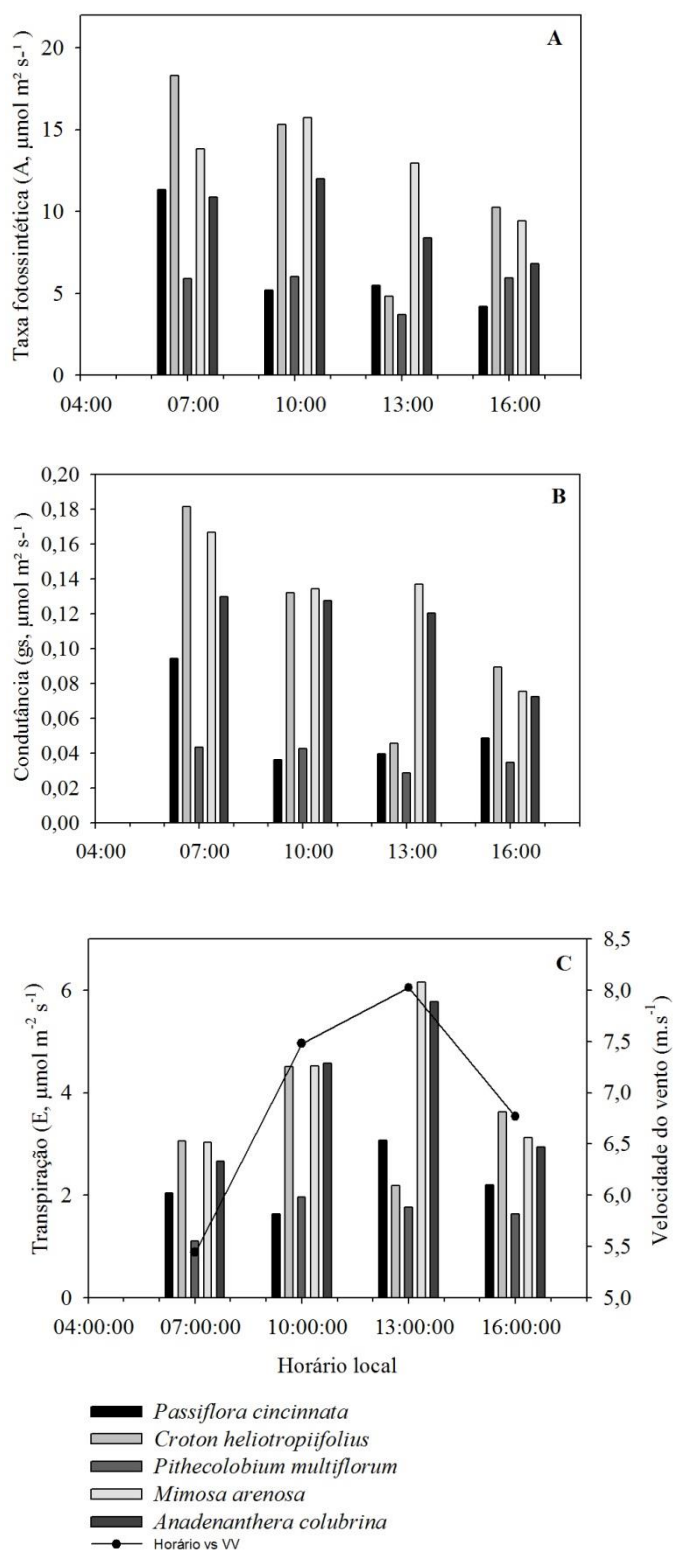
Em relação à condutância estomática ( $g_s$ ), quando compara-se as análises nos primeiros horários, todas as espécies obtiveram decréscimo ao longo do dia, sendo que no início da manhã a *Croton heliotropiifolius* e a *Mimosa Arenosa* obtiveram os maiores valores de  $g_s$   $0,181$  e  $0,166 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ , respectivamente. Entretanto, nas análises realizadas às 13h, com alta  $T_{ar}$  e DPV, a *Anadenanthera colubrina* e a

*Mimosa arenosa* apresentaram os menores índices de redução de (gs), com 7,34 e 17,79%, respectivamente (comparando esses resultados com os primeiros horários). A espécie que apresentou maior eficiência no aumento da resistência estomática foi a *Croton heliotropiifolius*, reduzindo a gs em 74,66%, comparando-se horários da manhã com horários próximos ao meio dia. Possivelmente, esta espécie seja a que mais economiza água e a redução da sua condutância estomática, e conseqüentemente, na fotossíntese ao longo do dia pode ser atribuída ao aumento do DPV, sem excluir o efeito da alta irradiância (COSTA et al., 2007). Plantas submetidas à deficiência hídrica, além de apresentarem redução da abertura estomática, também reduzem o tempo em que os estômatos permanecem abertos (LARCHER et al., 2000). Essa relação nas figuras 2A e 2B verifica-se uma relação direta entre a condutância e a taxa fotossintética analisadas. A relação da condutância estomática e da fotossíntese em plantas de caatinga também foi observada por Nogueira e Silva 2002; Silva et al., 2004 e Santos et al., 2014.

As maiores taxas de transpiração (E) ocorreram às 13h na *Mimosa arenosa* ( $6,15 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ ) e na *Anadenanthera colubrina* ( $5,7 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ ) (Figura 2C), o que certamente pode estar relacionado a valores mais elevados de (gs), nesse horário; bem como, velocidade do vento elevada, contribuindo para maior transferência de vapor d'água, que afeta diretamente a camada limítrofe. Ela aumenta com o aumento do tamanho da folha e diminui quando a velocidade do vento aumenta. Essa relação pode ser observada nas espécies *Passiflora cincinnata* às 13h e na *Croton heliotropiifolius* às 10h (Figura 2C). *Mimosa arenosa* e a *Anadenanthera colubrina* aumentaram a transpiração em relação ao primeiro horário em 50,72 e 53,89 %, no entanto, a *Croton heliotropiifolius* apresentou comportamento contrário às demais espécies, reduzindo a transpiração em 51,53%, mostrando-se ser a espécie com maior economia de água.

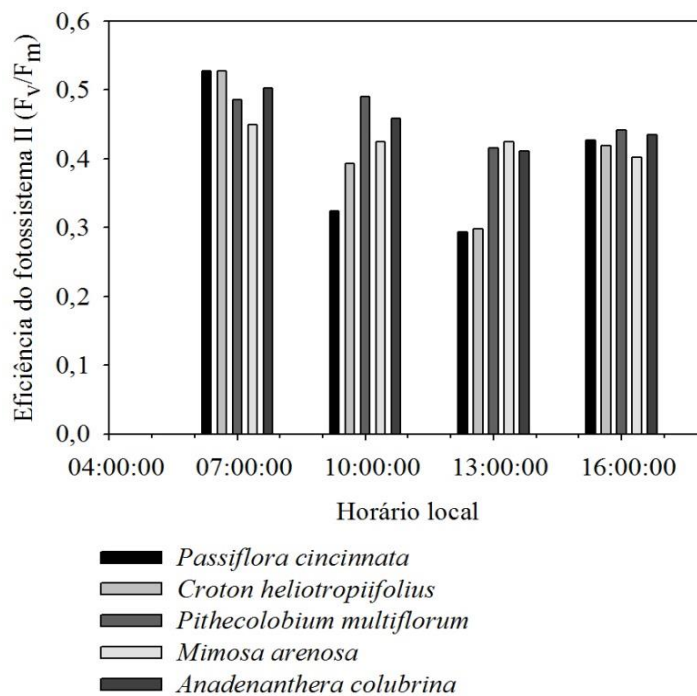
Em estudo realizado com espécies da Caatinga, as maiores taxas de transpiração ocorreram às 10 h (SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2004). O estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água pelo fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese (NOGUEIRA et al., 1998).





**Figura 2.** Variação diurna de parâmetros fisiológicos, observadas em cinco espécies de Caatinga em regeneração, para o dia 19/09/2013, em Araripina, PE: (A) Fotossíntese ( $A$ ); (B) Condutância estomática ( $g_s$ ); (C) Transpiração ( $E$ ) e velocidade do vento ( $VV$ ).

A relação  $F_v/F_m$  reflete a proporção de energia luminosa absorvida pelas clorofilas no fotossistema II que é utilizada no transporte de elétron (MARENCO et al., 2014). Os valores médios da eficiência do fotossistema II podem ser observados na Figura 3. Observa-se que a eficiência do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) teve variação diária dentre as espécies de 0,29 a 0,52, demonstrando que houve fotoinibição em todas as espécies. Segundo Maxwell e Johnson (2000) e Araújo et al. (2004), valores de  $F_v/F_m$  inferiores a 0,750 indicam situação de estresse e, portanto, redução do potencial fotossintético da planta. Isto evidencia que a deficiência hídrica e as condições climáticas podem ser suficientes para provocar danos no aparato fotossintético nos fotossistemas PS II nas espécies de Caatinga em regeneração.



**Figura 3.** Eficiência do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em cinco espécies de caatinga em regeneração, referente ao dia 19/09/2013, em Araripina, PE.

Verificando a variação da eficiência do fotossistema II, o *Croton heliotropiifolius* assim como a *Passiflora cincinnata* apresentaram as maiores taxas de redução, comparando os primeiros horários do dia com horários próximos às 13h, as reduções foram próximas a 43-44% para ambas. Estas espécies também obtiveram os maiores índices de redução das taxas fotossintética. Já as espécies que

apresentaram menores reduções da eficiência do fotossistema II foram a *Mimosa arenosa* e a *Anadenanthera colubrina* com reduções próximas a 5 e 10%, sendo essas espécies as que apresentaram os menores índices da redução das taxas fotossintéticas.

Os valores médios obtidos para o potencial hídrico foliar das espécies para dois horários (04h45 e 13h) encontram-se na Tabela 1. A análise dos valores observados em diferentes horários permite afirmar que o potencial hídrico dessas espécies é sensível as variações meteorológicas durante o dia.

As espécies avaliadas têm suas características próprias de adaptação, utilizando artifícios para manter o estoque de água durante o período de deficiência hídrica, que se mostrou bastante longo durante o segundo semestre de 2013. As espécies apresentaram potencial hídrico baixo (negativo), comparando-se a outras espécies analisadas em caatinga, como mostra o trabalho de Trovão et al. (2007), onde os valores do potencial hídrico, no período de estiagem, variaram de -0,31 MPa a -2,2 MPa, em diferentes espécies analisadas.

Muitas medidas funcionais são desencadeadas pelas plantas para sobreviverem em condições de estresse hídrico ocasionado pela seca, entre as quais, modificações anatômicas/fisiológicas que incluem aprofundamento do sistema radicular, diminuição do tamanho da folha, expansão caulinar e perda de folhas, dentre outras; porém as mais interessantes são as modificações fisiológicas como a indução ao metabolismo e o ajuste osmótico (TROVÃO et., al 2007).

A análise estatística das medições do potencial hídrico no período de estiagem revelou que a *Pithecolobium multiflorum* apresentou valores significativos ( $p < 0,05$ ) às 04h45, entretanto, às 13h, as espécies que obtiveram se destacaram com valores mais elevados foram a *Mimosa Arenosa* e a *Anadenanthera colubrina* (Tabela 1).

**Tabela 1.** Potencial hídrico de cinco espécies da caatinga em regeneração, para o dia 19 de setembro de 2013, em Araripina, PE.

Espécie	Potencial hídrico ( $\Psi_h$ , MPa)	
	hora	
	4h45	13h
<i>Passiflora cincinnata</i>	1,63b	1,86b
<i>Croton heliotropiifolius</i>	1,84b	1,98b
<i>Pithecolobium multiflorum</i>	3,12a	2,18b

<b><i>Mimosa arenosa</i></b>	1,43b	3,52a
<b><i>Anadenanthera colubrina</i></b>	1,04b	2,65ab

As médias seguidas de letras idênticas não foram diferentes ( $p < 0,05$ ).

O potencial hídrico foliar médio das espécies variou nos dois horários analisados, atingindo os valores mais negativos no período da tarde (Tabela 1). Em todas as espécies analisadas, com exceção da *Pithecolobium multiflorum*, observou-se um deslocamento dos menores valores de  $\Psi_w$ , para períodos próximos à tarde, em comparação com os resultados obtidos ao amanhecer. No período da tarde com o aumento da demanda atmosférica, mesmo as planta diminuindo a abertura estomática como mecanismo de defesa para evitar a perda excessiva de água e conservar os tecidos hidratados, a maioria das espécies apresentaram do potencial hídrico mais negativo, diante disto, essas diferenças podem estar associadas às condições do ambiente, onde foram observadas as maiores taxas de déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e velocidade do vento.

O valor mínimo atingido às 4h foi de -1,04 MPa para *Anadenanthera colubrina*, e o máximo foi de -3,12 MPa para *Pithecolobium multiflorum*, às 13h, o menor valor foi obtido pela *Passiflora cincinnata* e os maiores para *Mimosa arenosa* e *Anadenanthera colubrina*. Em termos percentuais, a queda do potencial hídrico foliar, foi registrada entre os horários analisados (4h45 e 13 h), foi de 60,75% para *Anadenanthera colubrina*, de 59,38% para a *Mimosa arenosa*, de 12,37% *Possiflora cincinnata* e 7,07% para *Croton heliotropiifolius*. Contrariando as outras espécies, a *Mimosa arenosa* teve quedas em relação aos horários analisados de 30,13%.

### 3.2.6 CONCLUSÕES

- Demanda atmosférica baixa proporciona maior eficiência das taxas fotossintéticas;
- A espécie no horário de maior disponibilidade de energia, a *Croton Heliotropiifolius*, foi a que apresentou maior redução da condutância, indicando maior resistência estomática e conseqüentemente, menor transferência de valor d'água para a atmosfera;

- Na Caatinga em regeneração a deficiência hídrica e as condições climáticas, podem ser suficientes para provocar danos no aparato fotossintético nos fotossistemas;
- A eficiência do fotossistema II indica que as espécies estudadas apresentaram fotoinibição, com baixo desempenho no transporte de elétrons;
- A espécie *Croton conduplicatus* foi a que apresentou maior economia de água.

### 3.2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. A.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, C. A.; FERNANDES, A. R. Características Biométricas, índice SPAD-502 e emissão da fluorescência em porta-enxertos de citros. *Revista Ceres*, Viçosa, v.51, n.294, p.189-199, 2004.

BAKER, N.R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: Smith, J.A.C.; Griffiths, H. (Eds.) *Water deficit plant responses from cell to community*, 1993, p. 221-235.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S.. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. *Funct, Plant Biol.* ed.30. 2003. p.239- 264.

COSTA , G. F. da; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *ACTA AMAZONICA*. Vol. 37(2). 2007. p. 229 – 234.

DINIZ, M. C. M. M. 1999. Desenvolvimento e rebrota da cunhã (*Clitoria ternatea* L.) sob estresse hídrico, em associação com fungos micorrízicos-*Bradyrhizobium*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e de Vegetação. 21 de maio de 2004. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>, acesso em: 11 de Janeiro de 2014.

IIO, A.; FUKASAWA, H.; NOSE, Y.; KAKUBARI, Y. 2004. Stomatal closure induced by high vapor pressure deficit limited midday photosynthesis at the canopy top of *Fagus crenata* Blume on Naeba mountain in Japan. *Trees*, 18:510-517.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal. Revisão técnica.* São Carlos-SP: RIMA. 2004.531p.

LLOYD, J.; GRACE, J.; MIRANDA, A. MEIR, P.; WONG, S.; MIRANDA, H.; WRIGHHT, I.; GASH, J.; MCINTYRE, J. 1995. A simple calibrated model of Amazon rainforest productivity based on leaf biochemical properties. *Plant, Cell and Environment*, 18:1129-1145.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. 2009. *Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral.* 3ªed. Editora UFV, Viçosa. 486p.

MARENCO, R. A.; NASCIMENTO, H. C. S.; MAGALHÃES, N. S. 2014. Stomatal conductance in Amazonian tree saplings in response to variations in the physical environment. *Photosynthetica*. 52:493-500.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. *Chlorophyll fluorescence-a practical guide.* Journal of Experimental Botany, Oxford, v.51, p.659-668, 2000.B

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Plano de ação para prevenção e controle ao desmatamento na Caatinga.* Brasília, DF, 2010.

MONTEITH, J. L. 1995. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. *Plant, Cell and Environment*, 18:357-364.

MORAIS, R. R de; GONÇALVES, J. F. C. de; SANTOS JÚNIOR, U. M. dos; DUNISCH, O.; SANTOS, A. L. W. dos. Chloroplastid Pigment Contents and Chlorophyll a Fluorescence in Amazonian Tropical Three Species. *Revista Árvore* , vol. 31, N° 005 Viçosa, 2007. p: 959-966.

MOURA, M. S.B.; GALVINICIO, J. D. ; BRITO, L. T. L. ; SOUZA, L. S. B. ; SÁ, I. I. S. *Clima e água de chuva no Semiárido.* In: Luiza Teixeira de Lima Brito; *Magna*

Soelma Beserra de Moura; Gislene Feitosa Brito Gama. (Org.). Potencialidades de água de chuva no Semiárido brasileiro. 1ed.: , 2007, v. 1, p. 7-179.

NOGGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 35, n. 7, 2000, p. 1331-1342.

NOGUEIRA, R. J. M. C. SILVA, E. C. da. Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* Engl. cultivadas sob estresse hídrico. IHERINGIA, Sér. Bot. Porto Alegre, v. 57, n. 1, p. 31-38. 2002.

NOGUEIRA, R. M. C.; SANTOS, R. C.; BEZERRA NETO, E. e SANTOS, V. F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.12, p.1963-1969, 1998.

SANTOS, L. M. J. de.; SILVA, E. C.; SILVA JUNIOR, C. D. da. Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência da clorofila e potencial hídrico de plantas de juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. Revista Scientia Plena, VOL. 10, NUM. 02, 20014.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit Hídrico e os Processos Morfológico e Fisiológico das Plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 2, n. 3, 1998, p. 287-294.

SILVA, E. C. da; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D. de; BRITO, J. Z. de; CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. Iheringia, Série Botânica, vol. 59, n. 2, 2004, p. 201-205.

SILVA, L. B; FREITAS, H. M. B. Os Vegetais e a Água (Texto Acadêmico). UFBA/Projeto Qualibio, Salvador, 1998. Disponível em: <<http://www.qualibio.ufba.br/012.html>>. Acessado em 10 Fev. 2015.

SINGSAAS, E. L.; ORT, D. R.; DELUCIA, E. H. 2000. Diurnal regulation of photosynthesis in understory saplings. New Phytologist, 145:39-49.

SOUZA, L. S. B. ; MOURA, M. S. B. ; SEDYAMA, G. C. ; RANDOW, C. V. ; LACERDA, F. F ; SILVA, T. G. F. . Comportamento do albedo durante o período chuvoso em uma área de caatinga degradada na região da chapada do Araripe - PE.. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado. Incertezas e desafios para a sustentabilidade planetária: o papel da ciência meteorológica. Rio de Janeiro: SBMET, 2012.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 11, n.3, 2007, p. 307-311.

VALENTE JUNIOR, A. S. Semiárido em transformação: panorama socioeconômico e entraves para o desenvolvimento In: Batista Filho, M.; Miglioli, T. C. (Org.). Viabilização do Semiárido do Nordeste: um enfoque multidisciplinar. Recife: Linceu. 2010, p.69-81.

#### **4. CONCLUSÕES GERAIS**

Estudos sobre a dinâmica de regeneração natural são de grande interesse científico, no entanto existem escassez e grandes lacunas desses estudos para a vegetação da Caatinga. A carência de informações sobre O Bioma se torna muito evidente quando procura se dados relativos, como por exemplo, ao fluxo de CO<sub>2</sub>, fluxos de energia, vapor d'água, radiação e dados referentes à ecofisiologia. Desta forma, tornou-se imprescindíveis ações que visassem analisar temporalmente com precisão a dinâmica da interação da vegetação em regeneração com os processos atmosféricos, além disso, tais conhecimentos são essenciais para desenvolver estratégias que possibilitará modelos de preservação, conservação e à recuperação dos recursos ambientais do Bioma Caatinga.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



AB´SABER, A. N. Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical. São Paulo. EDUSP, Instituto de Geografia, pp. 1-19, 1977.

ADEGOKE, J. O.; PIELKE SR, R.; CARLETON, A.M. Observational and modeling studies of the impacts of agriculture-related land use change on planetary boundary layer processes in the central U.S. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.142, p.203–215, 2007.

BACARIN, M. A.; MOSQUIM, P. R. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas de dois genótipos de feijoeiro. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v.26, n.4, p.705-710. 2002.

BALDOCCHI, D.; KELLEHER, F.; BLZCK, T. A.; JARVIS, P. Climate and vegetation controls on boreal zone energy exchange. *Global Change Biology*, Oxford, v. 6, n. 1, p. 69-83, 2000.

BRASIL, Ministério do Planejamento e Orçamento. Nordeste: uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Brasília. P.231, 1995.

CAMPELLO, F. B. Diagnóstico florestal da Região Nordeste. Projeto IBAMA/PNUD/BRA/93/033. Desenvolvimento florestal para o nordeste do Brasil. 1999.

CAMPOS C., A. Response of soil surface CO<sub>2</sub>-C flux to land-use changes in a tropical cloud forest (Mexico). *Forest Ecology and Management*, v.234, p.305– 312, 2006.

CAMPOSTRINI, E.; MAESTRI, M. Photosynthetic potential of five genotypes of *Coffea canephora* Pierre. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v.10, n.1, p.13-18, 1998.

CASTELLETTI, C.H.M., J.M.C. SILVA, M. TABARELLI & A.M.M. SANTOS. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: J.M.C. Silva, M. Tabarelli, M.T. Fonseca & L.V. Lins (orgs.). *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações*

prioritárias para a conservação. pp. 91-100. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.

DANIEL , O.; JANKAUSKIS, J. Avaliação de metodologia para o estudo do estoque de sementes do solo. SÉRIE IPEF, Piracicaba, v. 41-42, p.18-26, 1989.

GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. S.; MENDES, A. M. S.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J. F. Soil prganic carbon in the brazilian Tropical Semiarid, dynamic soil, dynamic plant. 2011. No prelo.

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, Amsterdam, v. 146, p.57-69, 2007.

IPCC, I. P. O. C. C. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (S. Solomon et al., Eds.)Intergovernmental Panel on Climate Change. [S.l.] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html)>. Acesso em: 20 de Novembro 2014.

JAPAN, Environment Agency. Global Enviroment Program and Global Enviroment Monitoring Program for Fiscal Year 1990. Enviroment Agency. Tokio.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; F., K. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). As florestas e o carbono. 1. ed. Curitiba: FUPEF/Imprensa da UFPR, 2002. p. 251-264, 1990.

LACERDA, F. F.; SILVA JÚNIOR, H. da S.; ASSAD, E. D.; ASSIS, J. M. O. de; MOURA, M. S. B. de Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco. In: GALVÍNCIO, J. D. Mudanças climáticas e impactos ambientais. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010. Cap. 1, p. 1-23.

LONG, S. P.; AINSWORTH, E. A.; LEAKEY, A. D. B.; NÖSBERGER, J.; ORT, D. R. Food for thought: lower than expected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations. *Science*, Washington, DC, v. 312, p. 1918-1921, 2006.

MMA/IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do bioma Caatinga 2002 a 2008. 2010.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: *The state and movement of water in living organisms*. New York, USA: Academic Press, Inc., 1965. p. 205–234.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. *Principles of Environmental Physics*. 2. ed. New York, USA: Chapman and Hall, 1990. p. 291 APPS, M. Carbon Fixation and allocation. In: BERAN, M. A. (Ed.). *Carbon sequestration in the biosphere - Processes and prospects*. Berlin: Springer, 1995. p. 183-192.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. *Capítulos de Geografia Agrária da Paraíba*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 187p.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; BARBOSA, D. C. A.; MORAES, J. A. P. V. 1998. Trocas gasosas e relações hídricas em plantas jovens envasadas de três espécies da caatinga, submetidas a deficiência de água. *Phyton*, Vicente López, v.62, n.1, p. 37-46.

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, n.3b, 378-386, 2006.

PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Ed.). *Climate Change 2007: synthesis report*. Valencia: IPCC, 2007. 33 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2014.

PAREYN, F.C.G., *et al.* Projeto sustentado da vegetação lenhosa da caatinga, com ênfase a produção de lenha para uso doméstico das comunidades do Nordeste Brasil. Pernambuco, 2002. Disponível em:

<[http://www.kew.org/science/tropamerica/folhetoPortugues\\_final.pdf](http://www.kew.org/science/tropamerica/folhetoPortugues_final.pdf)>, acesso em: 20 de Novembro 2014.

PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. Physics of Climate. [S.I.] American Institute of Physics, 1992. p. 520

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p

PIMENTEL, C. Metabolismo de Carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO<sub>2</sub> e de O<sub>3</sub> atmosférico: situação e previsões. *Bragantia*, Campina, v. 70, n. 1, p. 1-12, 2011.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In.: LEAL, I. R. & TABARELLI, M. (Eds.) *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Editora Universitária: UFPE. 2003.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B. de; SA, I. B. Avaliação da degradação ambiental na região do Araripe pernambucano utilizando técnicas de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 6, p. 1292-1314, 2011.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. BALANÇO DE RADIAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO SÃO GONÇALO - PB MEDIANTE IMAGENS ORBITAIS. Campina Grande – Pb: *Revista Caatinga*, v. 24, n. 3, 05 jan. 2011.

SISTEMA EUMETCast PARA O MONITORAMENTO METEOROLÓGICO E AMBIENTAL, 4.; ENCONTRO DE METEOROLOGIA OPERACIONAL, 2., 2012, Gramado. Anais... Gramado: UFRGS, 2012. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. S. B. ; MOURA, M. S. B. ; SEDYAMA, G. C. ; RANDOW, C. V. ; LACERDA, F. F ; SILVA, T. G. F. . Comportamento do albedo durante o período chuvoso em uma área de caatinga degradada na região da chapada do Araripe - PE.. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado. Incertezas e desafios para a sustentabilidade planetária: o papel da ciência meteorológica. Rio de Janeiro: SBMET, 2012.

TROVÃO, D.M.B.M.; FERNANDES, P.D.; ANDRADE, L.A. & DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.11, p.307–311, 2007.

SPIELHAGEN, R. F. Hotspots in the Arctic: Natural archives as an early warning system for global warming. *Geology*, v. 40, n. 11, p. 1055-1056, 15 out. 2012.

STULL, R. B. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology* (Atmospheric Sciences Library). Boston: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988. p. 666

TORRES NETO, A.; CAMPOSTRINI, E. OLIVEIRA, J. G. DE: YAMANISHI, O. K. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v.14, n.3, p.203-210, 2002.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. D.; OLIVEIRA, A. B.; QUEIROZ, J. A. Avaliação do potencial hídrico de espécies da Caatinga sob diferentes níveis de umidade no solo. Campina Grande – Pb: *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, vol. 4, n. 2, 2º semestre, 2004.

XIAO, JINGFENG, ZHUANG, QIANLAI, LAW, BEVERLY E., BALDOCCHI, DENNIS D., CHEN, JIQUN, RICHARDSON, ANDREW D., MELILLO, JERRY M., DAVIS, KENNETH J., HOLLINGER, DAVID Y., WHARTON, SONIA, OREN, RAM, NOORMETS, ASKO, FISCHER, MARC L., VERMA, SHASHI B., COOK, DAVID R., SUN, GE, MCNULTY, STEVE, WOFSY, STEVEN C., BOLSTAD, PAUL V., BURNS, SEAN P., CURTIS, PETER S., DRAKE, BERT G., FALK, MATTHIAS, FOSTER, DAVID R., GU, LIANHONG, HADLEY, JULIAN L., KATUL, GABRIEL G., LITVAK, MARCY, MA, SIYAN, MARTIN, TIMOTHY A., MATAMALA, ROSER, MEYERS, TILDEN P., MONSON, RUSSELL K., MUNGER, J. W., OECHEL, WALTER C., PAW, U. K., SCHMID, HANS PETER, SCOTT, RUSSELL L., STARR, GREGORY, SUYKER, ANDREW E., TORN, MARGARET S. Assessing net ecosystem carbon exchange of U.S. terrestrial ecosystems by integrating eddy covariance flux measurements and satellite observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 60–69, 2011.

ZENG, N.; NEELIN, J. D. The Role of Vegetation–Climate Interaction and Interannual Variability in Shaping the African Savanna. *Journal of Climate*, v. 13, n. 15, p. 2665-2670, ago. 2000.