

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA

DIFERENÇAS HIDROMETEOROLÓGICAS E DA VEGETAÇÃO DE PAISAGENS DO  
SERTÃO CENTRAL DO BRASIL SOB GRADIENTES DE PERTURBAÇÕES  
ANTRÓPICAS

RECIFE - PE  
JULHO DE 2021

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA

DIFERENÇAS HIDROMETEOROLÓGICAS E DA VEGETAÇÃO DE PAISAGENS DO  
SERTÃO CENTRAL DO BRASIL SOB GRADIENTES DE PERTURBAÇÕES  
ANTRÓPICAS

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

RECIFE – PE  
JULHO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S729d Souza, Carlos André Alves de  
Diferenças hidrometeorológicas e da vegetação de paisagens do sertão central do Brasil sob gradientes de perturbações antrópicas / Carlos André Alves de Souza. - 2021.  
94 f. : il.
- Orientador: Thieres George Freire da Silva.  
Coorientadora: Luciana Sandra Bastos de Souza.  
Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2021.
1. Mudança do uso da terra. 2. Razão de Bowen. 3. Semiárido. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Souza, Luciana Sandra Bastos de, coorient. III. Título

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA

Engenheiro Agrônomo

**DIFERENÇAS HIDROMETEOROLÓGICAS E DA VEGETAÇÃO DE PAISAGENS  
DO SERTÃO CENTRAL DO BRASIL SOB GRADIENTES DE PERTURBAÇÕES  
ANTRÓPICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

DEFENDIDA e APROVADA em 30 de julho de 2021.

Banca Examinadora

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE  
Presidente/Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Luciana Sandra Bastos de Souza – UAST/UFRPE  
Examinador Interno

---

Pesq. Dr<sup>a</sup>. Yhasmin Paiva Rody – SUZANO CELULOSE  
Examinador Externo

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – DEAGRI/UFRPE  
Examinador Interno

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Antonio José Steidle Neto - CSL/UFSJ  
Examinador Externo

De maneira muito especial aos meus filhos:

Luiz Gustavo e Laura Beatriz; a minha esposa Maria Gorete; aos meus pais Francisco e Júlia; aos meus irmãos e aos meus sobrinhos que, ao longo da minha vida me propuseram amor e dedicação, sendo os meus principais estímulos para a realização de tudo.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento a fazer é a Deus, por se fazer presente em todos os momentos difíceis da minha vida, onde pude sentir sua mão no meu ombro, transmitindo segurança necessária para enfrentar os obstáculos da vida e seguir o meu caminho.

À minha família, pelo amor, carinho, força e compreensão existente entre nós e, principalmente, por acreditarem em mim, vocês agem como um pilar que cresce dentro de mim e me mantem em pé.

Ao professor Thieres George, por sua amizade e, principalmente pela sua confiança. O seu apoio, suas palavras e seus conhecimentos me fez seguir em frente, incentivando cada vez mais minha formação profissional. Ele é um verdadeiro mestre, onde seu entusiasmo, sua dedicação e comprometimento pela pesquisa é algo de se admirar imensamente. Sua extrema paciência e também suas críticas, pois não são os elogios que nos fazem crescer e amadurecer, mas sim os questionamentos que são feitos nessa jornada de pesquisa. Sou grato por te me tirado da zona de conforto e me fazer buscar algo mais. Muitíssimo obrigado por tudo.

A professora Luciana, pela co-orientação, profissionalismo, ensinamentos e paciência, durante a realização deste trabalho. Uma pessoa maravilhosa que tem acompanhado meus estudos desde a graduação e a quem eu sempre sei grato pelos ensinamentos.

Aos colegas do “GAS” (Grupo de Agrometeorologia no Semiárido), especialmente George, Marcelo, Kaique, Cleber, Renan, Hygor, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa, não só nos momentos de trabalho, mas pelos instantes de lazer onde curtimos e trocamos conhecimentos, fortalecendo ainda mais as nossas amizades. Em especial gostaria de agradecer a Alexandre, o qual foi extremamente importante na realização desta pesquisa, um amigo, paciente, prestativo e de uma dedicação extrema, meus sinceros agradecimentos a você meu amigo.

Ao casal Luiz Temístocles e Maria do Socorro, juntamente com seus filhos, por terem cedido a área para implantação da pesquisa e pelo carinho e atenção em sempre nos receberem em sua casa.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de realização do curso de Pós-graduação. Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) pela oportunidade de crescimento profissional. A todos os professores que contribuíram com seu conhecimento, em nome dos coordenadores Ênio Farias de França e Silva e Mário Monteiro Rolim. A todos os técnicos e funcionários, muito obrigado pelo apoio.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro para a execução da pesquisa.

## **BIBLIOGRAFIA**

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA, filho de Francisco Alves de Souza e Júlia Alves de Souza, nasceu no dia 10 de maio de 1980, na cidade de Serra Talhada-PE. Concluiu no ano de 1998 o curso técnico em contabilidade na Escola Municipal Cônego Torres. Em dezembro de 2003, concluiu o ensino médio na Escola Estadual Antônio Timóteo Ensino Fundamental e Médio. Em agosto de 2010, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica na universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, onde se graduou Engenheiro Agrônomo em agosto de 2015. Em agosto de 2015 iniciou o mestrado no curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, em Serra Talhada-PE, concluindo em agosto de 2017. Em agosto de 2017 iniciou a Pós-Graduação no curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal Rural de Pernambuco. Submetendo a defesa da Tese em agosto de 2021. Ao longo do curso de graduação e pós-graduação foi integrante do GAS – Grupo de Agrometeorologia no Semiárido, coordenado pelo Dr. Thieres George Freire da Silva.



Souza, Carlos André Alves de. **Diferenças hidrometeorológicas e da vegetação de paisagens do sertão central do Brasil sob gradientes de perturbações antrópicas**. 2021. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

## RESUMO GERAL

A região semiárida brasileira sofre constante mudança do uso da terra, devido ao processo de desmatamento, caracterizando paisagens com distintos níveis de perturbação antrópica. Assim, o objetivo desta pesquisa foi investigar os padrões dos fluxos de energia na vegetação Caatinga e em superfícies com modificação do uso da terra em decorrência da inserção de agroecossistemas de plantas CAM ou pelo avanço do processo de desertificação, estabelecendo relações com a sazonalidade das espécies predominantes. O experimento foi conduzido na Fazenda Algodões, município de Floresta – PE. O período estudado foi de novembro de 2017 a dezembro de 2020. Foi avaliado quatro sítios experimentais: floresta com vegetação Caatinga preservada (CAA), área desmata (ADA), área de Caatinga em regeneração (REGE) e área de cactácea (CAM). Dados diários dos elementos meteorológicos foram obtidos a partir de torres micrometeorológicas instaladas nos respectivos sítios experimentais. A investigação sobre a dinâmica dos fluxos através da técnica do BERB contribuiu para estimar a magnitude e os padrões sazonais de calor sensível (H) e calor latente (LE), entre os diferentes ecossistemas. Este último utilizado para determinar os valores de evapotranspiração (ET). O monitoramento da umidade do solo foi realizado por meio de uma sonda capacitiva em cada área. A dinâmica de água na planta foi quantificada pelas relações entre a precipitação interna, interceptação e escoamento pelo tronco para as plantas da CAA. Os resultados indicaram que as superfícies monitoradas, apresentaram baixos valores de LE e altos valores de H, principalmente durante o período seco. Cerca de 33% do saldo de radiação ( $R_N$ ) recebido foi utilizado para o LE, 62% para H e 5% para o G na Caatinga preservada, versus 32% de  $R_N$  para LE, 62% para H e 6% para o G na Caatinga em regeneração. Enquanto que na área desmatada 37% do  $R_N$  recebido foi destinado para LE, 57% para o H e 6% no G, versus 33% de  $R_N$  para LE, 63% para H e 4% para o G na área de cactácea. Para área de Caatinga a partição da chuva indica que a precipitação interna, o escoamento do tronco e as perdas por interceptação correspondem a 83,14%, 0,49% e 16,37% da precipitação, respectivamente. As variações dos componentes micrometeorológicos mostraram-se dependentes do regime hídrico e do armazenamento de

água no solo, e que a remoção da vegetação nativa resultou em menor energia disponível para o LE, com tendências de maiores valores destinados para os fluxos de H e G. A evapotranspiração para as superfícies Caatinga em regeneração, área desmatada e cactáceas, foi superior a área de Caatinga preservada, em virtude da maior disponibilidade de água no solo. As perdas por interceptação da chuva, dependem das características da chuva, condições meteorológicas e das características da floresta que influenciam.

**Palavras-chave:** Caatinga; desmatada; mudanças climáticas; mudança do uso da terra.

Souza, Carlos André Alves de. **Diferenças hidrometeorológicas e da vegetação de paisagens do sertão central do Brasil sob gradientes de perturbações antrópicas**. 2021. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

### GENERAL ABSTRACT

The Brazilian semiarid region is constantly changing land use due to the deforestation process, characterizing landscapes with different levels of human disturbance. Thus, the objective of this research was to investigate the patterns of energy fluxes in the Caatinga vegetation and in surfaces with land use modification as a result of the insertion of CAM agroecosystems or by the advance of the desertification process, establishing relationships with the seasonality of the species predominant. The experiment was conducted at Fazenda Algodões, municipality of Floresta - PE. The study period was from november 2017 to december 2020. Four experimental sites were evaluated: forest with preserved Caatinga vegetation (CAA), deforested area (ADA), area of regenerating Caatinga (REGE) and cactus area (CAM). Daily data of meteorological elements were obtained from micrometeorological towers installed in the respective experimental sites. The investigation of flux dynamics using the BERB technique contributed to estimate the magnitude and seasonal patterns of sensible heat (H) and latent heat (LE) among different ecosystems. The latter is used to determine evapotranspiration (ET) values. Monitoring of soil moisture was carried out using a capacitive probe in each area. The plant water dynamics were quantified by the relationships between internal precipitation, interception and stem runoff for the CAA plants. The results indicated that both surfaces had low LE values and high H values, mainly during the dry period. About 33% of the radiation balance ( $R_N$ ) received was used for LE, 62% for H and 5% for G in the preserved Caatinga, versus 32% of  $R_N$  for LE, 62% for H and 6% for G in the regenerating Caatinga. While in the deforested area 37% of the NB received was destined for LE, 57% for the H and 6% for the G, versus 33% of the NB for LE, 63% for H and 4% for the G in the cactus area. For the Caatinga area, rainfall partition indicates that internal precipitation, trunk runoff and interception losses correspond to 83.14%, 0.49% and 16.37% of the precipitation, respectively. It was concluded that the variations of micrometeorological components were dependent on the water regime and soil water storage, and that the removal of native vegetation resulted in less energy available for the LE, with trends of higher values destined for the flows of H and G. The evapotranspiration for the regenerating Caatinga surfaces, deforested area and cactus was higher than the preserved

Caatinga area, due to the greater availability of water in the soil. Rainfall interception losses depend on rainfall characteristics, meteorological conditions and the characteristics of the forest they influence.

**Keywords:** Caatinga; deforest; climate changes; land use change.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	7
GENERAL ABSTRACT .....	9
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS, HIPÓTESE E REVISÃO DE LITERATURA .....	13
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2. OBJETIVOS .....	14
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.2 Objetivos Específicos .....	14
3. HIPÓTESE .....	14
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
4.1 Desertificação: conceito e histórico .....	15
4.2 Mudanças climáticas no semiárido brasileiro .....	17
4.3 Interação biosfera atmosfera em áreas de Caatinga e cactáceas .....	18
4.4 Consequências das alterações do uso da terra nos fluxos de calor sensível e latente e calor no solo, em regiões de climas áridos e semiáridos .....	20
4.5 Aspectos metodológicos para determinação dos fluxos de energia .....	23
4.6 Avanços e novas ideias sobre critérios de rejeição de dados obtidos pelo método do balanço da razão de Bowen .....	25
4.7 Importância da palma forrageira no Semiárido Brasileiro .....	27
4.8 Partição de água da chuva na vegetação .....	28
4.9 Fenologia e câmeras hemisféricas .....	30
Agradecimentos .....	32
6. REFERÊNCIAS .....	32
CAPITULO II: BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM DIFERENTES PAISAGENS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	44
1. INTRODUÇÃO .....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	47
2.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	47
2.2 Monitoramento de dados micrometeorológicos .....	50
2.3 Estimativas do balanço de energia pelo método da razão de Bowen .....	52
2.4 Monitoramento da umidade do solo em campo .....	52
2.5 Análises estatísticas .....	53
3. RESULTADOS .....	53
3.1 Variáveis ambientais .....	53

3.2 Padrões sazonais de precipitação e variação do armazenamento de água do solo .....	56
3.3 Densidade dos fluxos do balanço de energia entre as diferentes superfícies.....	58
3.4 Evapotranspiração entre as diferentes superfícies .....	62
4. DISCUSSÃO .....	63
4.1 Padrões sazonais das variáveis meteorológicas .....	63
4.2 Padrões espaciais e sazonais no fluxo de energia e evapotranspiração .....	64
5. CONCLUSÕES .....	66
Agradecimentos .....	67
6. REFERÊNCIAS .....	67
<b>CAPITULO III: PARTICIONAMENTO DA CHUVA EM FLORESTA SAZONALMENTE SECA COM ESPÉCIES NATIVAS EM REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL.....</b>	
1. INTRODUÇÃO.....	73
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
2.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	74
2.2 Seleção e medições de plantas .....	75
2.3 Medidas de particionamento da chuva.....	76
2.4 Análises estatísticas .....	78
3. RESULTADOS .....	79
3.1 Características da precipitação.....	79
4. DISCUSSÕES .....	87
5. CONCLUSÕES.....	89
Agradecimentos .....	90
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90

# **CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS, HIPÓTESE E REVISÃO DE LITERATURA**

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

Diante as florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS), a Caatinga é um domínio único do Brasil e o quarto maior ecossistema do país. A FTSS cobre uma grande área no Nordeste do Brasil, aproximadamente 1 milhão de quilômetros quadrados, a maioria dos quais se sobrepõe a áreas semiáridas (SILVA et al., 2017). É marcada por uma ampla faixa territorial e de diversidade de paisagens, muitas delas com fortes ações antrópicas. Na atual conjuntura, há ocorrência de áreas de Caatinga ainda em preservação e outras com intensa atividade pecuária e extrativista. São observadas ainda áreas desmatadas com implantação de culturas agrícolas anuais, perenes ou pastagens de distintos metabolismos (C3 - feijão, uva, manga, etc.; C4 - cana-de-açúcar, sorgo, milho, etc.; e MAC - palma forrageira, etc.), conduzidas em condições de sequeiro ou irrigadas com água doce ou salina; algumas áreas de Caatinga ainda em regeneração; outras com solo nu ou em degradação ou com avanço do processo de desertificação.

A pecuária extensiva é uma das atividades mais comuns e quando mal conduzida dificulta a recuperação da vegetação nativa devido ao pisoteio das plântulas e a compactação do solo (PARENTE; MAIA, 2011). Adicionalmente, a remoção da vegetação nativa em substituição por áreas com culturas agrícolas ou por solo nu tem sido bastante evidenciadas. Neste caso, a produção agrícola ocorre sob condições climáticas rígidas (i.e. alta, variação do regime pluviométrico, alta evapotranspiração, solos rasos com baixa fertilidade), que muitas vezes induzem a necessidade do manejo de água com carga excessiva de sais, resultando na salinização dos solos. O avanço dessas práticas alteram as trocas de energia e massa com a atmosfera e a dinâmica hidrológica (CUNHA; ALVALÁ; DE OLIVEIRA, 2013), e, podem resultar em desertificação.

Em um cenário futuro, com as mudanças climáticas e o aumento do consumo dos recursos naturais, espera-se uma drástica redução da vegetação natural, com o surgimento maciço de áreas em desertificação e a expansão de cultivos com plantas MAC como alternativa à sobrevivência da população e dos rebanhos de animais. O avanço de áreas em processo de desertificação possui uma relação bastante significativa com o clima do Sertão Central do Brasil. Porém, a adoção de novos sistemas de plantio, com a implantação de plantas cactáceas forrageira, pode minimizar os efeitos da atividade no clima regional.

Pesquisas agrometeorológicas fornecem os dados necessários para a compreensão da influência das distintas paisagens no clima regional, logo que as escalares meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, etc.) e os processos biológicos (fotossíntese, respiração, trocas de calor, etc.) afetam o balanço de água, os fluxos de carbono e o crescimento das plantas (SILVA et al., 2011).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Investigar os padrões dos fluxos de energia na vegetação Caatinga e em superfícies com modificação do uso da terra em decorrência da inserção de agroecossistemas de plantas CAM ou pelo avanço do processo de desertificação, estabelecendo relações com a dinâmica de água e condições ambientais, relacionando com as principais espécies predominantes.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Identificar a variação do balanço de energia acima da vegetação Caatinga e em áreas com substituição da vegetação nativa por agroecossistemas de plantas CAM (*Opuntia*) ou com características de desertificação.

Avaliar as alterações hidrodinâmicas provocadas pela substituição da vegetação Caatinga por áreas de agroecossistemas de plantas CAM (*Opuntia*) ou com características de desertificação, enfatizando as suas relações com as características morfológicas das espécies predominantes.

## **3. HIPÓTESE**

O avanço de áreas em processo de desertificação possui uma relação bastante significativa com o clima do Sertão Central do Brasil. Porém, a adoção de novos sistemas de plantio, com a implantação de plantas cactáceas forrageira, pode minimizar os efeitos da atividade no clima regional.



## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Desertificação: conceito e histórico

Desertificação é um processo decorrente de agentes como clima e as atividades antrópicas que ocasionam a deterioração da superfície e sendo observado em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (ABUBAKAR; ENIOLORUNDA, 2016; JOSEPH; GBENGA; LANGYIT, 2018; LIU et al., 2015). O desmatamento proveniente das atividades antrópicas, leva a desertificação, podendo alterar as condições climáticas, afetar a temperatura da superfície, a incidência da radiação solar e as taxas de evaporação (JOSEPH; GBENGA; LANGYIT, 2018).

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) afirma que degradação é a redução da produtividade, perdas de pastagens, florestas e matas por meio de intercessão humana ou de fenômenos da natureza, sendo eles a erosão do solo causado pelo vento ou pela água, deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas e grandes perdas da vegetação natural, causando também danos econômicos e desvalorização de terras (SANTANA, et al., 2007; SALIH; GANAWA; ELMAHL, 2017; XUE et al., 2019).

O fenômeno da desertificação, é o processo mais relevante em termos ambientais relacionado com a degradação dos solos de áreas secas. A origem e as causas partem de uma particularidade de cada região, levando em consideração as características do seu ecossistema natural e do manejo do solo em cada zona específica. Por isso, o conhecimento do histórico de uso de ocupação das área é essencial no entendimento do avanço do processo e suas causas (CAVALCANTI et al., 2006; SALIH; GANAWA; ELMAHL, 2017).

A desertificação vem ganhando espaço nas pesquisas acadêmicas e políticas, visto que, afeta as regiões mais pobres ao redor do mundo. O termo começou a ser inserido na sociedade no ano de 1977 na Conferência das Nações Unidas sobre desertificação, esse fenômeno começa a ser visto pela classe política e acadêmica a partir do momento em que algumas áreas secas dos Estados Unidos estavam sofrendo com o processo de degradação do solo devido à erosão, essas zonas já eram conhecidas como “*Dust bowl*” (Bacias de Poeira), fenômeno ocorrido em meados de 1930 com expressiva anomalia climática, e proporcionou expressivo colapso agrícola e econômico (CAVALCANTI et al., 2006; BOLLES; SWEENEY; FORMAN, 2019).

Na década de 60, a ocorrência de degradação também chamou a atenção da sociedade, que acabou culminando na grande seca de Sahel (1968 – 1974) região que fica situada ao Sul

do deserto do Saara. Muitos atribuíram a desertificação como consequência de influência climatológica (CAVALCANTI et al., 2006), contudo, esse fenômeno também é regido por alterações antrópicas e perturbações oceânicas que convergem calor na região (NDEHEDEHE et al., 2020).

Um estudo pioneiro de desertificação no Brasil foi realizado por Vasconcelos (1983) de uma forma empírica, ele desenvolveu o Núcleo de desertificação de seis áreas piloto: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia. Sendo quatro caracterizadas de alto risco a desertificação: Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) e Cabrobó (PE). Constatou-se que nestas quatro áreas a ocorrência deste processo esteve associado à remoção da vegetação da caatinga pela agricultura, pecuária, como também, o extrativismo demasiado de madeira para a produção de carvão (SANTANA, et al., 2007).

Ações antrópicas como agricultura, pecuária e extração de diamantes nos leitos de rio e riachos, contribuem para potencializar o processo de desertificação (PEREZ-MARIN et al., 2012). Neste caso, o uso de vegetação com características diferentes daquelas observadas pelas espécies nativas em consonância com a realização de cultivos continuados e sem a reposição dos nutrientes retirados do solo, podem culminar na infertilidade do solo, que é uma das causas da degradação do ambiente (PEREZ-MARIN et al., 2012).

Em regiões semiáridas o processo de desertificação pode ser acelerado pela combinação de solos degradados e eventuais extremos climáticos como secas mais intensas e de longa durabilidade (MARENGO et al., 2011). No Brasil, a região com mais suscetibilidade equivale a 1,13 milhões de km<sup>2</sup> distribuídos nas Regiões Nordeste e Sudeste, sendo que 62,8% (710 mil km<sup>2</sup>) são classificados como semiárido e 37,2% (420 mil km<sup>2</sup>) como subsumido seco (LACERDA et al., 2015). No Nordeste características propícias à desertificação são observadas, como por exemplo, o baixo nível de precipitação pluvial e a alta taxa de evapotranspiração potencial.

Em outros locais do mundo a temática da desertificação também tem sido bastante abordada. Com uso de técnicas variadas como é o caso do Sensoriamento remoto (Salih et al., 2017), fluxo de energia superficial, índice de aridez, indicadores ecológicos (AKBARI et al., 2020), e balanço de água no solo (BU et al., 2020). Estas informações são importantes pois, possibilitam realização de ações de planejamento e gerenciamento do uso e cobertura do solo, assim como o reflorestamento e o cultivo de coberturas, para o combate a tal perturbação ambiental (WIJTKOSUM, 2016).

Sob condições climáticas do México, Becerril-Piña et al. (2015) determinaram a taxa de mudanças na cobertura do solo, bem como integraram índices (vegetação, solo, clima, ações antrópicas) através de tendências baseadas em clima e número de indivíduos e identificaram as diferentes áreas com risco de desertificação. Para isso, foi utilizado o Índice de Risco de Tendência da Desertificação (DTRI), que se baseia em imagens Landsat e dados populacionais. Os autores concluíram que as pressões antropogênicas (mudança do uso do solo e o desmatamento) são as principais causas que induzem o processo de desertificação na região.

Lamchin et al. (2016) avaliaram através de métodos quantitativos (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, Topsoil Grain Size Índice – TGSi e o albedo da superfície terrestre – A) o processo de desertificação em uma área protegida na Mongólia. Os autores evidenciaram que não houve correlação entre NDVI, o albedo e o TGSi. A avaliação integrada da desertificação, ajustado ao NDVI, TGSi e albedo da superfície terrestre, apresentou uma diferença de 87% na área desertificada entre os períodos do estudo (1990, 2002 e 2011). De modo geral, cerca de 15% da área foi submetida a degradação da terra, onde houve um aumento cerca de 8% das áreas com riscos considerado muito grave, nas áreas de risco grave houve uma redução de 5,8% e nas áreas com risco moderado houve um aumento de 7,9%. A degradação do solo deve-se principalmente pelos tipos de cobertura dominante na região (bancos de areia, dunas e áreas de pastagens). A análise indicou correlação positiva significativa entre o TGSi e o albedo superficial da terra em todos os diferentes níveis de desertificação. Sendo que os maiores valores de TGSi (0,10 a 0,20) foram encontrados em áreas de desertificação muito grave.

#### **4.2 Mudanças climáticas no semiárido brasileiro**

O efeito estufa é um fenômeno natural decorrente da presença de gases na atmosfera terrestre, que permitem a conservação da temperatura do planeta e contribuindo para ocorrência de condições favoráveis à vida. Porém, o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) de forma desordenada por meio das ações antrópicas, sobretudo pela queima de combustíveis fósseis e desmatamento, têm intensificando o efeito estufa e o aquecimento do planeta (OLIVEIRA; VECCHIA, 2013).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) afirma que, a queima de combustíveis fósseis corresponde a quase 20% de todas as emissões de gases de efeito estufa, e que o desmatamento é tido como a segunda principal causa das mudanças

climáticas (FAO, 2018). Os múltiplos panoramas estudados de mudanças climáticas para o país, em função dos diversos cenários de emissões de gases do efeito estufa para os próximos 100 anos, indicam a possibilidade de impactos climáticos expressivos (NOBRE, 2010). Na região Semiárida, onde as características climáticas são deficitárias, com altas taxas de evaporação já são mais suscetíveis às mudanças do clima. Com isso, espera-se que haja uma intensificação do intercâmbio dos fluxos de água entre a superfície e a atmosfera, tornando este recurso natural mais escasso na região e, intensificando as dificuldades de desenvolvimento da região desde que não ocorra um aumento substancial das chuvas (MARENGO, 2008).

A redução da disponibilidade hídrica torna importante a análise dos eventos extremos de precipitação (secas ou enchentes), os quais possibilitam o conhecimento das características associadas a estes eventos (i.e. frequência, tempo de retorno variação espacial e outros) e fornecem bases para seu entendimento em condições futuras, como aquelas relacionadas às mudanças do clima.

Dentre os ecossistemas terrestres, a vegetação de Caatinga, que recobre a região semiárida será impactada pelas mudanças climáticas, pois segundo o Quarto Relatório do IPCC (International Panel on Climate Change) (IPCC, 2007) o clima da região tornar-se-á mais árido com aumento gradativo da temperatura, e possibilidade de maior frequência de secas que resultarão em impactos significativos na biodiversidade (ANGELOTTI; JÚNIOR; SÁ, 2011).

Segundo Lacerda et al. (2016) foram encontradas evidências de mudanças climáticas no estado do Pernambuco que mostram incrementos da temperatura do ar de até 4 °C na temperatura máxima diária entre os anos de 1961 e 2009. Para o mesmo período (1961 a 2009), Nobre (2011) descreve que houve uma redução média de 275 mm da precipitação (correspondendo 57% do total) com o aumento dos períodos máximos de estiagem passaram de 20 para 35 dias. Ainda, segundo estes autores houve diminuição anual das chuvas e aumento de ocorrências de precipitação pluviométricas mais intensas (i.e. superiores a 50 mm em 24h) de 5 para 9 eventos ao ano.

### **4.3 Interação biosfera atmosfera em áreas de Caatinga e cactáceas**

O balanço de radiação sobre a superfície é a fonte de energia que rege os principais processos que ocorrem em interface superfície-atmosfera, dentre os quais podemos mencionar: a partição do fluxo de energia (calor sensível e latente) e aqueles que condicionam o crescimento e o desenvolvimento da cobertura vegetal (SIMON; ALMEIDA, 2014).

A vegetação desempenha um importante papel nas interações com a atmosfera, principalmente nos sistemas climáticos, biogeoquímicos e hidrológicos, sobretudo através da troca de água, energia e suas partições (D'ODORICO et al., 2013; VON RANDOW et al., 2013). Além disso, atua como uma camada protetora para a conservação dos recursos hídricos e o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera, evitando a perda de solo e controlando os processos erosivos em função de algumas variáveis ambientais como vento e chuva (PALÁCIO et al., 2012; SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014). Dessa maneira, fica clara a importância de sua existência no ambiente.

O processo de antropização na região do Semiárido brasileiro é induzido pelo homem por meio do uso não sustentável dos recursos naturais, que acarreta não só a degradação desse componente como de outros (solo e recursos hídricos) (GALINDO et al., 2008). A mudança do uso do solo pode afetar o clima através da maior absorção/ emissão dos gases provenientes do efeito estufa e as propriedades físicas do solo (albedo, rugosidade e capacidade de armazenamento de água no solo) (CUNHA; ALVALÁ; DE OLIVEIRA, 2013; D'ODORICO et al., 2013; SALAZAR et al., 2016; ZHANG et al., 2016).

Duan et al. (2016) mencionam que o tipo de vegetação pode influenciar nas taxas de escoamento superficial, perda e armazenamento de água no solo, seja em camadas mais superficiais (0-2 m) ou nas mais profundas (2-5 m). Sob condições climáticas do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, Silva et al. (2014a) em estudo realizado em uma área de pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf, afirmaram que os valores de umidade volumétrica do solo acompanham os eventos de precipitação, podendo aumentar ou reduzir em razão da presença ou ausência de chuva. Em seu estudo, os autores evidenciaram que as maiores oscilações nos valores da umidade volumétrica ocorreram nas camadas superficiais (0,0-0,10 e 0,10-0,20 m) e o inverso ocorreu nas camadas mais profundas (0,20-0,30 e 0,30-0,40 m).

Cunha et al. (2013) informam que a conversão da cobertura vegetal alteram as características morfológicas e biofísicas da vegetação, que pode implicar ainda em mudanças nos componentes dos balanços de energia, água e carbono. Além disso, as trocas turbulentas entre a superfície e a atmosfera podem ser influenciadas pelas propriedades estomáticas da vegetação e modificações do comprimento de rugosidade da superfície. Assim, estudos sobre os fluxos de água e energia são importantes ferramentas avaliar o impacto mudanças no uso do solo no balanço de água em esfera regional (TEIXEIRA et al., 2008).

Queiroz (2018) estudando o impacto do desmatamento na interação biosfera atmosfera em domínio de Caatinga, mostrou que a remoção da vegetação de caatinga alterou as

características da superfície, reduzindo a energia disponível, com tendência de maiores valores particionados para os fluxos de calor sensível e do solo. No mesmo estudo, a evapotranspiração em área desmatada foi 10% inferior à área com vegetação de caatinga.

Para outros ecossistemas, a exemplo da Amazônia, Nobre et al. (1991) concluíram que a conversão da floresta tropical em pastagem resultou em uma redução de 30% na evapotranspiração e 20% na precipitação. Sob condições climáticas do Pantanal, Biudes et al. (2012) constataram que a mudança do uso do solo provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem resultou em alterações no microclima e no ecossistema local. Estes autores observaram uma redução de 6% da precipitação, 8,5% na radiação solar incidente e 5,7% da umidade relativa do ar e aumento de 6,6% na temperatura máxima do ar.

Reschke (1997) por sua vez, também averiguou diferenças microclimáticas. Segundo o autor, o desmatamento de floresta por pastagem causou um aumento na amplitude térmica de 1,5° observada na floresta. Sob condições climáticas da China. Fu et al. (2017) também constataram um maior aquecimento do ar na área de pastagem, maior do que o valor observado em uma área de floresta. Em grande escala estas alterações podem modificar o padrão de circulação atmosférica do ar e resultar no aumento e/ou redução da precipitação em áreas adjacentes (CORREIA et al., 2007).

#### **4.4 Consequências das alterações do uso da terra nos fluxos de calor sensível e latente e calor no solo, em regiões de climas áridos e semiáridos**

Em escala local, regional ou global, as alterações nas mudanças dos padrões do uso da terra estão ocorrendo de forma acelerada. Mudanças que estão associadas aos processos de desenvolvimento socioeconômico, sobretudo nos países subdesenvolvidos, em que não se encontram planejamentos para a ocupação do território, nem projetos de estudos para utilizar de maneira sustentável os recursos naturais (ARRAES; DE ANDRADE; DA SILVA, 2012). Tais alterações podem levar à degradação ambiental (no caso de manejo inadequado).

Com o aumento da produção agrícola, principalmente no Brasil, estudos sobre as temáticas de mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra vem despertando interesses no meio científico quanto governamental, devido a causa dos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos (VALENTE; VETTORAZZI, 2002).

Essas mudanças no uso e cobertura da terra podem levar a alterações nos fluxos superficiais de radiação, calor e umidade, podendo impactar ainda mais o clima em escalas

locais e regionais (PIELKER et al., 2002; SALAZAR et al., 2016a). Em termos de mudanças de radiação, a mudança no uso da terra pode alterar o albedo da superfície e, assim, os processos de evapotranspiração e partição dos fluxos de calor sensível, latente e do solo, que podem influenciar a temperatura próxima à superfície e a precipitação (SALAZAR et al., 2016a).

A carência de trabalhos relacionados aos efeitos da mudança do uso da terra sobre os fluxos de energia em ecossistemas e agroecossistemas das regiões áridas e semiáridas são praticamente escassos, motivando a realização de maiores estudos, com destaque para o domínio Caatinga (CARVALHO; MOURA; SILVA, 2018; GONDIM et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Buscando compreender os impactos da substituição de vegetação nativa por áreas agrícolas, ao comparar os fluxos de energia entre área de Caatinga preservada e cultivo de cana-de-açúcar irrigada, Carvalho et al. (2018) encontraram magnitudes para LE, H e G na ordem de 34%, 64% e 2%, respectivamente para Caatinga. Com partições de energia para o LE de 85%, 12% para o H e 3% para o G, para o cultivo de cana-de-açúcar. Na área de Caatinga o H apresentou maiores magnitudes devido à baixa umidade do solo, e o fechamento dos estômatos ser mais frequente, portanto, maior parte da energia é destinada ao aquecimento do ar, enquanto na área de cana-de-açúcar o Le foi superior, consequência da lamina de irrigação aplicada mais a precipitação.

Com o intuito de quantificar e comparar os fluxos de energia sobre áreas de caatinga e pastagem, em ambiente semiárido do Brasil, (SILVA et al., 2017) concluíram que para ambos os tipos de vegetação e ao longo do ano, o fluxo de calor sensível foi o principal consumidor de energia disponível ( $R_n$ ), com maior magnitude na área de pastagem do que na caatinga. E que a conversão de áreas de caatinga em pastagens tenderá aumentar o H e diminuir a evapotranspiração.

Swann et al. (2015) explicaram que a remoção da vegetação nativa, pode proporcionar a diminuição da umidade do ar, e conseqüentemente diminuir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, em decorrência de uma menor transpiração por área foliar. A disponibilidade de água condicionada pela dinâmica das condições ambientais, aparece como regulador do fluxo de calor latente, enquanto a falta de água principalmente na estação seca, provoca redução na magnitude deste fluxo, onde grande parte da energia disponível no ambiente passa a ser usada no aquecimento do ar, uma vez que a evapotranspiração diminui, (FERNANDES; NERY, 2015; FERNANDES et al., 2019).

De acordo com estudo conduzido por Souza et al. (2018), existe um padrão diferente de interação da superfície com a atmosfera, responsável por controlar e regular o clima local, onde, a cobertura vegetal é um fator determinante no balanço de energia da superfície.

Culturas perenes como a mangueira, ao atingirem a sua maturidade, consomem maior parte da energia disponível com o fluxo de calor latente e sensível, enquanto pequenas frações são destinadas ao fluxo de calor no solo, devido ao tamanho das árvores que proporcionam maior interceptação da radiação solar e cobertura do solo (SILVA; AZEVEDO; SILVA, 2007; TEIXEIRA; BASTIAANSSEN, 2012).

Teixeira et al. (2008) verificaram que o particionamento de energia para cultivos de mangueiras no semiárido pernambucano teve uma média de 80,82% para LE/Rnet, 13,88% para H/Rnet e -0,21 para G/Rnet. No nordeste do Pará, durante duas safras de um pomar de mangueiras, o balanço de energia proporcionou a variação do consumo de energia disponível entre 69% e 78% como fluxo de calor latente, e entre 23 % e 32%, como fluxo de calor sensível, e menos de 1%, para o fluxo de calor do solo, afirmando que os pomares de mangueiras apresentam boa cobertura do solo, impedindo grandes variações no aquecimento do solo (SOUZA et al., 2016).

Queiroz (2018) estudando o impacto do desmatamento na interação biosfera atmosfera em domínio de Caatinga, mostrou que a remoção da vegetação alterou as características da superfície, reduzindo a energia disponível, com tendência de maiores valores particionados para os fluxos de calor sensível e do solo. No mesmo estudo, a evapotranspiração em área desmatada foi 10% inferior à área com vegetação de caatinga.

Um estudo conduzido no município de Petrolina, em condições de seca intensa, Souza et al. (2015) encontraram partição de H/Rn em média 77%, oscilando em torno de 63%, nos meses de maior disponibilidade hídrica e 89% naqueles mais secos do ano, já para as partições de LE/Rn foram obtidas em dias chuvosos os maiores valores com 60%. Já Teixeira et al. (2008) encontraram valores da relação LE/Rn e H/Rn na ordem de 33% e 53% respectivamente, para o município de Lagoa Grande, estado pernambucano.

Krishnan et al. (2012) ao estudarem os fluxos de energia e vapor de água em duas pastagens semi-áridas no Sudeste do Arizona, Estados Unidos da América, observaram que o H consumiu a maior fração de energia disponível, durante os períodos de crescimento limitado da vegetação e condições de seca, enquanto que o LE dominou o consumo de energia durante os períodos da estação úmida de crescimento ativo.



#### 4.5 Aspectos metodológicos para determinação dos fluxos de energia

As consequências da mudança do uso da terra diante os fluxos de energia em ecossistemas e agroecossistemas de regiões áridas e semiáridas podem ser conhecidas por meio do balanço de energia à superfície do solo, analisando a forma como a energia do sistema biosfera-atmosfera é particionada em fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), bem como entender supostas modificações nos padrões e oscilação da evapotranspiração (DENG et al., 2015; QUEIROZ, 2018; SALAZAR et al., 2016b).

Diferentes técnicas como razão de Bowen, Eddy covariância, sensoriamento remoto, entre outras, tem contribuído para estimar a magnitude, padrões e controles ambientais das trocas turbulentas entre o ecossistema e a atmosfera (BORGES et al., 2016, 2020; MARQUES et al., 2020; MUTTI et al., 2019; SILVA et al., 2011; SOUZA et al., 2015).

É amplamente descrito na literatura, (BIUDES et al., 2015; JAMIYANSHARAV et al., 2011; SILVA et al., 2011; SOUSA et al., 2021) que os fluxos de H e LE podem ser estimados a partir do método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB), pois tem como vantagem, a exigência de poucos parâmetros, cálculos básicos e conceitos simples e bons resultados quando comparado aos métodos dos vórtices turbulentos e lisimétrico e é muito utilizado como referência para avaliação de outros métodos usados no cálculo da evapotranspiração (HU et al., 2014; SOUSA et al., 2021), porém uma desvantagem do BERB é a necessidade de leituras contínuas de gradientes de temperatura e umidade do ar, balanço de radiação e fluxo de calor no solo, que são essenciais para determinar a evapotranspiração, e as leituras são limitadas pelo nascer e pôr do sol, porque há baixa variabilidade na temperatura do ar e gradientes de umidade (SILVA et al., 2016; SOUSA et al., 2021; SOUZA et al., 2018).

O conceito de Bowen foi introduzido em 1926 como sendo a relação de proporcionalidade no balanço energético entre o fluxo de H e o fluxo de LE, relacionando de forma simplificada o gradiente de temperatura do ar e o gradiente de pressão de vapor de água, em pelo menos dois níveis acima da superfície (BOWEN, 1926; EUSER et al., 2014; SILVA et al., 2016). Neste caso, se ( $\beta > 1$ ), mais fluxo de energia é retornado à atmosfera como calor sensível, indicando clima seco. Outro ponto é se a situação for inversa ( $\beta < 1$ ) caracterizando ambiente mais úmido, no qual o fluxo de energia é retornado à atmosfera em maior parte como calor latente (IRMAK; SKAGGS; CHATTERJEE, 2014).

Um novo método de determinação da razão de Bowen foi apresentado por (EUSER et al., 2014), com fundamentação no uso de perfis verticais de temperatura de bulbo seco e úmido de

alta resolução espacial, composto por cabos de fibra óptica com 13 pontos de medida e espaçados 0,2 m entre si. Segundo os autores, esta nova técnica garante resultados confiáveis e permite maior precisão dos gradientes de temperatura e pressão de vapor em relação ao método constituído por apenas dois níveis. No entanto, o método dos dois pontos pode ser usado em aparatos mais simples de serem montados em campo e também garante bons resultados na determinação do fluxo de calor latente, desde que não ocorra fluxo horizontal de massa e calor.

A técnica de Eddy covariância (EC) é o método mais direto e menos empírico de medir as trocas de energia e massa entre a superfície da terra e a atmosfera. Tendo como vantagem o fornecimento de fluxos médios espacialmente na escala de campo sem perturbar o ambiente dos objetos medidos e produz dados temporalmente contínuos (WANG et al., 2020). A aplicação do método requer alta frequência ( $\geq 10$  Hz), medições simultâneas de velocidades tridimensionais do vento e o escalar de interesse (por exemplo, temperatura ou concentração de gás).

A desvantagem da técnica de EC consiste no não fechamento do balanço de energia, o que possivelmente pode estar relacionado ao mau funcionamento dos sensores, por exemplo, em condições de chuva e outra desvantagem é o alto custo na aquisição e manutenção (PEREIRA, 2013). A técnica tem outras limitações, particularmente quando usada em áreas com vegetação alta, uma vez que foi desenvolvida para vegetação rasteira e áreas horizontalmente uniformes (BALDOCCHI, 2003; BORGES et al., 2020).

Outro ponto agravante é a estabilidade noturna que não oferece condições satisfatórias para a obtenção de dados, podendo causar perdas nas medições de fluxos (BORGES et al., 2020). Mediante essas dúvidas sobre a eficiência da técnica de eddy covariância, muitos pesquisadores aplicaram modelos de regressão linear simples entre os componentes do balanço de energia (BARR et al., 2006; ROCHA et al., 2004; WILSON et al., 2002). Contudo, esses estudos não verificaram a adequação dos pressupostos estatísticos da análise de regressão, o que pode levar a conclusões errôneas, caso o modelo não seja adequado (BORGES et al., 2020).

Nas últimas décadas, a técnica de sensoriamento remoto (SR) baseada no balanço de energia da superfície, passou a ser usada para estimar os fluxos de calor latente e sensível, bem como a ET em larga escala e em vários lugares (ELKATOURY; ALAZBA; ABDELBARY, 2020). Além disso, é considerada uma das abordagens mais precisas para estimar a ET em áreas espacialmente grandes e variáveis em alta resolução (ELKATOURY; ALAZBA; ABDELBARY, 2020; SAADI et al., 2018).

Sendo assim, modelos baseados em imagens de satélites têm sido cada vez mais difundidos, como o SEBAL, METRIC e o SSEB (ELKATOURY; ALAZBA; ABDELBARY, 2020). Diante o baixo custo da obtenção, sua utilização pode ser aplicada para diversos estudos ambientais, principalmente quando ocorre a ausência de informações meteorológicas que possam ser utilizadas para determinação dos fluxos, dando espaço a utilização de imagens de satélites para estimativa dos componentes do balanço de energia bem como sua inter-relação com as vegetações (SANTOS et al., 2015).

#### **4.6 Avanços e novas ideias sobre critérios de rejeição de dados obtidos pelo método do balanço da razão de Bowen**

O balanço de energia à superfície do solo, resume-se na partição do saldo de radiação após ter efetuado as trocas radiantes de energia que entra e sai da superfície (Ometto, 1981). Permite analisar a forma como a energia do sistema biosfera-atmosfera é particionada em fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE), bem como entender supostas modificações nos padrões e oscilação da evapotranspiração (DENG et al., 2015; QUEIROZ, 2018; SALAZAR et al., 2016b).

Infelizmente os meios para medição do balanço de energia não estão disponíveis; portanto a estimativa de tal, sempre depende de modelos de complexidade variável ou de parametrização. Entre os métodos que derivam de princípios físicos básicos, o método da Razão de Bowen (PEREZ et al., 1999) utiliza grandezas que podem ser medidas com uma estação de monitoramento. No entanto as incertezas sobre as grandezas medidas podem afetar a razão de Bowen, ou seja, a razão entre os fluxos de calor sensível e latente, de forma a produzir valores irreais (COMUNIAN et al., 2018).

O método do balanço de energia com base na razão de Bowen falha quando: a resolução do sensor é inadequada para resolver os gradientes em  $\Delta T$  e  $\Delta e$ ; quando as condições atmosféricas estáveis causam  $\beta \approx -1$ , (durante ao amanhecer e ao anoitecer) ou quando as condições mudam abruptamente levando à erros de medição (MACHADO et al., 2016). Na sua grande maioria, os fluxos de calor (H) e (LE) são calculados a partir de quantidades medidas em apenas duas alturas. Portanto, alguns autores propuseram melhorar a estimativa, aumentando a resolução espacial das medidas necessárias para calcular os fluxos mencionados (COMUNIAN et al., 2018; EUSER et al., 2014)(COMUNIAN et al., 2018; EUSER et al., 2014). Outra solução para lidar com esses valores irreais é a rejeição de dados, onde a literatura

apresenta uma série de trabalhos para lidar com isso. Alguns autores propuseram rejeitar dados com base do valor de Bowen (CELLIER; OLIOSO, 1993; ORTEGA-FARIAS; CUENCA; EK, 1996). Já outros propuseram critérios de rejeição de dados com base na análise dos limites relacionados à resolução do instrumento e considerações físicas (OHMURA, 1982; PEREZ et al., 1999).

Hu et al. (2014) buscando revisar a fórmula usada para calcular o erro da razão de Bowen, forneceram uma teoria básica para aceitar ou rejeitar os dados, usando uma fórmula para calcular o limite de resolução de 0,2 °C de medição de temperatura e 0,08 kPa do limite de resolução para medição da pressão de vapor d'água, mostrando as etapas de aceitação ou rejeição dos dados observados. A fórmula utilizada para calcular o limite de erro de Bowen foi corrigida com base na teoria da análise do erro. Segundo os autores a ideia proposta por Perez et al. (1999) foi excelente, mas a equação usada para calcular o limite de erro da razão de Bowen estava incorreta.

Huang et al. (2017) ao analisar e esclarecer as características de troca terra-atmosfera da energia e água dos ecossistemas de pastagens montanhosas áridas na Ásia Central durante a estação de crescimento utilizaram uma interpolação para processar os dados obtidos com valores de  $\beta \approx -1$ , o que garantiu ainda mais a validade dos dados.

A proporção dos dados rejeitados para o balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB) varia amplamente entre os estudos, devido às diferentes condições do local e aos critérios de rejeição empregados (PEREZ et al., 1999). No entanto, a rejeição normalmente é realizada de forma subjetiva pelo pesquisador, ou seja, de acordo com uma regra prática, mas depois generalizada. Além disso, até recentemente, as características e a importância da faixa de rejeição não foram esclarecidas (MARUYAMA; ITO; TAKIMOTO, 2019).

Esses problemas foram relatados por vários pesquisadores: Horie e Luchiari (1981), Sakuradani e Okada (1985) sugeriram que o intervalo anormal é  $-1,5 < \beta < -0,5$ , Unland et al. (1996) propuseram que o intervalo é  $-1,3 < \beta < -0,7$ , Odani et al. (1996, 2001) argumentaram que o intervalo é  $-1,2 < \beta < -0,8$  e Ortega-Farias et al. (1996) que o intervalo é  $-0,75 < \beta$ .

Maruyama et al. (2019) propõem uma definição dos dados anormais que ocorrem à medida que a razão de Bowen ( $B_o$ ) se aproxima de -1 por meio do método da razão de Bowen pela análise inversa, que pode estimar o fluxo de calor sensível e latente usando temperatura e umidade observadas em uma única altura acima do solo. Walls et al. (2020) buscando prever a evapotranspiração real para uma sub-bacia hidrográfica em Oxford County, Canadá, utilizou o intervalo de exclusão de  $\beta$  de  $-1,25 < \beta < -0,75$  e identificou dados errôneos presentes,

responsáveis por rejeitar 41,65% do total dos dados. Isso ocorreu principalmente à noite e de manhã cedo, e as taxas de ET produzidas durante esses períodos tiveram de ser rejeitadas, permanecendo apenas as estimativas diurnas entre as 6:00 e as 18:00 horas.

Comunian et al. (2018) fizeram uso de uma simulação estatística de múltiplos pontos para a substituição de valores rejeitados, por meio de um algoritmo de amostragem direta que é considerado por sua flexibilidade no manuseio da simulação de variáveis contínuas e pela possibilidade de incorporação de informações secundárias. Os autores testaram a metodologia em um estudo de caso real com uma série de dados hidrometeorológicos de dois anos.

As etapas usadas para aceitar ou rejeitar dados são os seguintes: dados que não satisfazem as relações qualitativas entre a diferença de pressão de vapor, a diferença de temperatura, a razão de Bowen e a energia disponível são excluídos primeiro, em seguida, os dados que caem na faixa de rejeição da razão de Bowen são excluídos em segundo lugar. É necessário aumentar a precisão dos sensores de temperatura e umidade para melhorar a taxa de aceitação dos dados observados, usando o sistema de razão de Bowen, além de melhorar a precisão observada da energia disponível (HU et al., 2014).

#### **4.7 Importância da palma forrageira no Semiárido Brasileiro**

O semiárido brasileiro ocupa uma área superior a 1,03 milhões de km<sup>2</sup>, habitado por mais de 25 milhões de pessoas, abrangendo atualmente 1.262 municípios, principalmente no Nordeste do país (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2017; SUDENE, 2017). Esta região apresenta uma baixa disponibilidade hídrica, principalmente durante as estações secas, comprometendo a oferta de forragem e consequentemente o aumento da produtividade animal (GUSHA et al., 2015). Sendo assim, o uso de plantas forrageiras adaptadas a essa região, pode garantir a alimentação dos rebanhos, principalmente ao longo dos períodos de estiagem.

A palma forrageira merece destaque, pois apresenta bom valor energético, elevada digestibilidade, grande adaptabilidade às condições climáticas, além de suprir a necessidade hídrica dos animais (FALCÃO et al., 2013; MEDEIROS et al., 2012; VILELA et al., 2010). Originária do México e com mais de 2 mil espécies (JARDIM et al., 2020), a palma forrageira pertence à família das Cactáceas, foi introduzida no Brasil durante o século XIX, nos estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco e Ceará (FALCÃO et al., 2013). A mesma também é encontrada nas regiões semiáridas da América do Norte, América do Sul e continente Africano (CONSOLI; INGLESE; INGLESE, 2013).

Esta planta apresenta alta eficiência do uso da água devido ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), produzindo de quatro a cinco vezes mais matéria seca, quando comparada a outras espécies C3 e C4 (GUSHA et al., 2015). Seu metabolismo fotossintético CAM permite às plantas abrirem seus estômatos à noite e fecha-los durante o dia, minimizando a perda de água por transpiração, conferindo-lhe também uma elevada capacidade de armazenamento de água (SCALISI et al., 2016).

Dentre as espécies mais utilizadas no Semiárido brasileiro, a que vem mais se destacando é a *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), por ser uma planta rústica, tolerante à seca e resistente à Cochonilha do Carmim (*Dactylopius opuntiae*) (SILVA et al., 2015). Por ser um recurso alimentar estratégico para as regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, é nítida a importância da palma forrageira, onde, vários fatores são determinantes para o incentivo do seu cultivo: a preocupação ambiental com a conservação da biodiversidade forrageira do bioma; oferta alternativa de alimento para os animais e a lucratividade da atividade pecuária, garantindo a segurança alimentar das populações que vivem em áreas marcadas pela instabilidade climática (LUIS; NEVES, 2010).

Além de ser uma cultura que contribui positivamente na viabilidade econômica das pequenas e médias propriedades, é uma das melhores opções de produção de forragem em sistema de sequeiro no semiárido (MENEZES; SIMÕES; SAMPAIO, 2005). A implantação de áreas agrícolas com palma forrageira pode auxiliar na recuperação de solos e minimizar o processo de erosão em áreas com algum estágio de degradação (ROCHA, 2012), podendo funcionar como uma barreira de retenção da erosão (HASSAN et al., 2020; FIGUEIREDO, 2012).

Sob condições climáticas do México, Vásquez-Méndez et al. (2010) verificaram que em área de cultivo com cactáceas forrageiras do gênero *Opuntia* há menores perdas de solo, tornando-se um efeito positivo no que concerne o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, a palma forrageira surge como uma alternativa sustentável, pois, associa sua capacidade de produção com os interesses ambientais frente aos cenários de desertificação principalmente nas regiões áridas e semiáridas (INGLESE et al., 1995).

#### **4.8 Partição de água da chuva na vegetação**

O particionamento da chuva nos ecossistemas possibilita o entendimento da produção de água em um ambiente que pode ser utilizado no manejo, planejamento e gerenciamento dos

recursos hídricos, sendo particularmente importante em regiões semiáridas, onde a água é um fator limitante para o desenvolvimento econômico e a própria vida (LLORENS; DOMINGO, 2007).

A divisão das chuvas implica na sua redistribuição pela vegetação, à medida que a água passa pelo dossel. Parte da água é evaporada diretamente (interceptação de chuva pelo dossel) e o restante chega ao solo por escoamento do caule ou queda. Em geral, interceptação significa perda de água para a vegetação, a queda direta da chuva afeta as camadas superficiais do solo e, o escoamento do caule pode alcançar camadas mais profundas do solo e permanecer disponível para as raízes das plantas, já que ocorre um desaceleramento das partículas de água (NULSEN et al., 1981; MARTINEZ-MEZA; WHITFORD, 1996; LLORENS; DOMINGO, 2007).

Estes processos de redistribuição desempenham um papel de destaque no balanço hídrico, nas escalas locais e regionais (QUEIROZ et al., 2020), em que, a modificação da cobertura vegetal pode ocasionar efeitos significativos nos processos hidrológicos. A região semiárida do Brasil, é recoberta por um tipo de vegetação sazonalmente seca, denominada da Caatinga. Neste ambiente, podem ser observadas práticas de desmatamento indiscriminado para extração de lenha e áreas de plantio, além do excesso de animais na pecuária extensiva (DÓRIA et al., 2016), o que frequentemente agrava os processos de degradação nestas áreas e aumenta a complexidade hidrológica (QUEIROZ et al., 2020; RODRIGUES et al., 2013).

A redistribuição de chuvas no semiárido brasileiro, especialmente em áreas de Caatinga, ainda pouco estudada e reportada na literatura (QUEIROZ et al., 2020; BRASIL et al., 2017; MEDEIROS et al., 2009). As perdas de água por interceptação por exemplo, influenciam na umidade do solo, escoamento da água e na recarga dos aquíferos, sendo importantes para ao atendimento da demanda de água seja agrícola, industrial ou residencial (QUEIROZ et al., 2020). Diante uma ampla revisão bibliográfica sobre as medições de perdas por interceptação em áreas de florestas brasileiras Giglio; Kobiyana, (2013), encontram alguns trabalhos realizados na Mata Atlântica, Amazônia, Cerrado e apenas um na Caatinga.

As perdas de água por interceptação de realização dependem das características da chuva bem como de outras condições meteorológicas, densidade de plantas, inclinação dos galhos, altura da copa, características da casca, forma e inclinação das folhas, e índice de área foliar. O que por vezes dificulta as conclusões sobre um tipo de floresta sobre este processo (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000).

Zhang et al. (2015) avaliaram a partição pluviométrica em duas espécies de arbustos xerofíticos no Noroeste da China. Como resultado, *Caragana korshinskii* apresentou valores de 74,3%, 9,0% e 16,7% para precipitação interna, escoamento do caule e interceptação, enquanto para *Artemisia ordosica* os valores foram 74,8%, 2,9% e 22,3%, respectivamente. Os autores afirmam que, as diferenças entre as espécies são atribuídas às suas características foliares, galhos, tamanho da copa e índice de área foliar, resultando em maior ou menor escoamento e interceptação.

Estudando o particionamento da chuva na floresta atlântica do Nordeste brasileiro, Filho et al. (2019) observaram que a vegetação apresentou interceptação de 44,9%, chuva interna 52,9% e escoamento do tronco de 2,2% da precipitação total. Em outro estudo conduzido no Sertão central do Brasil, (QUEIROZ et al., 2021) ao correlacionar o particionamento de chuva com composição de espécies da Caatinga, sob perturbação antrópica, observaram que as características estruturais das plantas consideradas no estudo não explicaram a dinâmica das variáveis hidrológicas (queda, escoamento e perda de interceptação) da vegetação da Caatinga.

Múltiplas características das plantas são fatores importantes na redistribuição das chuvas. Os ângulos de ramificação e o volume do dossel também influenciam a distribuição das chuvas nas florestas, o tamanho da árvore, e a rugosidade da casca são os principais fatores que controlam os volumes de escoamento do caule (DONG et al., 2020).

#### **4.9 Fenologia e câmeras hemisféricas**

Estudos têm demonstrado que relações entre o comportamento das plantas e o ambiente podem influenciar nos padrões reprodutivos, de crescimento, desenvolvimento, e características fisiológicas das espécies em ambientes heterogêneos (GOULART; FILHO; LOVATO, 2005; POLGAR; PRIMACK, 2011; ROCHA et al., 2016).

A fenologia representa o estudo das relações entre as fases de vida das plantas (desde a semente até a senescência) e os fatores ambientais (MORELLATO, 1995; NETO et al., 2018). Segundo Abernethy et al. (2018), as pesquisas e estudos sobre a fenologia têm ganhado cada vez mais importância, contribuindo para a compreensão da dinâmica e estruturação das comunidades de plantas (RATHCKE; LACEY, 1985). Além de embasar estratégias de conservação, manejo e restauração de ecossistemas ameaçados e promover a investigação dos aspectos básicos da biologia de suas espécies (MORELLATO; CAMARGO; GRESSLER, 2013).



Em locais com bastante irregularidade de chuva, como as regiões semiáridas, por exemplo, a alternância dos períodos seco e chuvoso influencia intensamente a fenologia, comprometendo o crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas (REICH; BORCHERT, 1984; MORELLATO et al., 1989). Com tudo, as variações fenológicas das plantas também são observadas em regiões de pouca sazonalidade.

Neves et al. (2010) estudando o comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* spp. observaram a correlação que existe entre as fenofases e a capacidade de armazenamento de água nos tecidos. Neste caso, valores de armazenamento elevados, promovem a ocorrência dos eventos fenológicos, mesmo na ausência de chuva. Contudo, não se sabe o efeito dos eventos fenológicos dessas espécies, durante longos períodos de secas.

Para espécies de plantas da caatinga trabalhos desta natureza são escassos, especialmente em espécies endêmicas ou ameaçadas (MIOLA et al., 2010; COELHO; MACHADO, 2009; DUTRA et al., 2009; CONCEIÇÃO; FUNCH; PIRANI, 2007; MADEIRA; FERNANDES, 1999). Uma alternativa para o preenchimento destas lacunas, é a intensificação de estudos fenológicos com o uso de satélites e câmeras digitais, que podem expandir a capacidade dos pesquisadores de estudar as tendências no tempo atual dos eventos fenológicos e modelar para o futuro (POLGAR; PRIMACK, 2011). A tradicional técnica com uso de câmeras digitais tem sido empregada em várias aplicações ecológicas, com destaque para fenologia de plantas (MOURA, 2018; POLGAR; PRIMACK, 2011).

Os primeiros trabalhos com a utilização de câmeras digitais foram realizados na década de 80, mas, publicações com este viés apresentaram um significativo aumento nos últimos anos devido ao maior interesse e aplicação desta tecnologia no estudo das plantas (BARBOSA et al., 2016). Além de facilitar diversas pesquisas, o uso de câmeras digitais é de baixo custo, fácil de instalação e manutenção, podendo ser utilizada em diferentes regiões ( RICHARDSON et al., 2009; SONNENTAG et al., 2012; INOUE et al., 2014; PETACH et al., 2014).

Alberton et al. (2017) apresentaram um protocolo com etapas e informações sobre o método repetido de fotografia digital para entendimento dos padrões sazonais a longo prazo do clima, podendo aumentar a precisão das observações e ampliar a área de estudo (ALBERTON et al., 2014). Ainda por meio da mesma é possível analisar a cor da folhas, bem como as alterações das fenofases (brotamento, copa, queda foliar, floração e frutificação) (RICHARDSON et al., 2009). Assim, o uso de câmeras digitais pode proporcionar a independência do pesquisador no campo, reduzindo consideravelmente o trabalho humano de

coleta de dados, permitindo avaliações contínuas e a longo prazo, dos fenômenos biológicos e suas relações com o meio ambiente.

## **5. Consideração Finais**

Os impactos que as mudanças no uso da terra podem ocasionar nos sistemas de produção agrícola em ambientes semiárido, reduz de forma significativa a segurança alimentar dos rebanhos. Para contornar esses problemas, a literatura reporta a importância do uso de plantas que sejam adaptadas as condições ambientais da região, por exemplo, a palma forrageira.

A remoção da vegetação em ambientes áridos e semiáridos altera as características da superfície, reduzindo a energia disponível, com tendência de acréscimo nos valores particionados para os fluxos de calor sensível e calor no solo. Logo, o emprego de estudos desta natureza deve ser mais frequente, para entender o comportamento dos fluxos de energia na superfície, após as alterações no uso da terra, e assim poder propor medidas mitigadoras e políticas públicas de preservação da vegetação nativa, em especial o bioma Caatinga. A carência de trabalhos relacionados aos efeitos da mudança do uso da terra sobre os processos hidrodinâmicos e biofísicos em ecossistemas e agroecossistemas das regiões áridas e semiáridas não são muito comuns, o que motiva a realização de maiores estudos.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo do primeiro autor. Ao GAS – Grupo de Agrometeorologia no Semiárido pelo auxílio em campo durante a pesquisa. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) [309421 / 2018-7 e 152251 / 2018-9] pelo apoio financeiro.

## **6. REFERÊNCIAS**

ABERNETHY, K. et al. Current issues in tropical phenology: a synthesis. **Biotropica**, v. 50, n. 3, p. 477–482, 2018.

ABUBAKAR, S. D.; ENIOLORUNDA, N. B. Effect of Desertification on Some Selected Soil Properties in a Semi Arid Part of Northwestern Nigeria. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 04, n. 07, p. 111–123, 2016.

ALBERTON, B. et al. Using phenological cameras to track the green up in a cerrado savanna

and its on-the-ground validation. **Ecological Informatics**, v. 19, p. 62–70, 2014.

ALBERTON, B. et al. Introducing digital cameras to monitor plant phenology in the tropics: applications for conservation. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 2, p. 82–90, 2017.

ANGELOTTI, F.; JÚNIOR, P. I. F.; SÁ, I. B. DE. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1097–1111, 2011.

ARRAES, F. D. D.; DE ANDRADE, E. M.; DA SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 119–127, 2012.

BALDOCCHI, D. D. Assessing the Eddy Covariance Technique for Evaluating the Carbon Balance of Ecosystems. **Global Change Biology**, v. 9, n. November 2002, p. 479–492, 2003.

BARBOSA, J. Z. et al. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas Use of digital images taken with camera for plant analysis. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 15–24, 2016.

BARR, A. G. et al. Surface energy balance closure by the eddy-covariance method above three boreal forest stands and implications for the measurement of the CO<sub>2</sub> flux. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 140, n. 1–4, p. 322–337, 2006.

BECERRIL-PIÑA, R. et al. Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 120, p. 4–13, 2015.

BIUDES, M. S. et al. MUDANÇA NO MICROCLIMA PROVOCADA PELA CONVERSÃO DE UMA FLORESTA DE CAMBARÁ EM PASTAGEM NO NORTE DO PANTANAL. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. V. 10, n.1, p. 61–68, 2012.

BIUDES, M. S. et al. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112–124, 2015.

BOLLES, K.; SWEENEY, M.; FORMAN, S. Meteorological catalysts of dust events and particle source dynamics of affected soils during the 1930s Dust Bowl drought, Southern High Plains, USA. **Anthropocene**, v. 27, p. 100216, 2019.

BORGES, C. K. et al. Seasonal variation of energy fluxes in caatinga areas preserved and degraded in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 5, 2016.

BORGES, C. K. et al. Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 8, 2020.

- BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review Serial 2**, v. 27, p. 779–787, 1926.
- BRASIL, J. B. et al. CARACTERÍSTICAS DAS CHUVAS E INTERCEPTAÇÃO VEGETAL NO BIOMA CAATINGA. **Irriga, Botucatu**, v. 22, n. 1808–3765, p. 560–574, 2017.
- CARVALHO, H. F. DE S.; MOURA, M. S. B. DE; SILVA, T. G. F. DA. Fluxos de Radiação e Energia em Caatinga Preservada e Cana-de-Açúcar no Semiárido Radiation and Energy Fluxes in Preserved Caatinga and Sugarcane in Semi-Arid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 452–458, 2018.
- CAVALCANTI, E. R. et al. E Desastres Naturais Na Região Do Semi-Árido Brasileiro. **Cadernos de Estudos Sociais**, v. 32, n. 1, p. 019–032, 2006.
- CELLIER, P.; OLIOSO, A. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurement. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 66, n. 1–2, p. 81–92, 1993.
- COELHO, A. G.; MACHADO, C. G. Fenologia reprodutiva de *Prepusa montana* Mart. (Gentianaceae) em uma área de campo rupestre da Chapada Diamantina, BA, Brasi. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 2, p. 405–410, 2009.
- COMUNIAN, A. et al. Improving Bowen-ratio estimates of evaporation using a rejection criterion and multiple-point statistics. **Journal of Hydrology**, v. 563, n. May, p. 43–50, 2018.
- CONCEIÇÃO, A. A.; FUNCH, L. S.; PIRANI, J. R. Reproductive phenology, pollination and seed dispersal syndromes on sandstone outcrop vegetation in the “Chapada Diamantina”, northeastern Brazil: Population and community analyses. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 475–485, 2007.
- CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of Evapotranspiration and Annual Biomass Productivity of a Cactus Pear [ *Opuntia ficus-indica* L. ( Mill .)] Orchard in a Semiarid Environment. n. August, p. 680–690, 2013.
- CORREIA, F. W. S. et al. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 39–43, 2007.
- CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall , stem -  
 ow and interception : e € ect of forest type , ground cover and climate. v. 2920, n. April 1999, p. 2903–2920, 2000.
- CUNHA, A. P. M. DO A.; ALVALÁ, R. C. DOS S.; DE 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, p. 139–152, 2013.
- D’ODORICO, P. et al. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water**

**Resources**, v. 51, p. 326–344, 2013.

DA SILVA, T. G. F. et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, 2015.

DAS NEVES, E. L.; FUNCH, L. S.; VIANA, B. F. Comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 155–166, 2010.

DENG, X. et al. Impacts of land use and land cover changes on surface energy and water balance in the Heihe River Basin of China, 2000-2010. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 79–82, p. 2–10, 2015.

DONG, L. et al. Rainfall Partitioning in Chinese Pine ( *Pinus tabuliformis* Carr .) Stands at Three Different Ages. 2020.

DÓRIA, L. C. et al. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado? Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado? **Flora**, v. 224, n. December 2018, p. 244–251, 2016.

DUAN, L.; HUANG, M.; ZHANG, L. Differences in hydrological responses for different vegetation types on a steep slope on the Loess Plateau , China. **JOURNAL OF HYDROLOGY**, 2016.

DUTRA, V. F. et al. Fenologia reprodutiva, síndromes de polinização e dispersão de Leguminosas. **Rodriguesia**, v. 60, n. 2, p. 371–387, 2009.

ELKATOURY, A.; ALAZBA, A. A.; ABDELBARAY, A. Evaluating the performance of two SEB models for estimating ET based on satellite images in arid regions. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 2, p. 1–19, 2020.

EUSER, T. et al. A new method to measure Bowen ratios using high-resolution vertical dry and wet bulb temperature profiles. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 6, p. 2021–2032, 2014.

FALCÃO, H. M. et al. Scientia Horticulturae Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 419–424, 2013.

FERNANDES, E. X.; NERY, J. T. Energy balance in the Cerrado of Ecological of Assis - Assis, São Paulo State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, p. 411–415, 2015.

FERNANDES, G. S. T. et al. Balanço de energia via sensoriamento remoto em fragmentos de Caatinga no Sul do Piauí. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 3, p. 131, 2019.

FIGUEIREDO, V. S. Perspectiva de recuperação de solo para áreas em processo de

desertificação no Semiárido da Paraíba - Brasil. **Scripta Nova - Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**, v. XVII, n. 4, p. 1–13, 2012.

FILHO, J. C. R. et al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Partitioning of rainfall into throughfall , stemflow , and interception loss in the Brazilian Northeastern Atlantic Forest de interceptação vegetal no semiárido nordestino. p. 21–26, 2019.

FU, Q. et al. Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: A case study in Altay Prefecture, China. **Science of the Total Environment**, v. 607–608, p. 633–646, 2017.

GALINDO, I. C. DE L. et al. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1283–1296, 2008.

GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Interceptação da Chuva : Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras Interceptação da Chuva : Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. n. Abril 2017, 2013.

GONDIM, P. S. D. S. et al. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 3–8, 2015.

GOULART, M. F.; FILHO, J. P. L.; LOVATO, M. B. Phenological variation within and among populations of *Plathymentia reticulata* in Brazilian Cerrado, the Atlantic Forest and transitional sites. **Annals of Botany**, v. 96, n. 3, p. 445–455, 2005.

GUSHA, J. et al. The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in Zimbabwe. **Small Ruminant Research**, v. 125, p. 21–25, 2015.

HASSAN, S. et al. The effect of soil volume availability on *Opuntia ficus-indica* canopy and root growth. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 1–17, 2020.

HU, S. et al. Discussion and reassessment of the method used for accepting or rejecting data observed by a Bowen ratio system. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 15, p. 4506–4510, 2014.

HUANG, X.; LUO, G.; WANG, X. Land–atmosphere exchange of water and heat in the arid mountainous grasslands of Central Asia during the growing season. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 10, 2017.

IRMAK, S.; SKAGGS, K. E.; CHATTERJEE, S. A review of the Bowen ratio surface energy balance method for quantifying evapotranspiration and other energy fluxes. **Transactions of the ASABE**, v. 57, n. 6, p. 1657–1674, 2014.

- JAMIYANSHARAV, K. et al. Seasonal and interannual variability in surface energy partitioning and vegetation cover with grazing at shortgrass steppe. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 4, p. 360–370, 2011.
- JOSEPH, O.; GBENGA, A. E.; LANGYIT, D. G. Desertification risk analysis and assessment in Northern Nigeria. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 11, n. March 2017, p. 70–82, 2018.
- KRISHNAN, P. et al. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 153, p. 31–44, 2012.
- LACERDA, F. F. et al. Alterações Climáticas Globais; Uma Realidade Em Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 11, n. 0, p. 121–154, 2015.
- LACERDA, F. F. et al. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de araripina, pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 132–141, 2016.
- LAMCHIN, M. et al. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. **Advances in Space Research**, v. 57, n. 1, p. 64–77, 2016.
- LIU, S. et al. Several challenges in monitoring and assessing desertification. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 11, p. 7561–7570, 2015.
- LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1–2, p. 37–54, 2007.
- LUIS, A.; NEVES, A. Comunicado 62 Técnico. 2010.
- MACHADO, N. G. et al. Sazonalidade do balanço de energia e evapotranspiração em área arbustiva alagável no pantanal mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 82–91, 2016.
- MADEIRA, JOÃO A.; FERNANDES, G. W. Reproductive phenology of sympatric taxa of Chamaecrista (Leguminosae) in Serra do Cipó, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, n. 4, p. 463–479, 1999.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, p. 149–176, 2008.
- MARENGO, J. A. et al. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. [s.l: s.n.].
- MARQUES, T. V. et al. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from

- Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semi-arid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, n. February 2019, p. 107957, 2020.
- MARTINEZ-MEZA, E.; WHITFORD, W. G. Stemflow , throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs. p. 271–287, 1996.
- MARUYAMA, T.; ITO, K.; TAKIMOTO, H. Abnormal data rejection range in the Bowen ratio and inverse analysis methods for estimating evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 269–270, n. June 2018, p. 323–334, 2019.
- MEDEIROS, G. R. DE et al. Effects of replacing corn with cactus pear ( *Opuntia ficus indica* Mill ) on the performance of Santa Inês lambs. v. 102, p. 13–17, 2012.
- MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. A palma no Nordeste do Brasil - Conhecimento Atual e Novas Perspectivas de uso. **Ed. Universitária da UFRPE**, p. 44p., 2005.
- MIOLA, D. et al. Efeito do fogo na fenologia de *Syagrus glaucescens* Glaz. ex Becc. (Arecaceae). **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, n. 3, p. 146–153, 2010.
- MORELLATO, L. P. C. et al. Estudo comparativo da fenologia de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesofila semidecídua na Serra do Japi, Jundiá, São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 12, p. 85–98, 1989.
- MORELLATO, L. P. C. **As estações do ano na floresta. Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra.** [s.l: s.n.].
- MORELLATO, L. P. C.; CAMARGO, M. G. G.; GRESSLER, E. **A Review of Plant Phenology in South and Central America.** [s.l: s.n.].
- MOURA, V. G. DE M. SAZONALIDADE FENOLÓGICA E ASPECTOS FUNCIONAIS DE ESPÉCIES LENHOSAS DA CAATINGA: ACOMPANHAMENTO COM CÂMERA HEMISFÉRICA E IN LOCO. **Disertação ( Mestrado em Produção Vegetal)**, 2018.
- MUTTI, P. R. et al. Basin scale rainfall-evapotranspiration dynamics in a tropical semi-arid environment during dry and wet years. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 75, n. July 2018, p. 29–43, 2019.
- NETO, R. L. B. et al. FENOLOGIA DE *Astronium graveolens* Jacq. EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL EM VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA. v. 28, n. 1980–5098, p. 641–650, 2018.
- NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais : possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 239–258, 2010.
- NOBRE, P. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro.**



Instituto ed. Campina Grande, PB: [s.n.]. v. 4

NULSEN, R. A. et al. The fate of rainfall in a mallee and heath vegetated catchment in southern Western Australia. v. 11, n. 1957, p. 361–371, 1981.

OHMURA, A. **Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations.** *Journal of Applied Meteorology*, 1982.

OLIVEIRA, G. S.; VECCHIA, F. A. S. Mudanças Climáticas. Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão. 1ª ed. Rio de Janeiro. **Elsevier**, v. V.1, p. 367–400, 2013.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 81, n. 1–2, p. 131–143, 1996.

PALÁCIO, H. A. DE Q. et al. Uso da terra e resposta hidrossedimentológica de microbacia no semiárido. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 6, n. 3, p. 187, 2012.

PEREIRA, O. A. Estimativas do balanço de energia e fluxo de carbono por diferentes métodos em floresta de transição no Sudoeste da Amazônia. **Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013.**, p. 112, 2013.

PEREZ-MARIN, A. M. et al. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro : ocorrência natural ou antrópica ? **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 87–106, 2012.

PEREZ, P. J. et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, n. 3, p. 141–150, 1999.

PETACH, A. R. et al. Agricultural and Forest Meteorology Monitoring vegetation phenology using an infrared-enabled security camera. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 195–196, p. 143–151, 2014.

PIELKER, B. R. A. et al. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. **Kemampuan Koneksi Matematis (Tinjauan Terhadap Pendekatan Pembelajaran Savi)**, v. 360, p. 1705–1719, 2002.

POLGAR, C. A.; PRIMACK, R. B. Leaf-out phenology of temperate woody plants: From trees to ecosystems. **New Phytologist**, v. 191, n. 4, p. 926–941, 2011.

QUEIROZ, M. G. DE. **Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera do Domínio Caatinga.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2018.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. **Ecohydrology & Hydrobiology**, n. xxxx, p. 1–13, 2020.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Composition of Caatinga Species Under Anthropic Disturbance and Its Correlation With Rainfall Partitioning. v. 28, n. 1, p. 1–10, 2021.

RATHCKE, B.; LACEY, E. P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual review of ecology and systematics**. Vol. 16, p. 179–214, 1985.

REICH, P. B.; BORCHERT, R. Water Stress and Tree Phenology in a Tropical Dry Forest in the Lowlands of Costa Rica. **The Journal of Ecology**, v. 72, n. 1, p. 61, 1984.

RESCHKE, G. DE A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em JI-Paraná, Rondônia**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 1997.

RICHARDSON, A. D. et al. Near-Surface Remote Sensing of Spatial and Temporal Variation in Canopy Phenology and Scott V. Ollinger Published by: Wiley Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/40346257> Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenolo. v. 19, n. 6, p. 1417–1428, 2009.

ROCHA, H. R. DA et al. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4 SUPPL., p. 22–32, 2004.

ROCHA, J. E. DA S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte**.

ROCHA, N. M. W. B. et al. Phenology Patterns Across a Rupestrian Grassland Altitudinal Gradient. **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil**, p. 275–289, 2016.

RODRIGUES, J. O. et al. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. v. 17, n. March, p. 312–318, 2013.

SAADI, S. et al. Assessment of actual evapotranspiration over a semiarid heterogeneous land surface by means of coupled low-resolution remote sensing data with an energy balance model: Comparison to extra-large aperture scintillometer measurements. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 4, p. 2187–2209, 2018.

SALAZAR, A. et al. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. **Global and Planetary Change**, v. 139, n. January 2016, p. 97–108, 2016a.

SALAZAR, A. et al. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. **Global and Planetary Change**, v. 139, n. January, p. 97–108, 2016b.

SALIH, A. A. M.; GANAWA, E. T.; ELMAHL, A. A. Spectral mixture analysis (SMA) and change vector analysis (CVA) methods for monitoring and mapping land degradation/desertification in arid and semiarid areas (Sudan), using Landsat imagery. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 20, p. S21–S29, 2017.

- SANTANA, M. O. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. [s.l.: s.n.].
- SANTOS, F. A. C. et al. Desempenho de metodologias para estimativa do saldo de radiação a partir de imagens modis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 295–306, 2015.
- SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.
- SILVA, L. D. B. DA et al. DESEMPENHO DO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA - RAZÃO DE BOWEN NA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA. **Irriga, Botucatu**, v. 21, n. 1808–3765, p. 516–529, 2016.
- SILVA, P. F. DA et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71–82, 2017.
- SILVA, R. A. B. DA et al. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 1, p. 147–157, 2014.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 139–147, 2011.
- SILVA, V. DE P. R. DA; AZEVEDO, P. V. DE; SILVA, B. B. DA. Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1391–1396, 2007.
- SILVA, R. M. P.; LIMA, J.; MENDOÇA, I. F. C. DE. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 202, 2014.
- SIMON, J.; ALMEIDA, R. E. MUNHOZ DE. Revisão sobre saldo de radiação em plantas de cobertura contínua e descontínua e perspectivas para sistemas mistos (iLPF). **Embrapa Pesca e Aquicultura**, v. 1 Ed. Palm, p. 40p., 2014.
- SONNENTAG, O. et al. Agricultural and Forest Meteorology Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 152, p. 159–177, 2012.
- SOUSA, D. DE P. et al. Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. **Irrigation Science**, n. 0123456789, 2021.
- SOUZA, L. S. B. DE et al. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na

Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 627–636, 2015.

SOUZA, P. J. DE O. P. DE et al. Estimativa do consumo hídrico no período reprodutivo em pomar de mangueiras no nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 3, 2016.

SOUZA, P. J. DE O. P. DE et al. Diurnal energy balance in a mango orchard in the northeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 537–546, 2018.

#### **Superintendência do desenvolvimento do nordeste – SUDENE.**

SWANN, A. L. S. et al. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 12–24, 2015.

TEIXEIRA, A. H. DE C. et al. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, p. 110–127, 2008.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, v. 30, n. 1, p. 13–28, 2012.

VALENTE, R. DE O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP Landscape structure analysis of the Corumbataí River Basin, SP. **Scientia Forestalis**, v. n.62, p. 114–129, 2002.

VILELA, S. et al. Effect of processing and feeding strategy of the spineless cactus ( *Opuntia ficus-indica* Mill. ) for lactating cows : Ingestive behavior. v. 125, p. 1–8, 2010.

VON RANDOW, C. et al. Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 182–183, p. 145–155, 2013.

WALLS, S. et al. Prediction of actual evapotranspiration by artificial neural network models using data from a Bowen ratio energy balance station. **Neural Computing and Applications**, v. 32, n. 17, p. 14001–14018, 2020.

WANG, D. et al. Applicability of a gas analyzer with dual quantum cascade lasers for simultaneous measurements of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from cropland using the eddy covariance technique. **Science of the Total Environment**, v. 729, p. 138784, 2020.

WIJTKOSUM, S. The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand. **Sustainable Environment Research**, v. 26, n. 2, p. 84–92, 2016.

WILSON, K. et al. Energy Balance Closure at FLUXNET Sites. **Agricultural and Forest**

**Meteorology**, n. 113, p. 223–243, 2002.

XUE, J. et al. Catena Oasisification: An unbreakable process in fighting against desertification for the sustainable development of arid and semiarid regions of China. v. 179, n. April, p. 197–209, 2019.

ZHANG, Y. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **JOURNAL OF HYDROLOGY**, v. 527, p. 1084–1095, 2015.

ZHENG, J. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by maize canopy on the semi-arid Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 25–36, 2018.

## CAPITULO II: BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM DIFERENTES PAISAGENS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**Resumo:** Entre as florestas tropicais sazonalmente secas, a Caatinga é o quarto maior ecossistema do país e um bioma exclusivamente brasileiro. Sofre constantemente alterações no uso e cobertura da terra, e seus impactos são pouco estudados, principalmente em termos de variações espaciais e temporais do balanço de energia. O objetivo deste estudo foi analisar e identificar a sazonalidade do balanço de energia acima da vegetação Caatinga e em áreas com substituição da vegetação nativa por agroecossistemas de cactáceas ou com características de desertificação. As medições foram feitas pelo método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB), para uma região semiárida do Brasil, durante o período de outubro de 2018 a setembro de 2020. Quatro paisagens com diferentes características foram selecionadas: floresta com Caatinga preservada, floresta com Caatinga em regeneração, área desmatada e área de cactácea, ambas inseridas no sertão central do estado de Pernambuco. A investigação sobre a dinâmica dos fluxos de calor através da técnica do BERB contribuiu para estimar a magnitude e os padrões sazonais de calor sensível (H) e calor latente (LE), entre os diferentes ecossistemas. Este último utilizado para determinar os valores de evapotranspiração (ET). O monitoramento da umidade do solo foi realizado por meio de uma sonda capacitiva em cada área. Os resultados indicam que tanto as variáveis micrometeorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor d'água), quanto as densidades dos fluxos, apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Ambos os tipos de superfícies apresentaram baixos valores de LE e altos valores de H, principalmente durante o período seco. Cerca de 33% do saldo de radiação ( $R_N$ ) recebido foi utilizado para o LE, 62% para H e 5% para o G na Caatinga preservada, versus 32% de  $R_N$  para LE, 62% para H e 6% para o G na Caatinga em regeneração. Enquanto que na área desmatada 37% do  $R_N$  recebido foi destinado para LE, 57% para o H e 6% no G, versus 33% de  $R_N$  para LE, 63% para H e 4% para o G na área de cactácea. Concluir-se que as variações dos componentes micrometeorológicos mostraram-se dependentes do regime hídrico e do armazenamento de água no solo, e que a remoção da vegetação nativa resultou em menor energia disponível para o LE, com tendências de maiores valores destinados para os fluxos de H e G. A evapotranspiração para as superfícies Caatinga em regeneração, área desmatada e cactáceas, foi superior a área de Caatinga preservada, em virtude da maior disponibilidade de água no solo.

**Palavras-chave:** Mudança do uso da terra; Razão de Bowen; Semiárido; Variações sazonais.

**Abstract:** Among the seasonally dry tropical forests, the Caatinga is the fourth largest ecosystem in the country and an exclusively Brazilian biome. It constantly undergoes changes in land use and land cover, and its impacts are poorly studied, especially in terms of spatial and temporal variations in the energy balance. The aim of this study was to analyze and identify the seasonality of the energy balance above the Caatinga vegetation and in areas with replacement of native vegetation by cactus agroecosystems or with desertification characteristics. The measurements were made by the Bowen ratio-energy balance (BREB) method, for a semi-arid region of Brazil, during the period from October 2018 to September 2020. Four landscapes with different characteristics were selected: forest with preserved Caatinga, forest with Caatinga in regeneration, deforested area and cactus area, both inserted in the central hinterland of the State of Pernambuco. The investigation on the dynamics of heat fluxes using the BREB technique contributed to estimate the magnitude and seasonal patterns of sensible heat (H) and latent heat (LE) among different ecosystems. The latter is used to determine evapotranspiration (ET) values. Monitoring of soil moisture was carried out using a capacitive probe in each area. The results indicate that both the micrometeorological variables (air temperature, relative humidity and water vapor pressure deficit) and the flux densities showed a significant difference ( $p < 0.05$ ). Both types of surfaces showed low LE values and high H values, especially during the dry period. About 33% of the net radiation ( $R_N$ ) received was used for LE, 62% for H and 5% for G in the preserved Caatinga, versus 32% of  $R_N$  for LE, 62% for H and, 6% for G in the regenerating Caatinga. While in the deforested area 37% of the  $R_N$  received was destined for LE, 57% for the H and 6% for the G, versus 33% of the  $R_N$  for LE, 63% for H, and 4% for the G in the cactus area. Concludes that the variations of micrometeorological components were dependent on the water regime and soil water storage, and that the removal of native vegetation resulted in less energy available for the LE, with trends of higher values destined for the flows of H and G. The evapotranspiration for the regenerating Caatinga, deforested and cactus surfaces was higher than the preserved Caatinga area, due to the greater availability of water in the soil.

**Keywords:** Land-use change; Bowen ratio; Semiarid; Seasonal variations.

## 1. INTRODUÇÃO

Mudanças no uso e na cobertura da terra podem alterar as interações entre a superfície da terra e a atmosfera na troca de fluxos de energia, com consequências adicionais na temperatura (LI et al., 2020). Compreender os impactos dessas alterações no clima regional contribui para fornecer informações fundamentais para o planejamento futuro do uso da terra, e orientação da política regional, especialmente em regiões áridas e semiáridas, que são extremamente vulneráveis e sensíveis as alterações das paisagens (LI et al., 2020; PANDAY et al., 2015).

A perda de cobertura florestal no Brasil atingiu cerca de 1 milhão de hectares em 2017 (MAPBIOMAS, 2019), e a última estimativa para o bioma Caatinga indicava que 46% desse bioma havia sido desmatado até 2009 (IBAMA, 2019). Sendo que apenas 8% corresponde a áreas protegidas (FERNANDES et al., 2020). Assim, a supressão da cobertura vegetal nativa, ocasionada pela mudança no uso da terra, promove perdas de biodiversidades e afeta os serviços ecossistêmicos, aumentando a suscetibilidade da região à variabilidade climática, e causando perdas irreversíveis a natureza (FERNANDES et al., 2020; JARDIM et al., 2021a). Assim como outras florestas secas do mundo, a Caatinga apresenta uma biota diversa e ameaçada, a qual, sustenta uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo, onde a pecuária, extração de madeira e agricultura de subsistência desencadeou uma contínua degradação, variando da redução da biomassa à desertificação completa (RITO et al., 2017).

Informações sobre essas variações sazonais e de longo prazo têm sido de suma importância, pois estão intimamente ligadas à produtividade do ecossistema, dinâmica da água e clima regional por meio de interações a superfície da terra-atmosfera (KRISHNAN et al., 2012). Avaliações das respostas dos ecossistemas induzidos a mudança de uso da terra podem ser acompanhadas por meio do balanço de energia de superfície, analisando de que forma a energia disponível é particionada em fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H), e calor no solo (G) (BIUDES et al., 2015; BORGES et al., 2020; DENG et al., 2015; PANDAY et al., 2015). Desta forma, os dois primeiros fluxos podem ser estimados a partir do método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB), que exige poucos parâmetros, cálculos básicos e conceitos simples (SOUSA et al., 2021).

Vários trabalhos na literatura já analisaram os padrões e as variações dos fluxos de H e LE para o domínio Caatinga no semiárido brasileiro (BORGES et al., 2020; CARVALHO; MOURA; SILVA, 2018; GONDIM et al., 2015; SILVA et al., 2017). No entanto, permanece um desafio entender como as variáveis meteorológicas e ambientais influenciam os fluxos de energia e massa na interação biosfera-atmosfera, particularmente em casos de remoção da



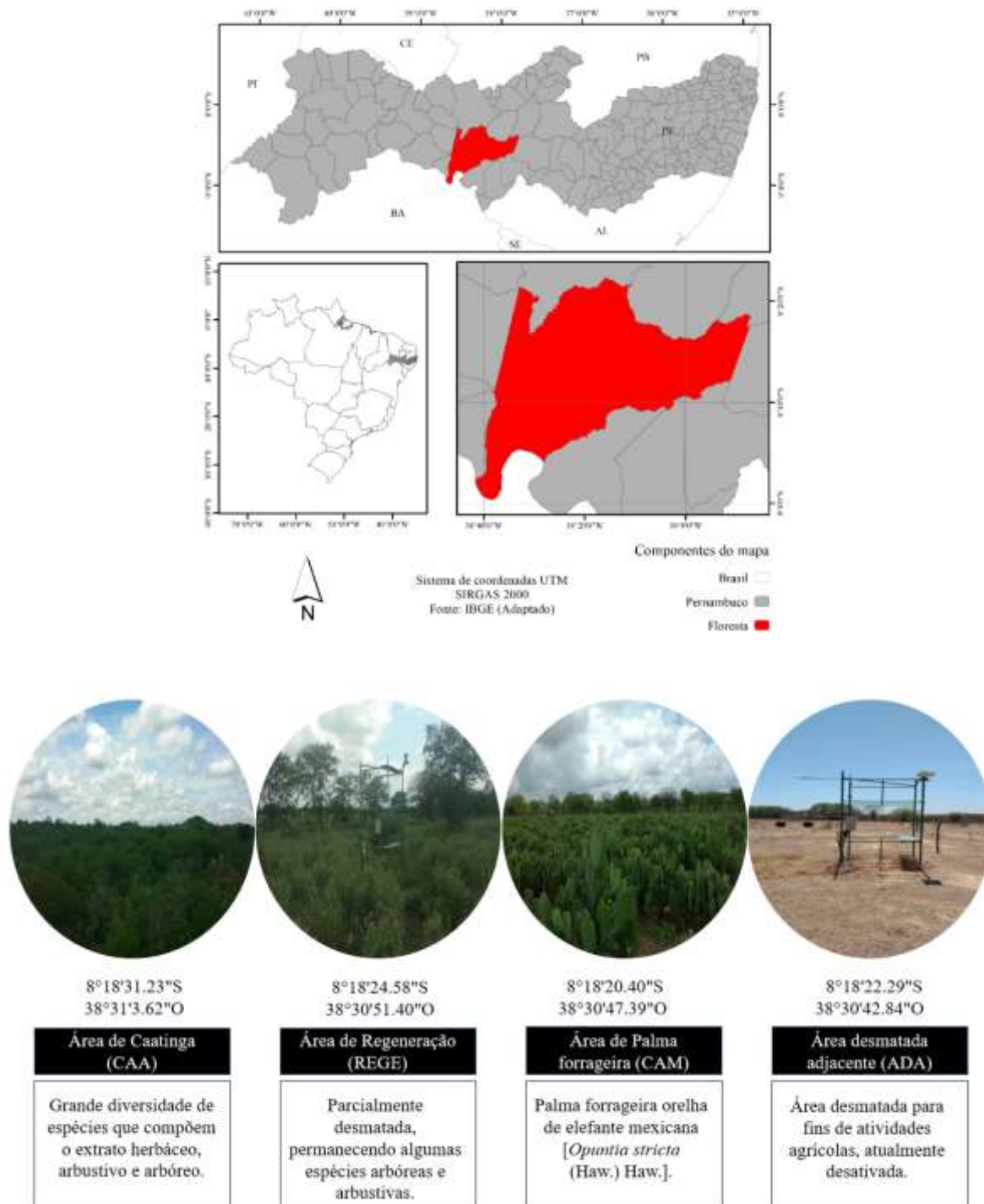
cobertura vegetal nativa, e seus impactos no microclima local. Tendo em vista os prejuízos e/ou benefícios ocasionados em superfícies degradadas ou com baixo índice de cobertura vegetal. Este estudo permitiu entender o comportamento dos fluxos de energia em quatro diferentes tipos de superfície, o que lhe diferencia de outros trabalhos encontrados na literatura, para o domínio Caatinga, que fazem comparações de áreas com Caatinga com pastagem (SILVA et al., 2017), ou Caatinga com área de cultivo agrícola (CARVALHO; MOURA; SILVA, 2018).

Considerando a importância de estudar o comportamento do balanço de energia entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera, principalmente para o domínio Caatinga, esta pesquisa busca fornecer uma análise do comportamento anual e sazonal do balanço de energia, em diferentes superfícies do semiárido brasileiro. Adicionalmente, objetiva-se analisar e identificar a sazonalidade do balanço de energia acima da vegetação Caatinga e em áreas com substituição da vegetação nativa por agroecossistemas de cactáceas ou com características de desertificação, em uma região semiárida do estado de Pernambuco.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e caracterização da área de estudo**

O experimento foi conduzido na Fazenda Algodões (08°18'31'' S, 38°31'37'' W, 378 m), no município de Floresta, no Sertão central do estado de Pernambuco, área de clima semiárido do Brasil (ALVARES et al., 2013). A região apresenta características climáticas particulares, com elevadas temperaturas do ar média anual (~26 °C) e radiação solar global, além de chuvas concentradas no verão, com baixos volumes (média anual de 489,3 mm ano<sup>-1</sup>) mal distribuídos no espaço e no tempo (QUEIROZ et al., 2020) e ocorrência frequente de veranicos (Figura 1). Na área de estudo, foi avaliado quatro sítios experimentais: 1) floresta com vegetação Caatinga preservada (CAA); 2) área desmatada (ADA) com modificações antrópicas; 3) área de Caatinga em regeneração (REGE) e 4) área de palma forrageira (CAM). Em todos os casos, observa-se a ocorrência do solo Luvissole Crômico (Embrapa, 2006).



**Figura 1.** Localização da área de estudos com os sítios experimentais em diferentes coberturas vegetais, na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REGE); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

A área de Catinga, superior a 200 hectares, durante muitos anos sofreu forte extração de madeira para fins de uso doméstico, lenha, e construção de currais e cercas. Contudo, a mais

de 20 anos essa área não é explorada com estas atividades. Sua vegetação apresenta grande diversidade de espécies que compõem o extrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, com predominância de espécies de pequeno porte (altura inferior a 7 m), sendo a vegetação esparsa e com dominância de espécies endêmicas e decíduas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Principais espécies de extrato arbóreo, arbustivo presentes na área de Caatinga, para o município de Floresta, PE, Sertão central do Brasil.

Espécie	Nome popular	Família
<i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) Gagnon & Lewis	Catingueira	Fabaceae
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira do sertão	Anacardiaceae
<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.	Pereiro	Apocynaceae
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Baraúna	Anacardiaceae
<i>Cnidoscolus quercifolius</i> Pohl	Faveleira	Euphorbiaceae
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	Umbuzeiro	Anacardiaceae
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Umburana de cambão	Burseraceae
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl.) Baill.	Pinhão manso	Euphorbiaceae

A área de Caatinga em regeneração, que tem aproximadamente cinco hectares, foi parcialmente desmatada, permanecendo algumas espécies como *Schinopsis brasiliensis* Engl. (Baraúna), *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Aroeira), *Spondias tuberosa* Arruda (Umbuzeiro), *Cnidoscolus quercifolius* Pohl (Faveleira), *Sideroxylon obtusifolium* (Quixabeira) e alguns arbustos. Seu desmatamento seu deu com o intuito de fazer plantio de *Cenchrus ciliaris* L. (capim buffel) para criação de ovinos, porém, não foi implantado e a mesma vem se regenerando com o tempo.

O sítio da ADA originalmente composta por Caatinga, foi desmatada com fins agrícolas para diversos cultivos, como: *Gossypium hirsutum* L. (algodão), *Allium cepa* (cebola), *Vigna unguiculata* (feijão), *Zea mays* (milho) e, por último, *Urochloa mosambicensis* Hanck (capim corrente). Entretanto, a área não tem sido cultivada desde 2005. Atualmente, ela é recoberta por gramíneas rasteiras espontânea, arbustos de até 1,0 m, e grandes faixas de solo exposto. O tamanho desta área corresponde a aproximadamente três hectares.

Na área de palma forrageira, cultivada com o clone Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], sendo a mesma resistente a cochonilha do carmim (JARDIM et al., 2021b). Foi aplicado antes do plantio, práticas de mecanização no solo (i.e., aração, gradagem e sulcagem). Em agosto de 2014, plantou-se os clones de palma forrageira, no espaçamento de 2 m entre fileiras e 0,5 m entre plantas (10.000 plantas ha<sup>-1</sup>), totalizando um hectare de área plantada. Os cladódios foram inseridos no solo, deixando 50% da extremidade inferior inserida no mesmo (JARDIM et al., 2021c). A distância entre os sítios experimentais é de 1,5 km. Em ambas as áreas com exceção da palma forrageira, ainda são realizadas atividades de pecuária extensiva, com pastoreio de animais domésticos (bovinos, caprinos e ovinos).

## **2.2 Monitoramento de dados micrometeorológicos**

Para cada sítio experimental a aquisição dos dados micrometeorológicos foi realizado a partir de sensores eletrônicos, compostos por um sistema de baixa frequência, instalados em torres de ferro galvanizado e constituídas por sensores, que tem suas informações listados na (Tabela 2). As medidas de baixa frequência foram realizadas a cada 60 segundos com valores médios armazenados a cada 10 minutos, usando sistema de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific, Logan, USA) para as áreas de Caatinga em regeneração e desmatada, enquanto que para as áreas de Caatinga preservada e palma forrageira foi usado um datalogger modelo (CR3000, Campbell Scientific, Logan, UT, USA). O período de coleta dos dados foi de 01 de outubro 2018 a 30 de setembro de 2020 (730 dias ou 24 meses).

**Tabela 2.** Composição das torres micrometeorológicas instaladas na área de Caatinga preservada (CAA), Caatinga em regeneração (REGE), desmatada (ADA) e cactáceas (CAM), para o município de Floresta, PE, Sertão central do Brasil.

Parâmetro	Quantidade	Instrumento	Modelo/Fabricante	Descrição da medida	Área
P	1	Pluviômetro	10116 rain gauge, TOSS, Potsdam, Germany	Precipitação (mm)	CAA, REGE, ADA, CAM
T e UR	2	Termohigrômetro	HMP155A, Vaisala, Helsinki, Finland	Temperatura (°C) e umidade (%) do ar	CAA, REGE, ADA, CAM
R <sub>N</sub>	1	Saldo radiômetro	RNLITE, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA	Saldo de radiação (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	CAA, REGE, ADA, CAM
RFA	1	Sensor PAR linear		Radiação fotossinteticamente ativa (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	CAA, REGE, ADA, CAM
G	1	Fluxímetro	HFP01, Hukseflux, Delft, The Netherlands	Fluxo de calor no solo (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	CAA, REGE, ADA, CAM
V	1	Anemômetro	034-L, R. M. Young Co., Traverse, MI, USA	Velocidade (m s <sup>-1</sup> ) e direção do vento (°)	CAA e CAM
-	1	Datalogger	CR1000, Campbell Scientific, Logan, USA	-	REGE e ADA
-	1	Datalogger	CR3000, Campbell Scientific, Logan, USA	-	CAA e CAM

### 2.3 Estimativas do balanço de energia pelo método da razão de Bowen

Os componentes do balanço de energia foram calculados pelo particionamento do saldo de radiação ( $R_N$ ), incluindo os fluxos de calor sensível (H), fluxos de calor latente (LE) e os fluxos de calor no solo (G). Os efeitos da advecção, armazenamento de energia no dossel e biomassa, e a energia usada na fotossíntese foram desconsiderados (JAMIYANSHARAV et al., 2011; SUN et al., 2010). Portanto, com base no princípio da conservação de energia, a partição da superfície pode ser estimada usando de maneira simplificada a Eq. (1) (HU et al., 2014):

$$R_N = LE + H + G \quad (1)$$

Com base na razão de Bowen, as estimativas dos fluxos de H e LE foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Perez et al. (1999) por meio das Eq. (2 e 3), nesta ordem:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$H = \frac{\beta(R_n - G)}{1 + \beta} \quad (3)$$

onde,  $\beta$  é a razão de Bowen (adimensional).

A razão de Bowen ( $\beta$ ) foi calculado a partir da Eq. (4).

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} = \left( \frac{C_p}{\lambda 0,622} \right) \left( \frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (4)$$

onde,  $\gamma$  é a constante psicrométrica;  $\Delta T$  e  $\Delta e$  são as diferenças de temperatura e de pressão de vapor d'água, para os dois níveis de medição acima da superfície, respectivamente;  $C_p$  é o calor específico à pressão constante ( $1.004,67 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) e 0,622 representa a proporção de pesos moleculares da água e do ar seco.  $\lambda$  é o calor latente de vaporização, dado pela Eq. (5):

$$\lambda = 1,9198 \cdot 10^6 \left[ \frac{T + 273,16}{(T + 273,16) - 33,91} \right]^2 \quad (5)$$

onde, T é temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Por fim, a componente evapotranspiração (ET,  $\text{mm dia}^{-1}$ ) foi obtida pela Eq. (6):

$$ET = \frac{LE}{\lambda} \quad (6)$$

Os valores de Bowen foram submetidos ao controle de qualidade, buscando atender os critérios descritos por Perez et al. (1999). Com os dados considerados consistentes, foram estimados os valores de LE e H para o período de energia disponível positiva ( $R_N - G > 0$ ).

### 2.4 Monitoramento da umidade do solo em campo

O monitoramento da umidade volumétrica do solo foi realizado nos quatro sítios experimentais, utilizando uma sonda capacitiva modelo (Diviner 2000, Sentek Pty Ltd., Austrália). Sendo cinco pontos no sítio experimental representado pela vegetação de Caatinga preservada, doze na área de palma forrageira, cinco na Caatinga em regeneração e cinco na área desmatada. Com leituras realizadas a cada 0,10 m até a profundidade de 0,60 m, em frequências semanais. Todos os tubos foram vedados nas extremidades, para impedir a entrada de água. Para o uso da sonda capacitiva foi necessário a sua calibração nas condições edáficas dos quatro sítios, conforme relatado por Silva et al. (2014).

## **2.5 Análises estatísticas**

A análise dos resultados foi feita pela relação entre os valores em escala de tempo diária, mensal e sazonal, baseando-se no desempenho dos seguintes índices: coeficiente de correlação ( $r$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de concordância ( $d$ ) proposto por Willmott, (1981), coeficiente de confiança ou desempenho ( $c$ ) proposto por Camargo; Sentelhas, (1997), erro padrão de estimativa (SEE), raiz do erro quadrático médio (RMSE), e o erro absoluto médio (MAE), juntamente com o teste  $t$ . A análise exploratória do conjunto dos dados foi feita por meio de boxplot. Foi aplicado uma análise de regressão linear simples dos valores médios das variáveis ( $T_M$ ,  $UR_M$  e  $DPV_M$ ), máximos ( $T_X$ ,  $UR_X$  e  $DPV_X$ ), mínimos ( $T_N$ ,  $UR_N$  e  $DPV_N$ ), assim como para os fluxos de calor  $H$ ,  $LE$  e  $G$ , para cada superfície experimental foi utilizada para identificação de diferenças nas suas magnitudes. Todas as análises foram realizadas utilizando o software RStudio® (<http://www.rstudio.com>).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Variáveis ambientais**

As variações do ponto de vista micrometeorológico para cada sítio experimental mostradas na (Figura 2), aponta as diferenças da temperatura do ar ( $T$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ ) e déficit de pressão de vapor ( $DPV$ ) entre as superfícies (Caatinga preservada versus Caatinga em regeneração), (Caatinga preservada versus desmata) e (Caatinga preservada versus cactácea). A  $T_M$  na Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea foi em média 7%, 2% e 5%, respectivamente, maior do que a Caatinga preservada, provavelmente por conta do aumento da  $T_X$ , já que a  $T_N$  reduziu 11%, 5% e 4%, na mesma ordem (Tabela 3). A  $T_X$  teve um incremento de 11%, 4% e 6%, o que equivale a 0,9 °C, 0,4 °C e 0,3 °C, respectivamente. Estes resultados foram encontrados considerando o intervalo de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 3.** Resultado na análise do coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), erro absoluto médio (MAE), erro padrão de estimativa (SEE), raiz do erro quadrático médio (RMSE), médias ( $\mu$ ) e teste t, para as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e déficit de pressão de vapor d'água (DPV) em escala médio, máximo e mínimo, saldo de radiação ( $R_N$ ), fluxo de calor sensível (H), latente (LE), no solo (G), e evapotranspiração (ET), dos sítios de Caatinga preservada, Caatinga em regeneração, área desmata e área com cactáceas, no município de Floresta, PE, Sertão central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

Caatinga em regeneração versus Caatinga em preservação																				
Índices	T <sub>M</sub>	T <sub>X</sub>	T <sub>N</sub>	UR <sub>M</sub>	UR <sub>X</sub>	UR <sub>N</sub>	DPV <sub>M</sub>	DPV <sub>X</sub>	DPV <sub>N</sub>	RN <sub>(+)</sub>	R <sub>N</sub>	G <sub>(+)</sub>	G	LE	H	ET	LE/R <sub>N</sub>	H/R <sub>N</sub>	G/R <sub>N</sub>	
r	0,94	0,89	0,85	0,93	0,91	0,86	0,93	0,89	0,78	0,72	0,72	0,54	0,45	0,81	0,57	0,74	0,73	0,69	0,49	
d	0,97	0,91	0,90	0,96	0,94	0,93	0,96	0,93	0,88	0,83	0,82	0,67	0,60	0,79	0,73	0,77	0,73	0,66	0,64	
MAE	0,11	0,90	-0,55	1,05	2,02	-0,83	0,00	0,20	0,02	-0,65	-1,06	0,10	0,08	-0,26	-0,48	0,22	-0,02	0,00	0,01	
SEE	0,79	1,51	1,53	5,25	4,50	6,53	0,25	0,52	0,18	2,43	2,50	0,90	0,78	2,61	2,61	0,99	0,20	0,18	0,07	
RMSE (%)	7	11	11	9	12	10	8	11	14	13	12	21	21	27	21	27	29	21	15	
Teste t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,51	0,00	
$\mu_{(REGE)}$	26,6	33,6	20,4	65,4	91,6	36,6	1,4	3,4	0,2	12,3	9,7	0,8	0,0	4,1	7,5	1,6	0,3	0,6	0,1	
$\mu_{(CAA)}$	26,5	32,7	20,9	64,4	89,5	37,4	1,4	3,2	0,2	12,9	10,8	0,6	0,0	4,3	8,0	1,4	0,3	0,6	0,0	
Área desmatada versus Caatinga em preservação																				
r	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	1,00	0,99	0,85	0,92	0,91	0,73	0,72	0,86	0,74	0,78	0,83	0,73	0,66	
d	1,00	0,99	0,98	0,99	0,97	1,00	1,00	1,00	0,92	0,77	0,77	0,79	0,83	0,88	0,64	0,76	0,82	0,69	0,73	
MAE	0,05	0,47	-0,51	1,19	2,28	-0,30	-0,02	0,08	0,02	-2,40	-2,35	0,00	0,07	-0,34	-2,05	0,48	0,02	-0,04	0,02	
SEE	0,25	0,57	0,76	1,86	3,27	1,69	0,07	0,14	0,15	2,76	2,69	0,47	0,36	1,76	2,63	0,99	0,15	0,16	0,05	
RMSE (%)	2	4	5	3	9	3	2	3	11	15	13	11	10	18	21	27	22	19	9	
Teste t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
$\mu_{(DEFA)}$	26,5	33,1	20,4	65,9	92,2	37,4	1,4	3,2	0,2	10,6	8,5	0,6	0,0	4,1	5,9	1,9	0,4	0,6	0,1	
$\mu_{(CAA)}$	26,5	32,7	20,9	64,4	89,5	37,4	1,4	3,2	0,2	12,9	10,8	0,6	0,0	4,3	8,0	1,4	0,3	0,6	0,0	
Cactácea versus Caatinga em preservação																				
r	0,97	0,96	0,98	0,93	0,70	0,95	0,95	0,96	0,44	0,91	0,91	0,31	-0,03	0,75	0,82	0,68	0,71	0,67	0,21	
d	0,98	0,97	0,99	0,60	0,22	0,89	0,70	0,86	-0,55	0,93	0,93	0,47	-0,02	0,84	0,88	0,78	0,78	0,71	0,38	
c	0,96	0,93	0,97	0,56	0,15	0,84	0,67	0,82	-0,24	0,84	0,85	0,15	0,00	0,63	0,72	0,53	0,55	0,47	0,08	
MAE	0,21	0,45	-0,21	-14,36	-17,34	-6,91	0,67	0,69	0,75	-0,82	-0,71	-0,12	0,38	-0,46	-0,23	0,19	-0,01	0,02	0,00	
SEE	0,53	0,92	0,53	15,10	20,62	7,98	0,71	0,76	0,87	1,60	1,49	0,67	0,68	1,84	1,78	0,83	0,16	0,15	0,06	
RMSE (%)	5	6	4	26	54	12	24	16	66	9	7	16	18	19	15	23	22	18	12	
Teste t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	
$\mu_{(CACTUS)}$	26,6	33,0	20,7	50,7	72,7	31,1	2,1	3,8	1,0	12,1	10,1	0,5	0,3	3,9	7,7	1,6	0,3	0,6	0,0	
$\mu_{(CAA)}$	26,5	32,7	20,9	64,4	89,5	37,4	1,4	3,2	0,2	12,9	10,8	0,6	0,0	4,3	8,0	1,4	0,3	0,6	0,0	

Note: índices subscritos (M, X e N) nas variáveis T, UR, e DPV indicam valores médios, máximos e mínimos, respectivamente. (+): indica valores positivos para a análise.

O comportamento da UR para ambas as superfícies presentes na Figura 2 mostra que, a UR<sub>M</sub> e UR<sub>X</sub> tiveram respectivamente valores superiores à média de 9% e 12% para Caatinga em regeneração, e 3% e 9% para desmatada. Contudo, a área de cactácea apresentou valores médios inferiores, com redução de 26% da UR<sub>M</sub>, 54% para a UR<sub>X</sub> e 12% para a UR<sub>N</sub>. Mesmo assim, suas grandezas foram inferiores a significância ( $\alpha$ ) de 0,05. Os valores de DPV tiveram



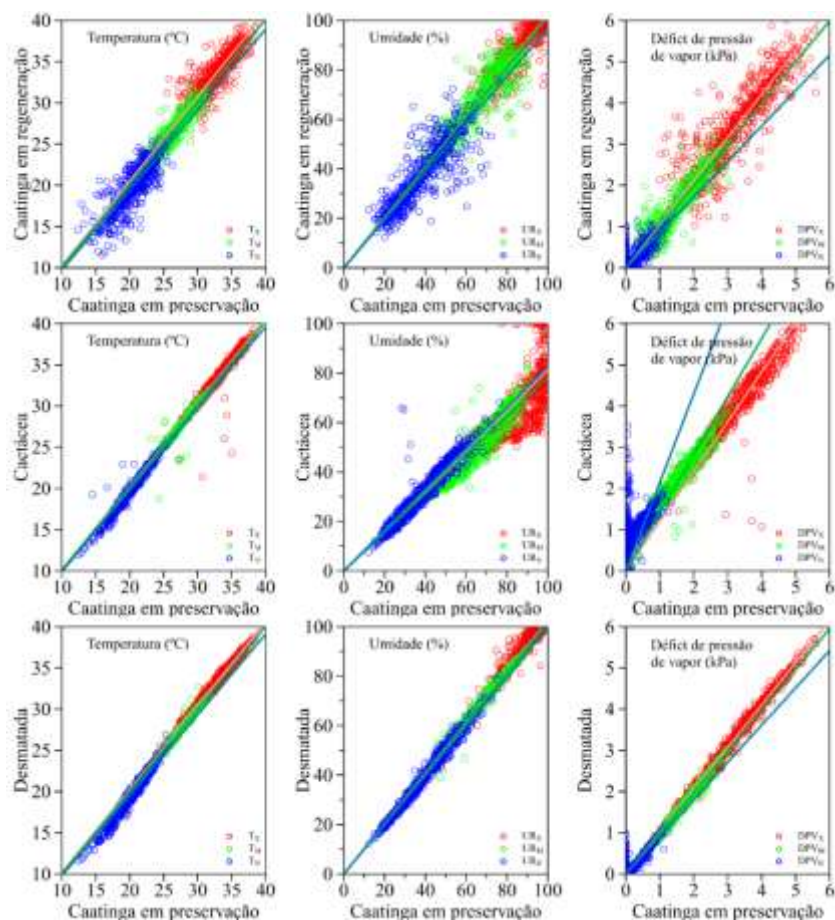
valores bem similares das áreas com relação a Caatinga preservada, com exceção da área de cactácea que teve maiores incrementos no  $DPV_M$ ,  $DPV_X$  e  $DPV_N$ , com 24%, 16% e 66%, respectivamente (Tabela 3).

As relações entre as variáveis meteorológicas T, UR e DPV média, máxima e mínima, mostram tendências significativas entre as superfícies estudadas (Figura 2) e na Tabela 4 encontra-se as equações das regressões destas variáveis meteorológicas.

**Tabela 4.** Equações de regressão entre a temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REGE); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

Superfície	Variável	Equação	R <sup>2</sup>	Valor p
Caatinga x Regeneração	T <sub>X</sub>	y= 1,027.X***	0,99	<0,001
	T <sub>M</sub>	y= 1,004.X***	0,99	<0,001
	T <sub>N</sub>	y= 0,974.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>X</sub>	y= 1,021.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>M</sub>	y= 1,015.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>N</sub>	y= 0,968.X***	0,97	<0,001
	DPV <sub>X</sub>	y= 1,054.X***	0,98	<0,001
	DPV <sub>M</sub>	y= 0,999.X***	0,97	<0,001
	DPV <sub>N</sub>	y= 0,861.X***	0,74	<0,001
Caatinga x Cactácea	T <sub>X</sub>	y= 1,014.X***	0,99	<0,001
	T <sub>M</sub>	y= 1,008.X***	1,00	<0,001
	T <sub>N</sub>	y= 0,991.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>X</sub>	y= 0,811.X***	0,98	<0,001
	UR <sub>M</sub>	y= 0,782.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>N</sub>	y= 0,824.X***	0,99	<0,001
	DPV <sub>X</sub>	y= 1,026.X***	0,99	<0,001
	DPV <sub>M</sub>	y= 1,410.X***	0,98	<0,001
	DPV <sub>N</sub>	y= 2,147.X***	0,46	<0,001
Caatinga x Desmatada	T <sub>X</sub>	y= 1,014.X***	1,00	<0,001
	T <sub>M</sub>	y= 1,002.X***	1,00	<0,001
	T <sub>N</sub>	y= 0,978.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>X</sub>	y= 1,025.X***	0,99	<0,001
	UR <sub>M</sub>	y= 1,019.X***	1,00	<0,001
	UR <sub>N</sub>	y= 0,995.X***	0,99	<0,001
	DPV <sub>X</sub>	y= 1,026.X***	0,99	<0,001
	DPV <sub>M</sub>	y= 0,993.X***	0,99	<0,001
	DPV <sub>N</sub>	y= 0,904.X***	0,82	<0,001

\*\*\*: nível de significância a 0,001 de probabilidade.

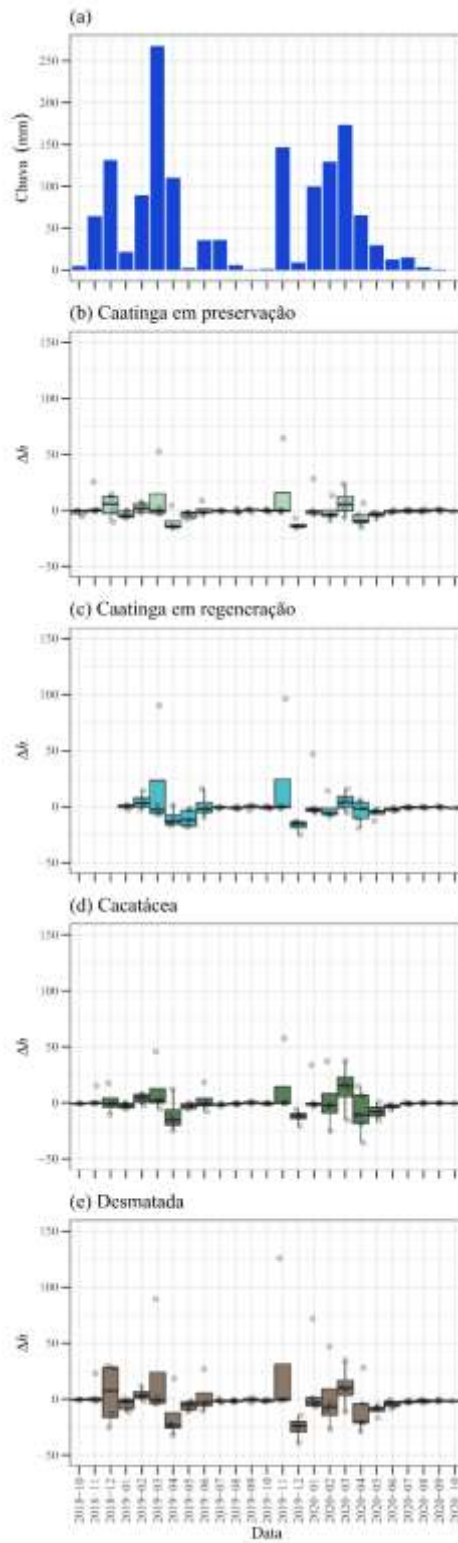


**Figura 2.** Análise de regressão entre a temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REGE); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

### 3.2 Padrões sazonais de precipitação e variação do armazenamento de água do solo

O comportamento da precipitação pluviométrica e da variação do armazenamento de água no solo durante 24 meses (730 dias) nas áreas experimentais de Caatinga preservada, Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea é apresentado na (Figura 3). Durante o período de estudo, a lâmina acumulada da precipitação pluviométrica foi de 1.457,68 mm, (Figura 3 a). Do dia 01/10/2018 a 31/12/2018 choveu 200,37 mm, de 01/01/2019 a 31/12/2019 choveu 727,13 mm e de 01/01/2020 a 30/09/2020 choveu 500,18 mm. Os maiores eventos de precipitação foram registrados em 26 de novembro de 2018 (61,88 mm), 22 de março de 2019 (58,11 mm), 27 de março (69,05 mm), 04 de abril de 2019 (89,94 mm), 26 de novembro de 2019 (140,89 mm) e 23 de janeiro de 2020 (92,46 mm). Esses seis eventos representaram 35,15% da precipitação total durante o período experimental de 730 dias. A precipitação

acumulada para o ano de 2019 foi 48,61% maior que a normal climatológica, que corresponde a 489,3 mm.

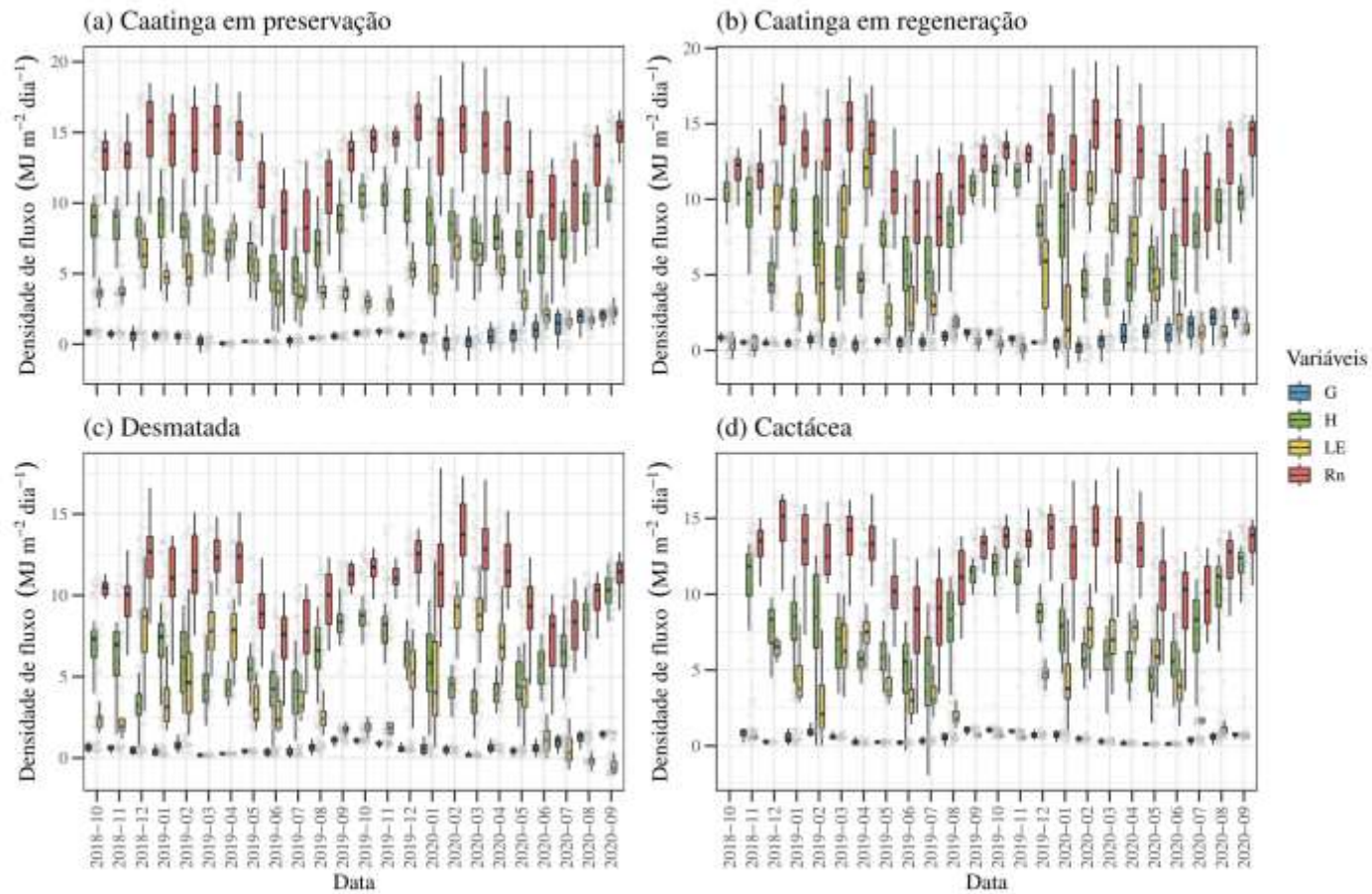


**Figura 3.** Precipitação pluviométrica (a), variação da umidade do solo para Caatinga em preservação (b), Caatinga em regeneração (c), cactácea (d) e desmatada (e), situadas na região central do estado de Pernambuco, Brasil, no período de 2018 a 2020.

As variações sazonais para o conteúdo de água no solo, nas diferentes superfícies, tenderam a seguir as variações da precipitação, com valores mais altos durante o período chuvoso e mais baixos durante o meio e final da estação seca (Figura 3). Ocorreram variações positivas nos meses de dezembro de 2018, fevereiro, março, junho e novembro de 2019 e fevereiro e março de 2020. Na média geral do período analisado para as áreas de Caatinga preservada, Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea, os valores da variação do armazenamento da água no solo, foi na ordem de -13,14; -5,36; -4,90 e -1,36 mm, respectivamente.

### **3.3 Densidade dos fluxos do balanço de energia entre as diferentes superfícies**

Para o período estudado nas diferentes superfícies, as tendências mensais das densidades dos fluxos (H - fluxo de calor sensível, LE - fluxo de calor latente, G - fluxo de calor no solo e o  $R_N$  - saldo de radiação), são apresentados na Figura 4. Na superfície de Caatinga preservada o  $R_N$  com valor médio de  $12,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , foi superior as demais áreas, sendo  $12,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para Caatinga em regeneração,  $12,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para área de cactácea e  $10,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na área desmatada. Neste caso, o  $R_N$  na Caatinga preservada foi 13%, 15% e 12,1% maior que na Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea, respectivamente (Figura 4 e Tabela 3). O fluxo de calor no solo (G) foi o componente que apresentou menor variação sazonal para as áreas estudadas ao longo dos meses avaliados (Figura 4). Com médias de 0,6; 0,8; 0,6 e 0,5  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para Caatinga preservada, Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea, respectivamente.



**Figura 4.** Densidade dos fluxos de energia (LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível, G - fluxo de calor no solo e Rn - saldo de radiação) dos sítios experimentais com diferentes coberturas vegetais, na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REG); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

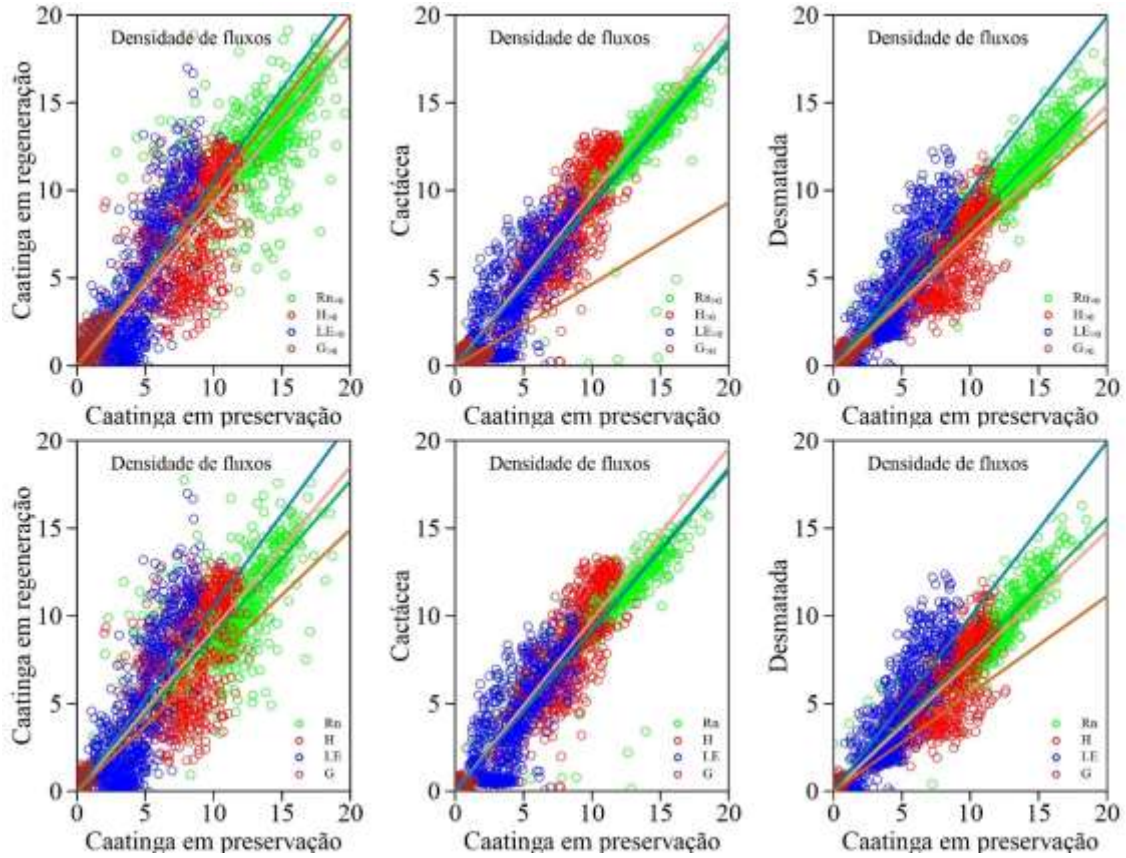
Ambos os tipos de superfícies apresentaram baixos valores de LE e altos valores de H, principalmente durante o período seco (Figura 4). Na Caatinga preservada, o LE e o H médio foi de 4,3 e 8,0 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 4 a). Enquanto na Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea, o LE e o H médio foi de 4,1 e 7,5 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 4,1 e 5,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 3,9 e 7,7 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Em momentos de maior volume de precipitação e maior conteúdo do armazenamento de água no solo, observou-se aumentos de R<sub>N</sub> e LE, para as distintas superfícies (Figura 4). As variações de LE e H em todas as superfícies corresponderam às variações de precipitação e armazenamento de água no solo (Figura 3 e 4), pois os maiores valores de LE foram encontrados durante os períodos de maior disponibilidade hídrica. Contudo, isso ocorreu apenas em curtos períodos de tempo, sendo que na escala anual o H superou o LE.

Quando comparado os fluxos de calor sensível, latente e de calor no solo da área de Caatinga em regeneração com Caatinga preservada, percebe-se uma redução de 21%, 27%, e aumento de 21% para H, LE e G, respectivamente (Tabela 3). Já, quando comparado os fluxos da área desmatada com Caatinga preservada, a redução é de 21%, 18% e aumento de 10% para H, LE e G, respectivamente (Tabela 3). Para a área de cactácea versus a Caatinga preservada esses valores foram na ordem de 15% e 19% de redução do H e LE, com aumento de 18% do G (Tabela 3).

A partição dos componentes do balanço de energia é dada pelas razões entre os fluxos de H, LE e G por R<sub>N</sub>, como descritos na (Tabela 3). Nota-se que grande parte da energia disponível foi destinada para o aquecimento do ar fornecido por H, seguida dos processos evapotranspirativos dado por sua taxa LE e seu restante para o armazenamento de calor no solo (G). A fração H/R<sub>N</sub> para a área de Caatinga em regeneração foi ligeiramente superior (21%) em comparação a Caatinga preservada, de acordo com o teste t. Já a área desmatada, essa fração apresentou ligeira redução, que correspondeu a 19%. Enquanto que na área de cactácea aumentou 18%, quando comparada a Caatinga preservada. Para a fração LE/R<sub>N</sub> na Caatinga em regeneração houve redução de 29% em relação a Caatinga preservada. Houve aumento de 22% para área desmatada e redução de 16% para a superfície com cactácea.

As relações entre as densidades dos fluxos de energia R<sub>N</sub>, R<sub>N</sub> > 0, LE, H, G e G > 0, mostraram tendências significativas entre as superfícies estudadas (Figura 5 e Tabela 5). Ao aplicar análise de regressões para as densidades dos fluxos de energia da área de Caatinga preservada com as demais áreas, percebe-se relações positivas e altamente significativas ( $p < 0,001$ ) (Tabela 5). Para ambas as áreas o fluxo de calor no solo apresentou valores baixos

para o coeficiente de determinação, indicando ampla dispersão de valores, mesmo assim se manteve significativo ( $p < 0,001$ ) (Tabela 5).



**Figura 5.** Relação entre a densidade dos fluxos de energia (LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível, G - fluxo de calor no solo e  $R_N$  - saldo de radiação) dos sítios experimentais com diferentes coberturas vegetais, na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REGE); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

**Tabela 5.** Equações dos modelos de regressão entre a densidade dos fluxos de energia (LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível, G - fluxo de calor no solo e  $R_N$  - saldo de radiação) dos sítios experimentais com diferentes coberturas vegetais, na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REGE); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

Superfície	Variável	Equação	$R^2$	Valor $p$
Caatinga x Regeneração	$R_N > 0$	$y = 0,932.X^{***}$	0,97	<0,001
	H	$y = 0,926.X^{***}$	0,90	<0,001
	LE	$y = 1,053.X^{***}$	0,79	<0,001
	$G > 0$	$y = 1,001.X^{***}$	0,52	<0,001
	$R_N$	$y = 0,885.X^{***}$	0,96	<0,001
	G	$y = 0,747.X^{***}$	0,20	<0,001
	$R_N > 0$	$y = 0,929.X^{***}$	0,99	<0,001

Caatinga x Cactácea	H	$y = 0,979.X^{***}$	0,95	<0,001
	LE	$y = 0,914.X^{***}$	0,86	<0,001
	G>0	$y = 0,465.X^{***}$	0,49	<0,001
	Rn	$y = 0,922.X^{***}$	0,98	<0,001
	G	$y = -0,076.X^{***}$	0,01	<0,001
Caatinga x Desmatada	Rn>0	$y = 0,809.X^{***}$	0,99	<0,001
	H	$y = 0,741.X^{***}$	0,94	<0,001
	LE	$y = 0,996.X^{***}$	0,88	<0,001
	G>0	$y = 0,702.X^{***}$	0,75	<0,001
	Rn	$y = 0,779.X^{***}$	0,98	<0,001
	G	$y = 0,556.X^{***}$	0,51	<0,001

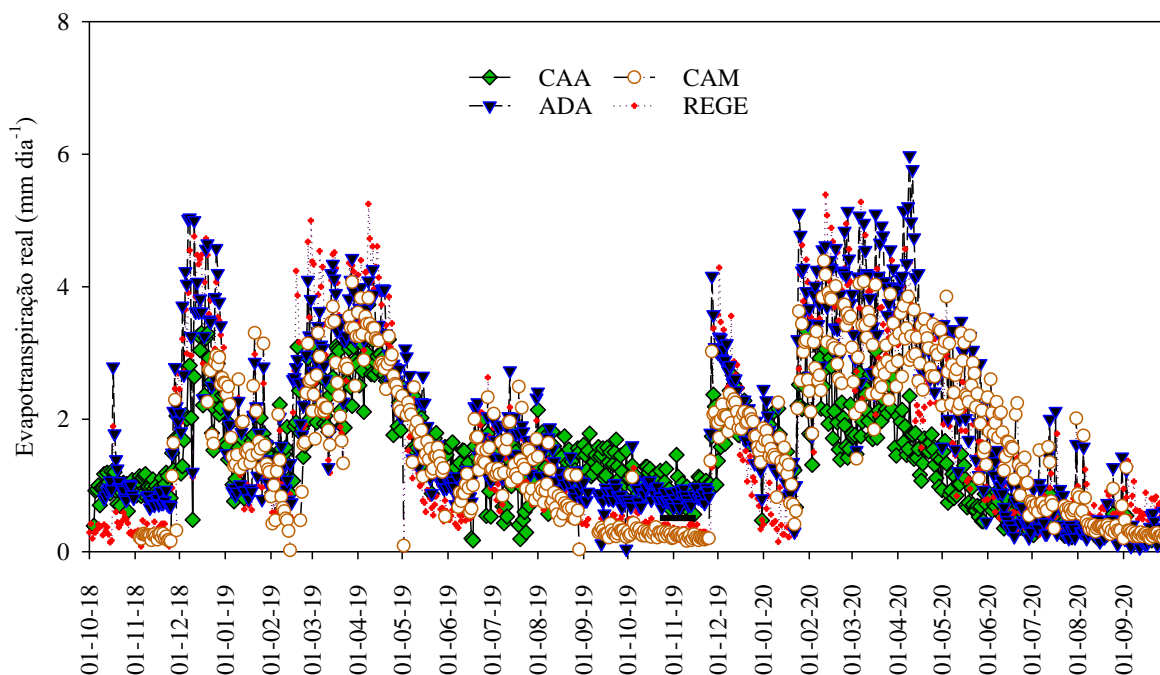
\*\*\*: nível de significância a 0,001 de probabilidade.

### 3.4 Evapotranspiração entre as diferentes superfícies

A evapotranspiração acumulada para o presente estudo, durante o período monitorado, foi de 1.015,31 mm para a Caatinga preservada, 1.134,49 mm para a Caatinga em regeneração, 1.324,21 mm para a área desmatada e 1.027,16 mm para a área de cactácea (Figura 6). Isso resulta em valores médios diários de 1,40; 1,62; 1,90 e 1,59 mm. As maiores taxas de evapotranspiração foram observadas durante os períodos chuvosos ( $p < 0,05$ ), para ambas as superfícies. Em média, a ET para a Caatinga em regeneração e a área desmatada foi superior 27%, quando comparada com a Caatinga preservada. Já a área de cactácea foi superior 23% na média (Tabela 3).

Na área de Caatinga preservada, durante o ano de 2018 a evapotranspiração acumulada correspondeu, à 141,70 mm, com média de 1,43 mm. Para o ano de 2019 o acumulado foi de 563,32 mm e média diária de 1,60 mm. Já no período monitorado em 2020 a evapotranspiração acumulada foi de 310,29 mm, com média diária de 1,13 mm (Figura 6). Enquanto isso, para a Caatinga em regeneração a ET acumulada para o período de 2018, foi de 132,88 mm, com média de 1,51 mm dia<sup>-1</sup>. Sendo 514,41 mm em 2019 e média de 1,51 mm dia<sup>-1</sup>. Com 487,20 mm, o ano de 2020 apresentou média de 1,78 mm dia<sup>-1</sup>. A área desmatada apresentou um acumulado de 155,03 mm, e média diária de 2,10 mm, durante o período de 2018. Para 2019 foi 620,95 mm, com média de 1,77 mm dia<sup>-1</sup>; e 548,23 mm em 2020, com média de 2,02 mm dia<sup>-1</sup>. Por fim a área de cactácea teve as menores magnitudes de ET acumulada, com 40,72 mm e média de 1,07 mm dia<sup>-1</sup> durante o período de 2018. Em 2019 foi 485,30 mm acumulado, e 1,44 mm na média diária; e 501,14 mm no ano de 2020, com a média de 1,87 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 6).





**Figura 6.** Evapotranspiração real dos sítios experimentais com diferentes coberturas vegetais, na área de estudo: Caatinga preservada (CAA); Caatinga em regeneração (REGE); área desmatada (ADA) e área de cactácea (CAM), no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, no período de 2018 a 2020.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Padrões e oscilações das variáveis meteorológicas

As oscilações das variáveis ambientais, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor d'água e umidade relativa do ar, podem ser promovidas pelos diferentes tipos de uso e cobertura da terra. As modificações antrópicas são fatores determinantes em termos de amplitudes e magnitudes das variáveis meteorológicas em macro e microescala (BIUDES et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Fu et al. (2017) avaliando como o uso da terra e as alterações climáticas influenciam nas variações espaciais e temporais de serviços ecossistêmicos na China, constataram um maior aquecimento do ar na área de pastagem, quando comparado com área de floresta. Corroborando com o presente estudo, onde mostra que para as áreas de Caatinga em regeneração, desmata e área de cactácea, houve um ligeiro aumento da temperatura média e máxima, quando comparado a área de Caatinga preservada.

Estudando a mudança do uso da terra, no semiárido pernambucano, Cavalcante (2016) também constatou um aumento da temperatura do ar de 1,9 °C em área de pastagem, quando

comparada a Caatinga. Segundo Salazar et al. (2016), o desmatamento de biomas causa acréscimo da temperatura média em até 1,4 °C, a depender do tipo de vegetação, localização e época do ano. Swann et al. (2015) explicaram que a remoção da vegetação nativa, pode proporcionar a diminuição da umidade do ar, e conseqüentemente diminuir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, em decorrência de uma menor transpiração por área foliar. As menores injeção de vapor de água na atmosfera, podem ocasionar estresse térmico para as espécies, diminuindo sua capacidade de resfriamento e causando danos deletérios a enzimas e ao sistema fotossintético.

Os maiores valores de déficit de pressão de vapor d'água na área de cactácea pode estar associado ao metabolismo da planta, que permiti a abertura estomática durante à noite, possibilitando assim menores perdas de água por transpiração. Logo, com os estômatos parcialmente fechados durante o dia, os tecidos celulares permanecem mais hidratados (ALMEIDA, 2012). Já os menores valores de DPV na área de Caatinga preservada pode estar atrelado a maior retenção de umidade do ar pelo dossel. Além disso, os mecanismos de defesa como alterações no sistema radicular, aumento caulinar, redução no tamanho e a perda das folhas sazonalmente, ocorrem frente a pouca disponibilidade de água no solo, funcionam como um moderador para manter a baixa troca de calor entre a vegetação e a atmosfera durante os períodos de estiagem (BIUDES et al., 2009). Segundo Silva et al. (2017), em áreas de pastagem ocorre um aumento no DPV, quando comparado com áreas de Caatinga. Para este estudo o comportamento do DPV esteve associado com a temperatura do ar, ou seja, nos períodos com menores temperaturas, apresentaram os menores valores de DPV e vice versa (GONDIM et al., 2015).

#### **4.2 Padrões espaciais dos fluxos de energia e evapotranspiração**

Em termos de balanço de energia, a variação do  $R_n$  para ambas superfícies apresenta maiores magnitudes durante os períodos chuvosos. O  $R_n$  também apresentou menores magnitudes nas áreas de Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea. Estes resultados podem ser explicados pela variação do albedo para estas superfícies (SILVA et al., 2017). A remoção da vegetação implica em aumento do albedo da superfície e, logo, redução da absorção da radiação solar. Entretanto, apesar da diminuição do saldo de radiação, a partição de energia é mais destinada para o fluxo de calor sensível, uma vez que, a menor cobertura vegetal e disponibilidade de água reduzem o gasto de energia com a evapotranspiração (SOUZA et al., 2015).

Os fluxos de calor sensível e de calor no solo, apresentam aumento na partição de energia, durante os meses de pouca chuva, menor conteúdo de água no solo e menor cobertura vegetal, permitindo maior incidência de radiação solar na superfície do solo. Isso pode promover o aumento da temperatura do ar, que sobre áreas com perturbações antrópicas ou desmatadas, pode facilitar os processos convectivos, promovendo a remoção do ar úmido e deixando o ambiente mais seco (HARDWICK et al., 2015; JAMIYANSHARAV et al., 2011).

Como o LE foi baixo em ambas as superfícies independente do período ser chuvoso ou seco, grande parte da energia disponível foi particionada em H, resultados esses que corroboram os achados de Teixeira et al. (2008). Os autores encontraram resultados semelhantes na Caatinga, visto que na estação seca, o ar acima da vegetação recebe mais calor do que vapor d'água, resultando em camadas de ar mais quente. Godim et al. (2015) mediram esses fluxos sobre áreas de pastagens na região semiárida do Brasil, e encontraram resultados semelhantes.

É sabido na literatura que, ao longo dos meses de um ano, ou ao longo dos anos, a ocorrência de períodos secos, promovem variações nos fluxos de energia, com alterações para LE e H de maneira mais significativas e pronunciadas (BIUDES et al., 2015; DENG et al., 2015; PANDAY et al., 2015; SALAZAR et al., 2016; SUN et al., 2010). Esta informação se torna importante, haja visto que o desmatamento e a exploração agrícola, integradas a mudanças de uso da terra, demonstram influência nas alterações climáticas, e proporciona redução de precipitação em ambientes úmidos, áridos e semiáridos. Além disso, podem ocorrer presença de chuvas com maior intensidade, e elevada variabilidade, associadas a estações secas com maior duração e intensidade (PANDAY et al., 2015).

O processo de evapotranspiração é responsável por ligar os ciclos de energia, água e carbono nos ecossistemas (SUN et al., 2010). Esta variável desempenha um papel importante no balanço hídrico das regiões semiáridas do mundo (XIANG et al., 2020). Em nosso estudo, a maior evapotranspiração obtida na área de Caatinga em regeneração e área desmata (1,62 mm e 1,90 mm, respectivamente), pode estar associada ao armazenamento de água no solo, o qual se manteve maior nestas duas áreas, quando comparada com a área de Caatinga preservada. Neste caso a taxa evaporativa foi maior que a transpiração. Outro fator que pode ser levado em consideração é o tipo de solo, visto que, nas áreas de Caatinga em regeneração, desmatada e cactácea os solos são mais profundos e bem drenados, o que permite um maior armazenamento de água. Diferentemente do solo que se encontra a Caatinga preservada, com solo raso, pedregoso e com menores ações do intemperismo.

Borges et al. (2020) ao investigarem o balanço de energia em duas áreas contrastantes de floresta tropical sazonalmente seco no semiárido paraibano, constataram que a ET em área de Caatinga esparsa foi ligeiramente maior do que na área de Caatinga densa. Com valores de  $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$  para a Caatinga esparsa, e  $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$  na Caatinga densa. Ainda segundo os autores, essa diferença está relacionada com a maior disponibilidade de água do solo para a área de Caatinga esparsa, que intensificou a liberação de vapor de água para a atmosfera. Vale ressaltar, que em regiões áridas e semiáridas, a evapotranspiração é maior após eventos de precipitação, isto é, devido a entrada rápida de água no ecossistema e elevada demanda atmosférica.

Esses resultados divergem do trabalho realizado por Wolf et al. (2011), que analisaram dois sítios experimentais: uma área de floresta arbórea nativa e área de pastagem. Quantificando uma evapotranspiração de  $1.114 \text{ mm ano}^{-1}$  para floresta nativa e  $1.034 \text{ mm ano}^{-1}$  na área de pastagem. Tais ambientes apresentaram média de  $3,0$  e  $2,6 \text{ mm dia}^{-1}$ , indicando a evapotranspiração foi ligeiramente inferior na área de pastagem, quando comparado com a floresta nativa. Em áreas de pastagem geralmente predomina espécies de metabolismo fotossintético C4, e decorrente do seu consumo hídrico e eficiência fotossintética, a taxa de transpiração pode ser mais acentuada.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com as partições dos componentes do balanço de energia, em ambas as áreas estudadas, a maior parte de energia disponível no ecossistema foi convertida em fluxo de calor sensível, seguido de calor latente e em menor proporção no fluxo de calor no solo, sendo utilizada para os processos de aquecimento do ar, evapotranspiração e aquecimento do solo. A remoção da vegetação nativa altera as características da superfície, reduzindo a energia disponível.

Neste estudo, a evapotranspiração para as superfícies Caatinga em regeneração, área desmatada e cactáceas, foi superior a área de Caatinga preservada, em virtude da maior disponibilidade de água no solo.

Estes resultados desempenham um papel importante no avanço do conhecimento das interações biosfera-atmosfera na Caatinga, que é o único bioma exclusivamente brasileiro. Isto é extremamente importante, tendo em conta os impactos ambientais relacionados com as alterações da no uso das terras, neste bioma nas últimas décadas.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código Financeiro 001) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudo do primeiro autor. Ao GAS – Grupo de Agrometeorologia no Semiárido pelo auxílio em campo durante a pesquisa. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [309421/2018-7 e 152251/2018-9] pelo apoio financeiro.

## **6. REFERÊNCIAS**

- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde (Mossoró - RN)**, v. 7, n. 1981–8203, p. 08–14, 2012.
- BIUDES, M. S. et al. ESTIMATIVA DO BALANÇO DE ENERGIA EM CAMBARAZAL E PASTAGEM NO NORTE DO PANTANAL PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN Universidade Federal de Mato Grosso – ( UFMT ) Cuiabá – MT , Brasil. p. 135–143, 2009.
- BIUDES, M. S. et al. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112–124, 2015.
- BORGES, C. K. et al. Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 8, 2020.
- CAMARGO, Â. P. DE; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo , Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89–97, 1997.
- CARVALHO, H. F. DE S.; MOURA, M. S. B. DE; SILVA, T. G. F. DA. Fluxos de Radiação e Energia em Caatinga Preservada e Cana-de-Açúcar no Semiárido Radiation and Energy Fluxes in Preserved Caatinga and Sugarcane in Semi-Arid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 452–458, 2018.
- CAVALCANTE, H. M. B. **Mudança do uso da terra e efeitos ecohidrológicos em área de caatinga e pastagem no Semiárido Pernambucano**. [s.l.] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2016.
- DENG, X. et al. Impacts of land use and land cover changes on surface energy and water balance in the Heihe River Basin of China, 2000-2010. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 79–82, p. 2–10, 2015.

FERNANDES, M. M. et al. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. **Land Use Policy**, v. 99, n. June, p. 104795, 2020.

FU, Q. et al. Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: A case study in Altay Prefecture, China. **Science of the Total Environment**, v. 607–608, p. 633–646, 2017.

GONDIM, P. S. D. S. et al. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 3–8, 2015.

HARDWICK, S. R. et al. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201, p. 187–195, 2015.

HU, S. et al. Discussion and reassessment of the method used for accepting or rejecting data observed by a Bowen ratio system. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 15, p. 4506–4510, 2014.

IBAMA. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros Por Satélite [WWW Document]. Inst. Bras. do Meio Ambient. e dos Recur. Nat. Renov. - IBAMA.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/projeto-de-monitoramento-dodesmatamento-nos-biomas-brasileiros-por-satelite-pmdbbs>>.

JAMIYANSHARAV, K. et al. Seasonal and interannual variability in surface energy partitioning and vegetation cover with grazing at shortgrass steppe. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 4, p. 360–370, 2011.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 223, 2021a.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, n. March, p. 421–430, 2021b.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, n. September 2020, p. 104464, 2021c.

KRISHNAN, P. et al. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 153, p. 31–44, 2012.

LI, D. et al. Impacts of land use and land cover changes on regional climate in the Lhasa River

- basin, Tibetan Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 742, p. 140570, 2020.
- MAPBIOMAS. **Mudanças de Cobertura e uso: Mapbiomas v.3.0**.
- PANDAY, P. K. et al. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 523, p. 822–829, 2015.
- PEREZ, P. J. et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, n. 3, p. 141–150, 1999.
- RITO, K. F. et al. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 3, p. 828–838, 2017.
- SALAZAR, A. et al. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. **Global and Planetary Change**, v. 139, n. January, p. 97–108, 2016.
- SILVA, P. F. DA et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71–82, 2017.
- SILVA, T. G. F. et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido Brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184–191, 2014.
- SOUSA, D. DE P. et al. Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. **Irrigation Science**, n. 0123456789, 2021.
- SOUZA, L. S. B. DE et al. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 627–636, 2015.
- SUN, G. et al. Energy and water balance of two contrasting loblolly pine plantations on the lower coastal plain of North Carolina, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 7, p. 1299–1310, 2010.
- SWANN, A. L. S. et al. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 12–24, 2015.
- TEIXEIRA, A. H. DE C. et al. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, p. 110–127, 2008.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, v. 2, p. 184–194, 1981.
- WOLF, S. et al. Afforestation of Tropical Pasture Only Marginally Affects Ecosystem-Scale Evapotranspiration. **Ecosystems**, v. 14, n. 8, p. 1264–1275, 2011.

XIANG, K. et al. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. **Agricultural Water Management**, v. 232, n. January, 2020.



### **CAPITULO III: PARTICIONAMENTO DA CHUVA EM FLORESTA SAZONALMENTE SECA COM ESPÉCIES NATIVAS EM REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL**

**Resumo:** O particionamento da chuva em florestas tropicais sazonalmente secas, desempenham um papel fundamental no balanço hídrico, principalmente nas regiões semiáridas, que sofrem forte impacto na remoção da vegetação nativa. O estudo das componentes precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pelo dossel em vegetação de Caatinga é de extrema importância para a hidrologia local. O objetivo deste estudo foi quantificar a partição da chuva pela vegetação Caatinga e as condições ambientais enfatizando as suas relações com as características morfológicas das espécies predominantes. Esta pesquisa foi conduzida em área de vegetação Caatinga, inserida no sertão central do estado de Pernambuco. Foi monitorado o particionamento da chuva para sete espécies mais predominantes: *S. tuberosa*; *C. leptophloeos*; *C. quercifolius*; *A. pyrifolium*; *C. pyramidale*; *M. urundeuva* e *S. brasiliensis*. Foi avaliada a influência das características da chuva para a partição. As medições da partição de chuva, foram realizadas durante o período de novembro de 2017 a dezembro de 2020, por meio de 21 coletores de água e 18 calhas de zinco, para determinação da precipitação interna e escoamento pelo tronco, respectivamente, e suas relações com as características da chuva foram avaliadas com base em modelos de regressões lineares. Foram obtidas diferenças significativas entre a partição da chuva e as espécies estudadas, sendo que a *A. pyrifolium* apresentou maior interceptação (21%), que está possivelmente associada as propriedades morfológicas. As características das chuvas, precipitação total e intensidade estão significativamente relacionadas com os componentes precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação. Mostrando que chuvas com maiores volumes e intensidades são mais efetivas na geração de fluxos destes componentes, reduzindo assim, a interceptação de água da vegetação pelo dossel. Por outro lado, pequenos volumes de precipitação podem não ser suficientes para saturar totalmente as copas das árvores, resultando em menores valores de precipitação interna e escoamento do tronco. Conclui-se que o monitoramento dos 167 eventos chuvosos nesta área de vegetação Caatinga, indica que a precipitação interna, o escoamento pelo tronco e as perdas por interceptação pelo dossel correspondem a 83,14%, 0,49% e 16,37% da precipitação, respectivamente. Para regiões semiáridas este tipo de estudo é bastante significativo e não pode ser ignorado no gerenciamento dos recursos hídricos locais.

**Palavras-Chave:** Escoamento pelo tronco; interceptação; mudança do uso da terra; semiárido.

**Abstract:** The partitioning of rainfall in seasonally dry tropical forests plays a fundamental role in the water balance, especially in semiarid regions, which suffer a strong impact on the removal of native vegetation. The study of internal precipitation, trunk flow and canopy interception components in Caatinga vegetation is extremely important for local hydrology. The objective of this study was to quantify the rainfall partition by Caatinga vegetation and the environmental conditions emphasizing their relationship with the morphological characteristics of the predominant species. This research was conducted in an area of Caatinga vegetation, located in the central hinterland of the state of Pernambuco. Rainfall partitioning for seven more predominant species was monitored: *S. tuberosa*; *C. leptophloeos*; *C. quercifolius*; *A. pyriformium*; *C. pyramidale*; *M. urundeuva* and *S. brasiliensis*. The influence of rainfall characteristics on partitioning was evaluated. Rain partition measurements were carried out during the period from november 2017 to december 2020, using 21 handmade rain gauges and 18 zinc gutters, to determine internal precipitation and trunk runoff, respectively, and their relationships with rain characteristics were evaluated based on linear regression models. Significant differences were obtained between rainfall partition and the studied species, with *A. pyriformium* showing the highest interception (21%), which is possibly associated with its structural form. The characteristics of rainfall, total precipitation and intensity are significantly related to the components inland precipitation, trunk runoff and interception. Showing that rainfall with higher volumes and intensities are more effective in generating fluxes of these components, thus reducing the interception of vegetation water by the canopy. On the other hand, small volumes of precipitation may not be enough to fully saturate the treetops, resulting in lower values of internal precipitation and trunk runoff. It is concluded that the monitoring of 167 rainy events in this Caatinga vegetation area indicates that internal precipitation, trunk runoff and interception losses correspond to 83.14%, 0.49% and 16.37% of the precipitation, respectively. For semiarid regions this type of study is quite significant and cannot be ignored in the management of local water resources.

**Keywords:** Stemflow; interception; land use change; semiarid.

## 1. INTRODUÇÃO

A estrutura do dossel da floresta desempenha um papel importante na dinâmica hidrológica de uma determinada área, particionando a chuva em precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação (I) (ANTONELI et al., 2021; WHITWORTH-HULSE et al., 2020). Esse particionamento é responsável pela entrada e distribuição de água no solo, tendo forte influência no crescimento e desenvolvimento das plantas (QUEIROZ et al., 2020). Informações sobre esses mecanismos de entrada de água no ecossistema são essenciais para o desenvolvimento de técnicas e estratégias para lidar com as secas em ambientes semiáridos (RIBEIRO FILHO et al., 2017; WHITWORTH-HULSE et al., 2020; ZHANG et al., 2015b).

A precipitação interna atinge o solo de maneira direta, seja através das fendas do dossel como queda livre, ou via gotejamento de folhas e galhos suspensos (CARLYLE-MOSES, 2004). Já o escoamento pelo tronco atinge o solo afunilando-se pelos galhos ou tronco após a precipitação ser interceptada por folhas e galhos (SWAFFER et al., 2014). Enquanto que o processo da interceptação é parte da chuva interceptada que retorna à atmosfera por evaporação (FILHO et al., 2019). Os fluxos envolvidos na partição da chuva são influenciados principalmente por fatores bióticos como (altura da planta, volume e arquitetura da copa, folhas, rugosidade da casca e inclinação do tronco) (DONG et al., 2020), bem como os fatores abióticos (quantidade, duração e intensidade da chuva) (BRASIL et al., 2017; CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; QUEIROZ et al., 2020; WHITWORTH-HULSE et al., 2020).

Estes mecanismos de redistribuição desempenham um importante papel de destaque no balanço hídrico, nas escalas locais e regionais (QUEIROZ et al., 2020), em que, a modificação da cobertura vegetal pode ocasionar efeitos significativos nos processos hidrológicos. A região semiárida do Brasil, é recoberta por um tipo de vegetação sazonalmente seca, denominada da Caatinga. Neste ambiente, podem ser observadas práticas de desmatamento indiscriminado para uso doméstico como, extração de lenha e áreas de plantio, além do excesso de animais na pecuária extensiva (DÓRIA et al., 2016), o que frequentemente agrava os processos de degradação nestas áreas e aumenta a complexidade hidrológica (QUEIROZ et al., 2020; RODRIGUES et al., 2013)

A supressão da cobertura vegetal nativa, ocasionada pela mudança no uso da terra, promove perdas de biodiversidades e afeta os serviços ecossistêmicos, aumentando a susceptibilidade da região à variabilidade climática (FERNANDES et al., 2020). A

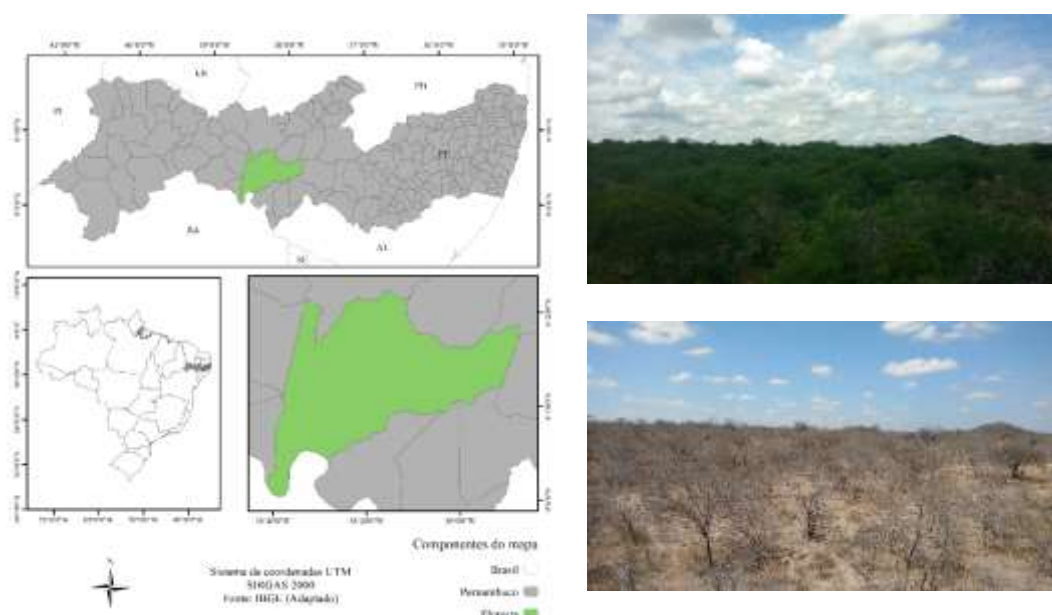
redistribuição das chuvas no semiárido brasileiro, especialmente em áreas de Caatinga, ainda é pouco estudada e reportada na literatura (QUEIROZ et al., 2020; BRASIL et al., 2017; MEDEIROS et al., 2009). As perdas de água por interceptação por exemplo, influenciam na umidade do solo, escoamento da água e na recarga dos aquíferos, sendo importantes para o atendimento da demanda de água seja agrícola, industrial ou residencial (QUEIROZ et al., 2020). f

Diante disso, o objetivo deste estudo foi quantificar a partição da chuva pela vegetação Caatinga e as condições ambientais enfatizando as suas relações com as características morfológicas das espécies predominantes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na fazenda Algodões, município de Floresta, PE, situada em torno das coordenadas (08°18'31'' S, 38°31'37'' W, com altitude de 378 m.) (Figura 1). A vegetação é caracterizada como Caatinga arbustivo-arbórea, típica da região denominada Sertão Central do Brasil. O clima da região é quente e seco, do tipo BSw<sup>h</sup>' (ALVARES et al., 2013). As médias históricas de temperatura anual, umidade relativa do ar, evapotranspiração de referência, precipitação e radiação solar global estão presentes na (Tabela 1).



**Figura 1.** Localização da área de estudo, no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil, com vegetação no período chuvoso e seco.

A área de estudo foi durante muitos anos explorada de maneira doméstica, com extração de madeira e utilizada para pastejo de animais em sistema de criação extensiva. Contudo, a mais de 20 anos essa área não sofre retirada de madeira. A cobertura vegetal apresenta uma área superior a 200 hectares, composta por espécies vegetais de caráter arbóreo e arbustivo. Dessas espécies, muitas apresentam microfilia e xeromorfismos, fazendo com que a paisagem seja fortemente modificada ao longo do ano, como resposta às condições de restrição hídrica local.

**Tabela 1.** Normal climatológica (1961-1990) dos elementos meteorológicos para o município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

Mês	Chuva (mm)	T <sub>N</sub>	T <sub>M</sub>	T <sub>X</sub>	UR (%)	u (m s <sup>-1</sup> )	ET <sub>o</sub> (mm)	R <sub>G</sub> (MJ m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> )
		°C						
Janeiro	66,1	21,7	27,4	34,3	59,9	2,0	5,9	23,4
Fevereiro	79,4	21,5	26,7	33,9	63,8	1,9	5,7	23,6
Março	104,3	21,4	26,5	33,6	68,5	1,9	5,5	23,2
Abril	66,7	21,0	26,0	32,8	70,4	1,9	5,0	21,5
Mai	37,2	20,2	25,0	31,8	70,4	2,0	4,4	18,7
Junho	19,9	18,9	23,8	30,7	70,1	2,4	4,2	16,9
Julho	16,6	18,1	23,3	30,4	69,0	2,5	4,3	17,9
Agosto	7,0	18,1	24,1	31,7	61,1	2,7	5,4	21,8
Setembro	7,6	19,3	25,9	33,7	54,1	2,9	6,3	23,8
Outubro	12,1	20,8	27,6	35,3	50,3	2,7	6,8	25,5
Novembro	22,6	21,8	28,3	36,0	50,8	2,4	6,8	25,7
Dezembro	49,8	22,0	28,0	35,2	54,2	2,1	6,3	24,1
Anual	489,3	20,4	26,1	33,3	61,9	2,3	5,5	22,2

T<sub>N</sub>, T<sub>M</sub>, T<sub>X</sub> – temperatura mínima, média e máxima; UR – umidade relativa do ar; u – velocidade do vento; ET<sub>o</sub> – evapotranspiração de referência; R<sub>G</sub> – radiação solar global.

Fonte: Queiroz, 2019.

## 2.2 Seleção e medições de plantas

A área amostral para estudo da partição de água da chuva, foi estabelecida em um raio de aproximadamente 200 metros em torno da torre micrometeorológica instalada na Caatinga. Para o particionamento da chuva foram selecionadas trinta e nove plantas saudáveis, com faixa

das classes de diâmetro mais abundante (HULSE, 2018). Sendo sete espécies mais dominantes e distribuídas aleatoriamente no local de estudo. O tronco das plantas selecionadas não era inclinado e sua copa não era sobreposta por outras árvores vizinhas. Para todas as plantas foram medidas a altura da árvore com uso de uma vara telescópica graduada; diâmetro à altura do peito (DAP) por meio da determinação do perímetro com fita métrica a 1,3 m., a área projetada do dossel como uma circunferência medindo o diâmetro do dossel seguindo a direção leste-oeste e norte-sul e por fim, o número de fustes. As características das árvores são mostradas na (Tabela 2).

**Tabela 2.** Principais características das espécies de árvores monitoradas da vegetação Caatinga (valores médios das plantas de cada espécie), no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Nome científico	Tronco			Dossel
	NF	DAP (cm)	Altura (m)	APC (m <sup>2</sup> )
<i>S. tuberosa</i>	4	21,0	5	136,85
<i>C. leptophloeos</i>	3	40,3	5	52,94
<i>C. quercifolius</i>	6	56,4	6,1	33,48
<i>A. pyrifolium</i>	3	34,9	4	12,09
<i>C. pyramidale</i>	4	37,1	4	22,86
<i>M. urundeuva</i>	1	68,0	7	57,72
<i>S. brasiliensis</i>	1	104,2	15	135,07

Número de fustes (NF), diâmetro na altura do peito (DAP) e área de projeção da copa (APC).

### 2.3 Medidas de particionamento da chuva

As medições do particionamento de água na vegetação foram realizadas a partir de novembro de 2017 a dezembro de 2020. Realizando-se as medições em escala semanal/diária/evento, logo após a ocorrência das chuvas, com medidas de precipitação total (PT), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação (I). A PT foi registrada por um pluviômetro automático (10116 rain gauge, TOSS, Potsdam, Germany), com resolução de 0,254 mm. Instalado no topo de uma torre micrometeorológica com 8 metros de altura (Figura 2 A e B) e seus dados armazenados em um datalogger modelo CR1000 (Campbell Scientific Inc, Logan, Utah, USA), em intervalos de 10 minutos. A Pi foi coletada sob o dossel das árvores, usando vinte e um coletores de água de chuva, confeccionados com tubos de PVC

e instalados a uma altura de 1,0 m acima da superfície do solo, com uma área de coleta de 707 cm<sup>2</sup> (Figura 2 C). Todos os coletores foram realocados a cada cinco eventos de chuva, com o intuito de reduzir os efeitos da variabilidade espacial e minimizar os erros (VERNIMMEN et al., 2007). A precipitação interna foi calculada por meio da Eq. (1) conforme descrita em (ZHANG et al., 2015a; ZHENG et al., 2018):

$$P_i = \frac{V_{pi}}{AC} \quad (1)$$

sendo:  $P_i$  precipitação interna (mm),  $V_{pi}$  o volume de água que atravessou o dossel (L) e  $AC$  a área do coletor (m<sup>2</sup>).

O escoamento pelo tronco ( $E_t$ ) foi medido em 18 árvores representativas da área de estudo. Foi tomado cuidado para garantir que todas as árvores selecionadas tivessem dosséis totalmente intactos, que parecessem representativos aos atributos estruturais do dossel de cada espécie. O  $E_t$  foi coletado usando calhas de zinco galvanizado, do tipo colarinho, com altura de aproximadamente 0,15 m e comprimentos a depender da circunferência dos troncos das árvores, montados a uma altura de 1,30 m. Cada coletor foi fixado ao redor do tronco da árvore e selado com silicone (Figura 2 D).

O  $E_t$  foi calculado conforme a Eq. (2) conforme descrita por (ZHANG et al., 2015a).

$$E_t = \frac{V_{ET}}{AP} \quad (2)$$

sendo:  $E_t$  o escoamento da água pelo tronco (mm),  $V_{ET}$  é o volume de água escoado pelo fluxo do tronco em (L),  $AP$  é a área de projeção da copa do dossel (m<sup>2</sup>).

A fim de evitar a evaporação, a água escoada era direcionada por uma mangueira fixada nos coletores da  $P_i$  e  $E_t$ , á recipientes individuais de plásticos com capacidade de 5 e 20 L respectivamente.

A precipitação efetiva ( $PE$ ) que se refere a chuva que atinge a superfície do solo, é obtida pela soma da  $P_i$  e do  $E_t$ . Logo, o volume de água interceptado pelo dossel foi obtido para evento de chuva Eq. (3).

$$I = P_T - PE = P_T - (P_i + E_t) \quad (3)$$

sendo:  $P_T$  a precipitação total obtida em área aberta (mm).



**Figura 2.** Torre micrometeorológica da Caatinga (A), pluviômetro automático para registrar a precipitação total (B), distribuição dos coletores de precipitação interna (C) e escoamento pelo tronco (D), nas espécies da Caatinga, no município de Floresta, Nordeste Brasileiro.

## 2.4 Análises estatísticas

Os eventos de chuva foram agrupados em cinco classes para altura pluviométrica da chuva: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e 50-100 mm. A duração da chuva foi agrupada em cinco escalas: 0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-10 horas. Enquanto a intensidade ficou em quatro escalas: 0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 mm h<sup>-1</sup>. Foi aplicado uma análise de regressão linear simples para as variáveis precipitação interna, escoamento do tronco, interceptação de água da chuva pelo dossel e as características da chuva, (precipitação total, duração e interceptação da chuva), para



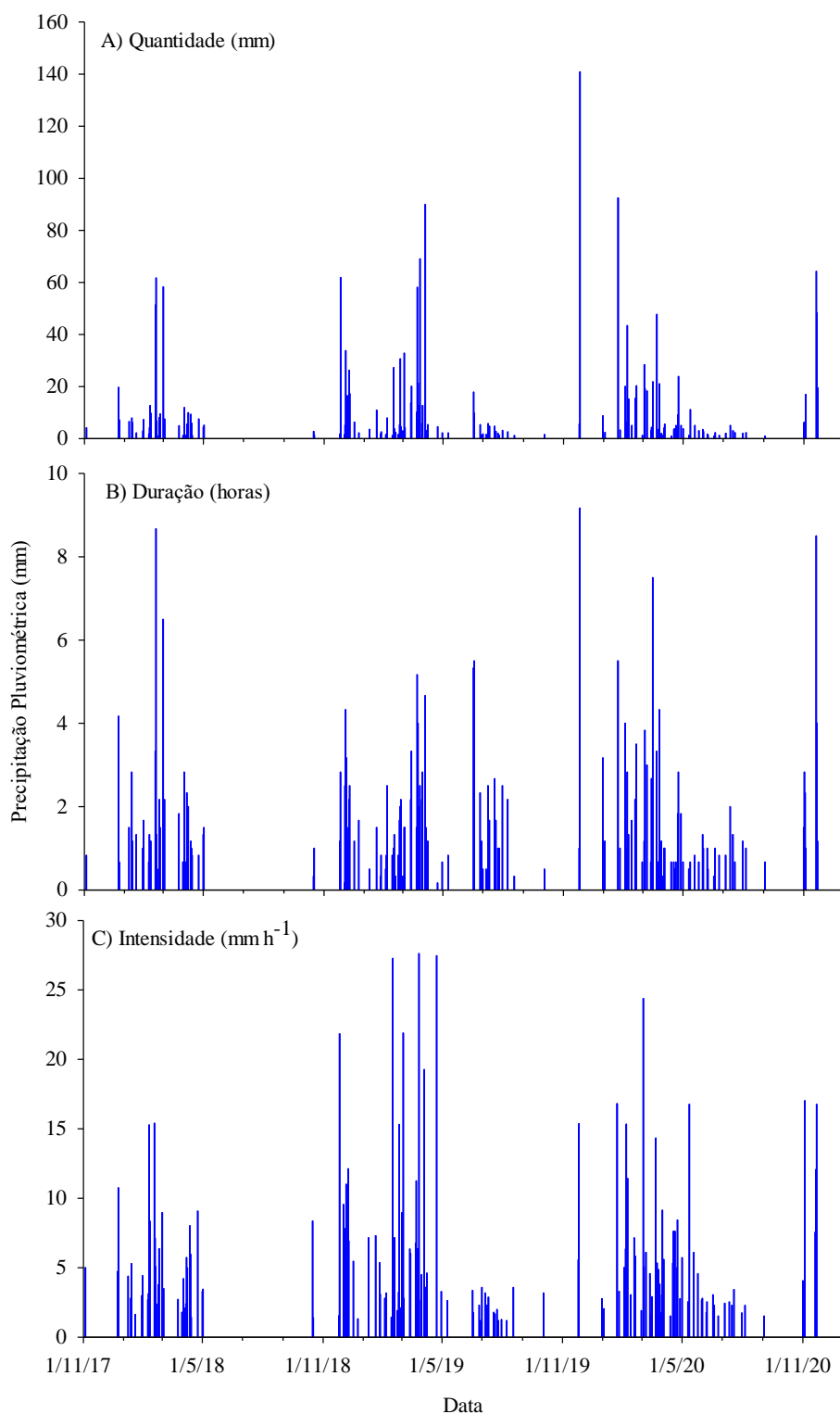
identificação de diferenças nas suas magnitudes. Todas as análises foram realizadas utilizando o software RStudio® (<http://www.rstudio.com>).

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Características da precipitação**

A precipitação pluviométrica acumulada durante o período experimental, novembro de 2017 a dezembro de 2020, correspondeu a 2.021,16 mm. Para o particionamento da chuva, foram considerados apenas os eventos iguais ou superiores a 1,0 mm, totalizando 1.972,71mm, com a diferença de 48,45 mm, em relação ao total observado no período. Sendo que novembro a dezembro de 2017 correspondeu a (31,04 mm), janeiro a dezembro de 2018 (537,08 mm), janeiro a dezembro de 2019 (708,02 mm) e janeiro a dezembro de 2020 (696,57 mm), de modo a totalizar 167 eventos de chuva.

A figura 3 mostra a quantidade diária de chuva (Figura 3A), duração (Figura 3B) e intensidade (Figura 3 C) para o período 11/2017 a 12/2020. A quantidade de chuva variou na ordem de 1,02-140,89 mm, com valor médio de 11,88 mm. A duração variou de 0,17-9,17 h, com média de 1,78 h. Enquanto que a intensidade de chuva oscilou de 1,19-27,62 mm h<sup>-1</sup> e média de 5,94 mm h<sup>-1</sup>. A distribuição da precipitação pluviométrica ocorreu de forma mais uniforme ao longo do experimento, para os anos 2019 e 2020.

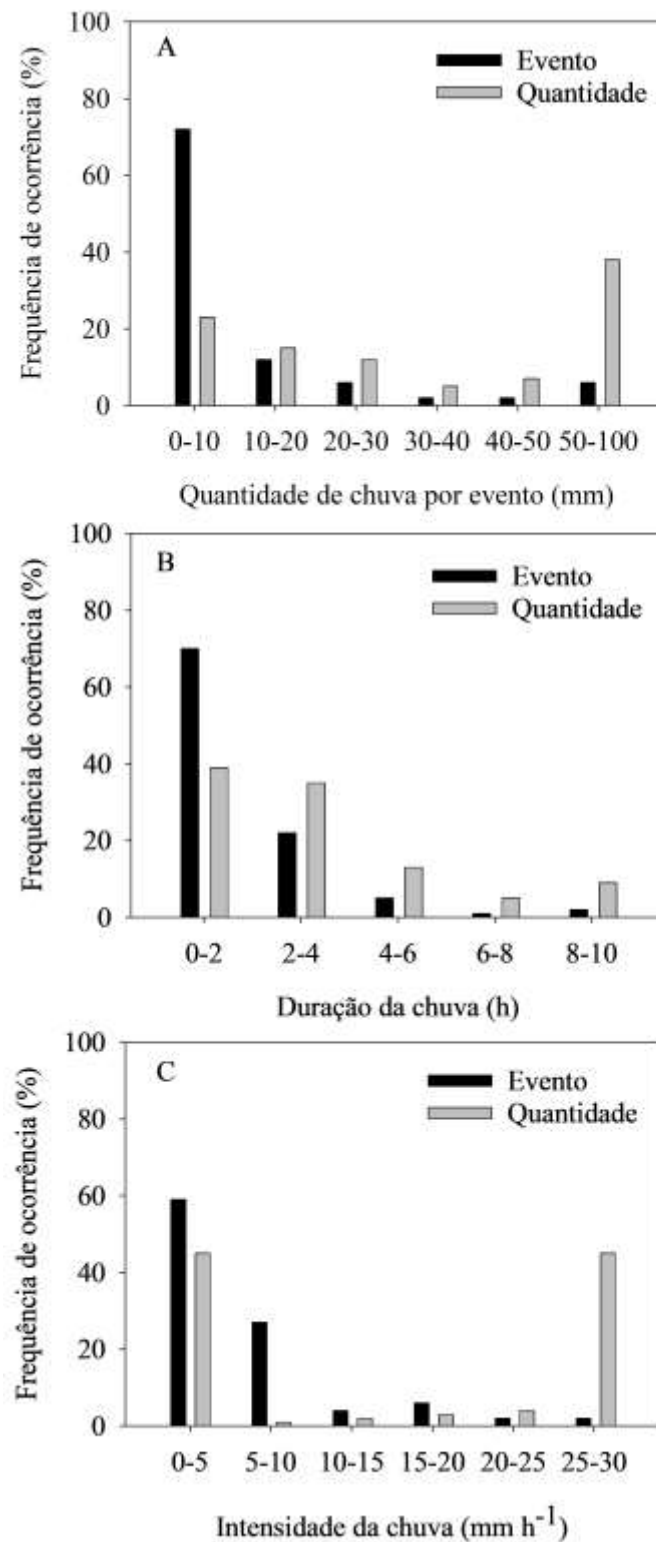


**Figura 3.** Distribuição diária da precipitação pluviométrica (mm) durante o período experimental de 01/11/2017 – 31/12/2020, em área de Caatinga, no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

As porcentagens para distribuição de frequência em quantidade, duração e intensidade da chuva nos 162 eventos são mostradas na (Figura 4). Para este estudo a quantidade de chuva foi distribuída em seis classes. Normalmente, eventos de chuva de menor quantidade foram mais frequentes, porém, ocuparam uma menor porcentagem da quantidade total de chuva incidente do que eventos de maior quantidade e vice-versa (Figura 4 A). Como por exemplo, os eventos que apresentaram precipitação  $\leq$  a 10 mm foram mais frequentes, representando 72% do total. Sendo, a quantidade de chuva acumulada de 460,40 mm, a qual representa apenas 23% da precipitação total. Na classe variando de 10 a 20 mm, foi contabilizado 20 eventos (12%), que representa 15% da precipitação total acumulada, correspondente a 298,87 mm (Figura 4 A). Foram contabilizados 10 eventos na classe variando de 20 a 30 mm (6%), que corresponde a 230, 56 mm. No entanto, as classes (30-40 e 40-50 mm), os eventos foram menos frequentes (2%) em cada classe. Para estas classes a quantidade de chuva foi de 97,30 e 139,45 mm, respectivamente. Por fim 10 eventos foram registrados para a última classe maior que 50 mm (6%), com precipitação total acumulada de 747,91 mm, representando 38%, (Figura 5 A).

Precipitação em intervalos de duração mais curtos geralmente correspondem a uma maior frequência de eventos, mas uma porcentagem relativamente menor da quantidade total de chuva incidente e vice-versa (Figura 4 B). Neste caso, 117 eventos (70%) das chuvas corresponde a duração menor ou igual a 2h, respondendo 39% da precipitação total; enquanto os eventos de precipitação com duração entre 2 e 4 h ocuparam 22% dos eventos, mas 35% da quantidade chuva. Os eventos com durante de (6-8 h e 8-10 h) representaram 1% e 2%, respectivamente. Com quantidade de chuva na ordem de 5% e 9%, respectivamente.

As distribuições de frequência da intensidade da chuva associadas aos números de eventos e quantidade chuva (Figura 4 C), indicando que intensidades de 0 a 5 mm h<sup>-1</sup> são bastante frequentes, com (98 eventos, 59% do total) e 45% da precipitação acumulada. Ocorreram 45 eventos de chuva com intensidade entre 5 e 10 mm h<sup>-1</sup>, que significa 27% para o número de ventos e 1% a quantidade de chuva. Para as classes de (10 a 15, 15 a 20 e 20 a 25 mm h<sup>-1</sup>), os eventos foram 7%, 10% e 4%, respectivamente; enquanto que a quantidade foi na ordem de 2%, 3% e 4%. Contudo, para a classe acima de 30 mm h<sup>-1</sup>, registraram-se 2 eventos de chuva com 2% de frequência e 45% de quantidade total (Figura 4 C).



**Figura 4.** Distribuição da frequência de eventos e quantidade de chuva em diferentes intervalos de tamanho do evento (A), duração (B) e intensidade da chuva (C) durante o período experimental de 2018 -2020, em área de Caatinga, no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

Para os 1.972,71 mm precipitados na área de estudo, 1.640,31 mm correspondeu a precipitação interna (83,14%) e 9,67 mm destinado ao escoamento pelo tronco (0,49%), proporcionando uma precipitação efetiva de 1.649,78 mm (83,63%). Enquanto que, o volume de água interceptada pela precipitação total da vegetação de Caatinga foi referente a 322,93 mm (16,37%), (diferença da precipitação total com a soma da precipitação interna (Tabela 3). Na tabela 3 está presente os valores médios e percentuais dos componentes da partição da chuva para as espécies vegetais deste estudo. A *C. leptophloeos* foi a espécie que apresentou maior valor de precipitação interna, em relação as outras, com percentual de 86, 3% da precipitação total.

Para as espécies *S. tuberosa* e *C. leptophloeos*, não foi possível monitorar o escoamento do tronco, devido suas características caulinar não permitir a confecção da calha de funil. No entanto seus valores foram estimados com base no percentual obtido para a vegetação da Caatinga (0,49%), destinando assim o mesmo valor médio para as duas espécies.

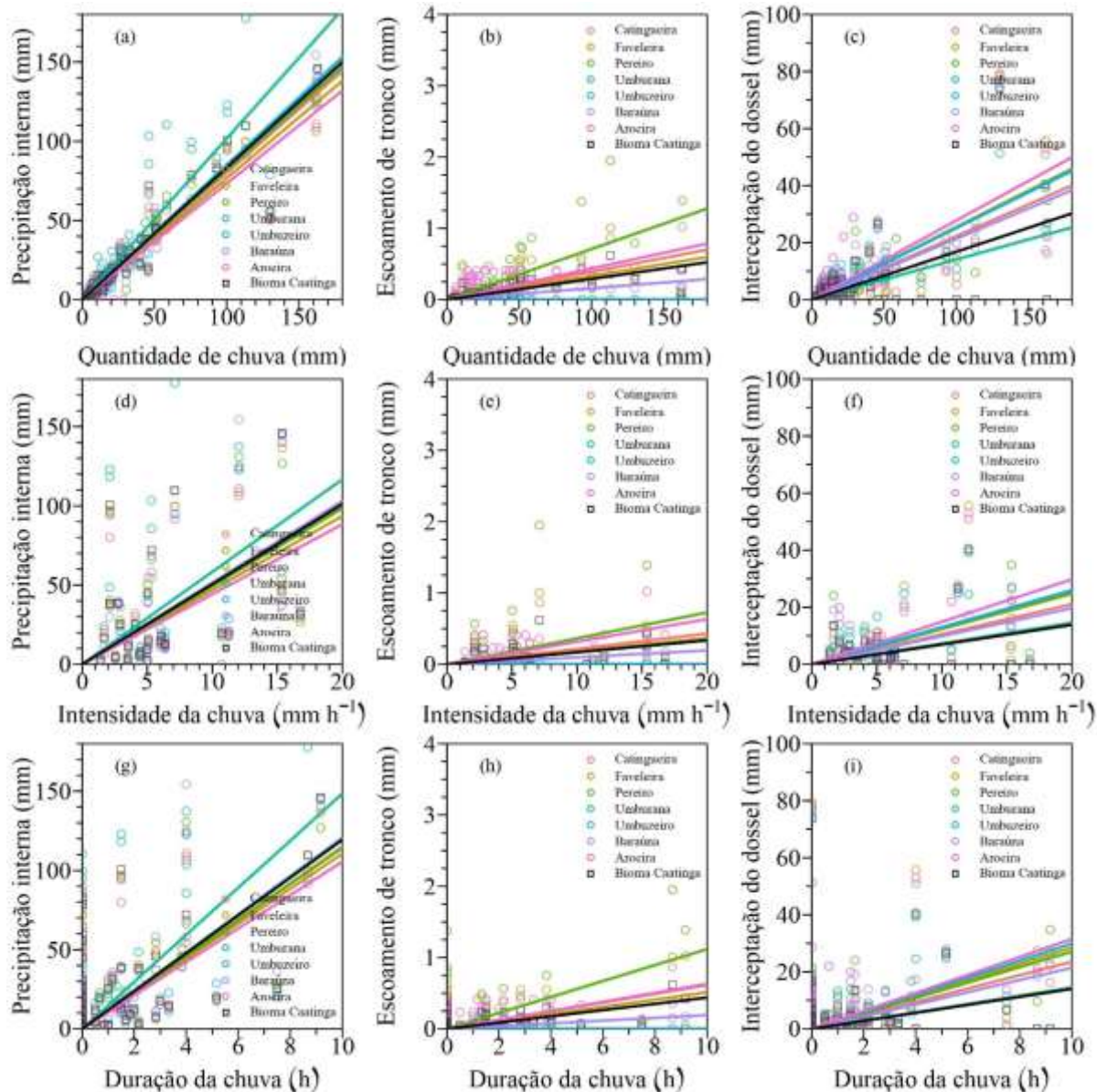
Para a componente Interceptação pelo dossel, a *M. urundeuva* foi superior às demais espécies. Já nas demais plantas, os valores médios variaram de 13,2 a 21,0 %. Como os valores médios e percentuais do escoamento do tronco foram muito baixos, a precipitação interna contribuiu de maneira mais significativa para a interceptação da vegetação (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores médios (mm) e percentuais (% da precipitação total), para a precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação pelo dossel (I) da água da chuva, para espécies vegetais do domínio de Caatinga, para o município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

Espécie	Pi (mm)	Et (mm)	I (mm)	Pi (%)	Et (%)	I (%)
<i>S. tuberosa</i>	1,43	0,01	4,09	82,5	0,5	17,0
<i>C. leptophloeos</i>	1,59	0,01	1,02	86,3	0,5	13,2
<i>C. quercifolius</i>	1,32	0,01	6,00	82,7	0,4	16,8
<i>A. pyrifolium</i>	1,36	0,01	5,20	78,5	0,5	21,0
<i>C. pyramidale</i>	1,37	0,01	5,12	84,2	0,3	15,6
<i>M. urundeuva</i>	1,20	0,01	8,20	81,7	1,0	17,3
<i>S. brasiliensis</i>	1,33	0,00	5,89	86,1	0,2	13,7
Caatinga	1,37	0,01	5,07	83,14	0,49	16,37

As distribuições da chuva em relação a quantidade, se mostraram significativas e positivas com todos os componentes da partição da chuva (precipitação interna, escoamento do tronco e interceptação) (Figura 5). A duração da chuva foi significativa ( $p < 0,001$ ), com a  $P_i$  e  $E_t$ , porém não apresentou diferença significativa com algumas espécies, quanto a interceptação da chuva. Os resultados da análise de regressão, para a quantidade de chuva ou precipitação total, indicaram que ( $P_i$ ,  $E_t$  e  $I$ ), foram linearmente significativos e correlacionados ( $0,20 < R^2 < 0,90$ ;  $p < 0,001$ ), apresentando bons ajustes para a precipitação interna (Figura 5 a, b, c). De acordo com o ajuste das equações, para o bioma Caatinga, a precipitação total gera precipitação interna a partir de 0,74 mm de chuva, podendo ser considerado como a capacidade de armazenamento de água do dossel da Caatinga.

A intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ) conseguiu explicar as variações na precipitação interna ( $p < 0,001$ ), com tendência positiva (Figura 5 e), enquanto para o escoamento do tronco, foi obtido menor ajuste entre as variáveis ( $R^2 = 0,002$ ) (Tabela 4 e figura 5 e). Quanto a duração da chuva (h), foram obtidas relações positivas significativas com os componentes ( $P_i$  e  $E_t$ ) ( $p < 0,001$ ), no entanto, obteve-se uma relação fraca para a componente interceptação.



**Figura 5.** Partição da chuva em precipitação interna ( $P_i$ ), escoamento pelo tronco ( $E_t$ ) e Interceptação pelo dossel ( $I$ ) em função da Precipitação total (a, b, e c), Intensidade da chuva (d, e, f) e Duração da chuva (g, h e i), para as espécies da Caatinga, no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

As relações significativas obtidas pelo ajuste das regressões lineares entre os componentes da partição da chuva e suas características, para as sete espécies mais predominantes da área de estudo, está presente na Tabela 4. A precipitação interna apresentou tendências significativas para todas as espécies vegetais, com as relações de precipitação total, duração e intensidade da chuva ( $p < 0,001$ ). O primeiro caso apresentou maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,83$ ) (Tabela 4).

Os resultados mostraram diferentes capacidades de armazenamento do dossel pelas espécies. A espécie *C. quercifolius* se mostrou superior no armazenamento de água do dossel, enquanto a *M. urundeuva* teve o menor valor de armazenamento (Tabela 4). A partir das características da chuva foi possível explicar as diferenças dos valores encontrados para todas as espécies, mediante a componente escoamento pelo tronco. Fazendo com que as relações com as precipitações totais promovessem ajustes de ( $0,20 < R^2 < 0,63$ ). Quanto as características, duração e intensidade da chuva, as relações foram significativas e fracas para o escoamento pelo tronco das espécies monitoradas, com exceção das espécies *C. quercifolius* e *A. pyrifolium* que não apresentaram diferença significativa com a intensidade da chuva (Tabela 4).

Para a componente interceptação de água da chuva, os menores ajustes com as características da chuva foram para a duração e intensidade da chuva para todas as espécies. Com baixos valores de coeficientes de determinação (Tabela 4). A espécie *C. quercifolius*, não apresentou diferença significativa desta componente com a duração e intensidade da chuva.

**Tabela 4.** Equações de regressões lineares entre os componentes do particionamento da chuva (precipitação interna, escoamento do tronco e interceptação) associadas as características da chuva (quantidade, duração e intensidade), em sete espécies vegetais da Caatinga, no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

	Espécies	Equações com PT	R <sup>2</sup>	Equações com DC	R <sup>2</sup>	Equações com IC	R <sup>2</sup>
	<i>S. tuberosa</i>	$y = 1,144 + 0,835.X^{***}$	0,83	$y = 16,845 + 8,437.X^{***}$	0,30	$y = 15,543 + 3,402.X^*$	0,13
	<i>C. leptophloeos</i>	$y = -2,737 + 1,054.X^{***}$	0,85	$y = 16,201 + 11,371.X^{***}$	0,33	$y = 12,164 + 4,499.X^{**}$	0,14
	<i>C. quercifolius</i>	$y = 2,187 + 0,737.X^{***}$	0,87	$y = 15,778 + 7,666.X^{***}$	0,32	$y = 12,192 + 3,341.X^{**}$	0,17
Pi	<i>A. pyrifolium</i>	$y = 0,763 + 0,805.X^{***}$	0,89	$y = 16,127 + 7,962.X^{***}$	0,29	$y = 9,914 + 3,830.X^{**}$	0,19
	<i>C. pyramidale</i>	$y = 1,870 + 0,775.X^{***}$	0,89	$y = 16,241 + 8,014.X^{***}$	0,31	$y = 10,533 + 3,789.X^{**}$	0,19
	<i>M. urundeuva</i>	$y = 0,088 + 0,731.X^{***}$	0,89	$y = 13,533 + 7,646.X^{***}$	0,32	$y = 9,142 + 3,412.X^{**}$	0,17
	<i>S. brasiliensis</i>	$y = -1,035 + 0,845.X^{***}$	0,88	$y = 14,385 + 8,910.X^{***}$	0,32	$y = 8,449 + 4,226.X^{**}$	0,19
	Caatinga	$y = 0,794 + 0,823.X^{***}$	0,90	$y = 16,048 + 8,493.X^{***}$	0,32	$y = 11,150 + 3,829.X^{**}$	0,18
	<i>S. tuberosa</i>	-	-	-	-	-	-
	<i>C. leptophloeos</i>	-	-	-	-	-	-
	<i>C. quercifolius</i>	$y = 0,058 + 0,003.X^{***}$	0,20	$y = 0,100 + 0,030.X^{**}$	0,09	$y = 0,147 + 0,002.X$	0,002
Et	<i>A. pyrifolium</i>	$y = -0,019 + 0,007.X^{***}$	0,49	$y = 0,099 + 0,091.X^{***}$	0,25	$y = 0,104 + 0,025.X$	0,06
	<i>C. pyramidale</i>	$y = -0,028 + 0,004.X^{***}$	0,63	$y = 0,041 + 0,053.X^{***}$	0,32	$y = 0,027 + 0,019.X^*$	0,10
	<i>M. urundeuva</i>	$y = 0,126 + 0,003.X^{***}$	0,34	$y = 0,178 + 0,025.X^{**}$	0,10	$y = 0,159 + 0,014.X^{**}$	0,15
	<i>S. brasiliensis</i>	$y = 0,021 + 0,001.X^{***}$	0,52	$y = 0,052 + 0,008.X^{**}$	0,07	$y = 0,040 + 0,005.X^*$	0,11



Caatinga	$y = 0,024 + 0,003.X^{***}$	0,55	$y = 0,068 + 0,029.X^{***}$	0,23	$y = 0,068 + 0,009.X$	0,08
<i>S. tuberosa</i>	$y = 1,009 + 0,237.X^{***}$	0,59	$y = 6,464 + 1,606.X^{**}$	0,09	$y = 3,376 + 0,929.X^{**}$	0,19
<i>C. leptophloeos</i>	$y = 2,314 + 0,109.X^{***}$	0,22	$y = 5,381 + 0,296.X$	0,005	$y = 3,754 + 0,316.X$	0,04
<i>C. quercifolius</i>	$y = -1,709 + 0,278.X^{***}$	0,60	$y = 4,788 + 1,819.X^{**}$	0,08	$y = 1,081 + 1,114.X^{**}$	0,15
I <i>A. pyrifolium</i>	$y = 0,331 + 0,248.X^{***}$	0,57	$y = 6,511 + 1,309.X^*$	0,05	$y = 2,993 + 0,930.X^{**}$	0,15
<i>C. pyramidale</i>	$y = -0,954 + 0,235.X^{***}$	0,50	$y = 4,824 + 1,317.X^*$	0,05	$y = 1,566 + 0,880.X^*$	0,13
<i>M. urundeuva</i>	$y = 1,178 + 0,261.X^{***}$	0,55	$y = 7,469 + 1,550.X^{**}$	0,06	$y = 3,325 + 1,122.X^{**}$	0,18
<i>S. brasiliensis</i>	$y = 2,142 + 0,184.X^{***}$	0,35	$y = 7,193 + 0,597.X$	0,01	$y = 4,957 + 0,439.X^*$	0,06
Caatinga	$y = 0,735 + 0,158.X^{***}$	0,29	$y = 5,419 + 0,242.X$	0,002	$y = 3,839 + 0,270.X$	0,02

Pi: precipitação interna (mm); Et: escoamento do tronco (mm); I: interceptação do dossel (mm); PT: precipitação total (mm); DC: duração da chuva (h); IC: intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

\*\*\*: nível de significância a 0,0001 de probabilidade, \*\*: nível de significância a 0,001 de probabilidade, \*: nível de significância a 0,05 de probabilidade

#### 4. DISCUSSÕES

Para este estudo, foi possível observar que a ocorrência de precipitações menores ou iguais a 10 mm, com duração em torno de 2 h e intensidade menores ou iguais a  $5 \text{ mm h}^{-1}$  são mais frequentes (Figura 4). Mostrando que estes resultados influenciam diretamente na maneira de como a partição da chuva interage ao entrar em contato com o dossel das espécies vegetais.

A precipitação interna é uma variável dependente da precipitação total, em que, durante os eventos de chuva, mostrou-se bastante variável, com o padrão semelhante a precipitação incidente. O escoamento do tronco foi a componente que apresentou menor proporção em relação aos volumes de precipitações. Contudo, apesar de pequeno, é um ponto de entrada localizada de água para as camadas mais profundas do solo e essa água fica disponível para as raízes das plantas (ZHANG et al., 2015a).

O comportamento nos níveis de interceptação é resultado, dentre outros fatores, das características distintas das chuvas locais que ocorrem tanto no período chuvoso, quanto no período seco. Durante o período chuvoso, após a ocorrência das primeiras chuvas, a vegetação começa a desenvolver suas folhas, resultando em maior proporção de chuva interceptada. Enquanto que, no período seco, existe menos eventos de chuva. Além desse fato, a vegetação perde suas folhas, deixando as árvores com menor capacidade para armazenar e interceptar a

água. Ávila et al. (2014) constataram que durante o período seco a precipitação interna foi significativamente maior, quando comparado ao período chuvoso. Esses autores também associaram este comportamento à formação florestal semidecídua, com perda das folhas durante o período seco do ano. Demonstrando que as componentes (Pi e I) correlacionam-se com as características do dossel da vegetação.

Existe inúmeros fatores que controlam a distribuição da água da chuva, quando esta interage com as copas das plantas, comportando-se de maneira distinta entre os mais diversos tipos de vegetação, manejo do bioma, mudança no uso da terra, características das chuvas, condições meteorológicas e outras (ANTONELI et al., 2021; ÁVILA et al., 2014; BRASIL et al., 2017). Espécies que apresentam baixo índice de cobertura vegetal, possuem menores taxas de interceptação. Isto sugere que as características individuais das espécies, como projeção da copa, distribuição das folhas e galhos, densidade do caule, dentre outras, sejam bons indicativos para determinação da partição da chuva (LIMIN et al., 2015; SIEGERT et al., 2016).

He et al. (2014), estudando o comportamento espacial da interceptação de água pelo dossel, verificaram que a interceptação e o índice de área da planta são meramente influenciados pelas espécies de plantas estudadas. Indicando que a variação espacial do dossel é o principal fator que afeta distribuição da água interceptada. Zhang et al. (2018), associando os componentes (Pi, Et e I) com as variáveis meteorológicas, encontraram correlações significativas e fraca entre a precipitação interna e a umidade relativa do ar, e forte relação significativa com o déficit de pressão de vapor d'água.

O volume acumulado da precipitação pluviométrica total incidente de 1.972,71mm, resultou percentuais de precipitação interna, escoamento do tronco e interceptação iguais a 83,14%, 0,49% e 16,37%, respectivamente (Tabela 3). Brasil et al. (2017) encontram valores aproximados em área de Caatinga em regeneração, com valores de Pi, Et e I iguais a 79,6%, 2,0% e 18,4%, nesta ordem. Izídio et al. (2013) reportaram valores de Pi de 76,9%, Et de 5,9% e I igual a 17,9% da precipitação total incidente, em área de Caatinga preservada a 30 anos. Estes dois últimos estudos foram conduzidos na região semiárida do Ceará.

Constata-se ainda que os resultados encontrados neste estudo de vegetação Caatinga, se comparam a outros trabalhos realizados para vegetação em diferentes regiões climáticas, diferentes tipos de vegetação e manejo destas florestas. Comparando os valores encontrados nesse estudo com outras regiões, nota-se que a precipitação interna é a principal forma de entrada de água nas florestas, com valores variando de 74,3% a 84,9% (FAN et al., 2014; MOURA et al., 2009; SARI; PAIVA; PAIVA, 2016). Segundo estes autores o escoamento no

tronco representa de 0,4% a 2,0% da precipitação total, enquanto os percentuais de interceptação ficam na faixa de 12,7% a 16,4%.

Considerando as características e a composição das espécies de Caatinga monitorada neste estudo, a precipitação interna para a espécie *A. pyrifolium* teve um percentual de (78,5%), sendo inferior as demais espécies. Enquanto que a interceptação representou valor percentual de (21%). Neste caso à *A. pyrifolium* indica ser mais eficiente na interceptação de água da chuva pelo dossel, quando comparada as demais espécies listadas nesta pesquisa. Segundo Sadeghi et al. (2016), estes resultados são interessantes para recomendar espécies de plantas para projetos de recuperação de áreas degradadas, com o intuito de reduzir o escoamento do solo e minimizar a erosão. Pois esta planta apresenta características para interceptar mais água que as demais espécies.

As características das chuvas, precipitação total e intensidade estão significativamente relacionadas com os componentes precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação. Mostrando que chuvas com maiores volumes e intensidades são mais efetivas na geração de fluxos destes componentes (Figura 5 e Tabela 4), reduzindo assim, a interceptação de água da vegetação pelo dossel. Por outro lado, pequenos volumes de precipitação podem não ser suficientes para saturar totalmente as copas das árvores, resultando em menores valores de precipitação interna e escoamento pelo tronco. Neste caso, quanto maior o volume e a intensidade das chuvas, maior os fluxos de água que são conduzidos para o solo, indicando que o dossel das plantas atingiu seu armazenamento máximo (ZHANG et al., 2015b).

As características da chuva, (precipitação total, duração e intensidade), explicam o comportamento das componentes responsáveis pela partição da chuva para a vegetação de Caatinga (Figura 5 e Tabela 4). Sendo a precipitação total a componente mais significativa na presente pesquisa, corroborando com outros trabalhos, em que a PT é a responsável pela geração dos fluxos de precipitação interna e escoamento do tronco (ANTONELI et al., 2021; BRASIL et al., 2017; QUEIROZ et al., 2020; WHITWORTH-HULSE et al., 2020; ZHANG et al., 2018, 2015b).

## 5. CONCLUSÕES

O monitoramento dos 167 eventos chuvosos nesta área de vegetação Caatinga, indica que a precipitação interna, o escoamento do tronco e as perdas por interceptação correspondem a 83,14%, 0,49% e 16,37% da precipitação, respectivamente. A espécie *A. pyrifolium* foi a mais

eficiente na interceptação de água da chuva pelo dossel, quando comparada as demais espécies. Estudos desta natureza precisam ser intensificados, pois não é fácil extrair conclusões sobre a influência da vegetação nas perdas por interceptação, porque estas dependem também das características da chuva, condições meteorológicas e características da floresta que influenciam, não sendo fáceis de identificar e quantificar.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo do primeiro autor. Ao GAS – Grupo de Agrometeorologia no Semiárido pelo auxílio em campo durante a pesquisa. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) [309421 / 2018-7 e 152251 / 2018-9] pelo apoio financeiro.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANTONELI, V. et al. Stemflow and throughfall in agricultural crops: a synthesis. **Revista Ambiente e Agua**, v. 16, n. 1, 2021.

ÁVILA, L. F. et al. Partitioning of pluvial precipitation in a watershed occupied by atlantic forest in Mantiqueira range, MG state. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 583–595, 2014.

BRASIL, J. B. et al. CARACTERÍSTICAS DAS CHUVAS E INTERCEPTAÇÃO VEGETAL NO BIOMA CAATINGA. **Irriga, Botucatu**, v. 22, n. 1808–3765, p. 560–574, 2017.

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

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stem flow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. v. 2920, n. April 1999, p. 2903–2920, 2000.

DONG, L. et al. Rainfall Partitioning in Chinese Pine ( *Pinus tabuliformis* Carr .) Stands at Three Different Ages. 2020.

DÓRIA, L. C. et al. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism

than in the Cerrado ? Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado ? **Flora**, v. 224, n. December 2018, p. 244–251, 2016.

FAN, J. et al. Measuring and modeling rainfall interception losses by a native *Banksia* woodland and an exotic pine plantation in subtropical coastal Australia. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 156–165, 2014.

FERNANDES, M. M. et al. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. **Land Use Policy**, v. 99, n. June, p. 104795, 2020.

FILHO, J. C. R. et al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Partitioning of rainfall into throughfall , stemflow , and interception loss in the Brazilian Northeastern Atlantic Forest de interceptação vegetal no semiárido nordestino. p. 21–26, 2019.

HE, Z. BIN et al. Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 188, n. 41125002, p. 58–63, 2014.

HULSE, J. I. W. **Efectos de la invasión de *Ligustrum lucidum* sobre la dinámica hídrica en bosques nativos del Chaco Serrano : la interacción entre precipitación , vegetación y suelo.** [s.l.] Universidad Nacional de Córdoba, 2018.

IZIDIO, N. S. DE C. et al. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 7, n. 1, p. 44, 2013.

LIMIN, S. G. et al. Partitioning Rainfall into Throughfall, Stemflow, and Interception Loss in Clove (*Syzygium Aromaticum*) Plantation in Upstream Saba River Basin, Bali. **Procedia Environmental Sciences**, v. 28, n. Sustain 2014, p. 280–285, 2015.

MOURA, A. E. S. S. DE et al. Rainfall interception in an Atlantic forest fragment in the Prata basin, Recife, PE. **Revista Arvore**, v. 33, n. 3, p. 461–469, 2009.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. **Ecohydrology & Hydrobiology**, n. xxxx, p. 1–13, 2020.

RIBEIRO FILHO, J. C. et al. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region Brazil. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 468–478, 2017.

RODRIGUES, J. O. et al. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. v. 17, n. March, p. 312–318, 2013.

SADEGHI, S. M. M. et al. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran.

**Science of the Total Environment**, v. 568, p. 845–855, 2016.

SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D. DE; PAIVA, J. B. D. DE. Intercepção da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 65–79, 2016.

SIEGERT, C. M. et al. Small-scale topographic variability influences tree species distribution and canopy throughfall partitioning in a temperate deciduous forest. **Forest Ecology and Management**, v. 359, n. February, p. 109–117, 2016.

SWAFFER, B. A. et al. Rainfall partitioning, tree form and measurement scale: A comparison of two co-occurring, morphologically distinct tree species in a semi-arid environment. **Ecohydrology**, v. 7, n. 5, p. 1331–1344, 2014.

VERNIMMEN, R. R. E. et al. Rainfall interception in three contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia. **Journal of Hydrology**, v. 340, n. 3–4, p. 217–232, 2007.

WHITWORTH-HULSE, J. I. et al. Advantages of rainfall partitioning by the global invader *Ligustrum lucidum* over the dominant native *Lithraea molleoides* in a dry forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 290, n. April, p. 108013, 2020.

ZHANG, Y. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **JOURNAL OF HYDROLOGY**, v. 527, p. 1084–1095, 2015a.

ZHANG, Y. F. et al. Meteorological influences on process-based spatial-temporal pattern of throughfall of a xerophytic shrub in arid lands of northern China. **Science of the Total Environment**, v. 619–620, p. 1003–1013, 2018.

ZHANG, Y. FENG et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 1084–1095, 2015b.

ZHENG, J. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by maize canopy on the semi-arid Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 25–36, 2018.