



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE AGRONOMIA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO CONSÓRCIO
PALMA-SORGO**

Serra Talhada – PE
2019

CLEBER PEREIRA ALVES

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO CONSÓRCIO
PALMA-SORGO**

Monografia apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito básico para conclusão do curso e obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva

Serra Talhada – PE
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada - PE, Brasil.

A474e Alves, Cleber Pereira

Evapotranspiração e coeficiente de cultura do consórcio palma-sorgo / Cleber Pereira Alves. – Serra Talhada, 2019.
54 f.: il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2019.
Inclui referências.

1. Evapotranspiração. 2. Plantas forrageiras. 3. Semiárido brasileiro.
I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Título.

CDD 630

CLEBER PEREIRA ALVES

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO CONSÓRCIO
PALMA-SORGO**

Monografia apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito básico para conclusão do curso e obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

APROVADO em _____ de _____ de _____.

José Francisco da Cruz Neto - UFRPE
Examinador

Luciana Sandra Bastos de Souza – UFRPE
Examinadora

Thieres George Freire da Silva
Orientador

SERRA TALHADA
PERNAMBUCO – BRASIL

A toda minha família, em especial meus pais, Lúcia de Fátima Pereira Alves e Clenaldo Pereira da Conceição, por todo o amor, carinho, paciência, compreensão e conselhos. Por serem meus primeiros professores e amigos, dando-me forças, me incentivando a continuar a minha jornada e alcançar meus objetivos. E que mesmo distantes sempre mantiveram presentes.

Com toda minha admiração e gratidão

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as graças, saúde e força, permitindo que tudo isso acontecesse, nunca me deixando desamparado ao longo da minha vida.

Obrigado! As minhas Vós, Tias, Tios, Primos, Madrinhas, Padrinhos e a Seu Ki por toda a contribuição valiosa em minha vida.

A minha irmã, Layane Pereira Alves de Lima, ao meu cunhado, Gilson Luann de Lima Júnior e ao meu sobrinho, Bernardo Alves de Lima, por todo apoio, paciência e compreensão, sempre me incentivando a seguir e nunca desistir.

A minha noiva, Danielle da Silva Eugênio, por todo o amor, carinho, paciência, compreensão, dedicação, companheirismo, respeito e apoio, sempre me motivando e me acompanhando em minha caminhada. Partilhando de todos os momentos, deixando-os cada vez mais felizes.

Ao meu orientador Thieres George da Silva Freire, por toda orientação, oportunidade, conselhos e confiança, estando presente para sanar dúvidas, sempre empenhado e dedicado com a sua profissão, sendo um exemplo a seguir.

A Alexandre Maniçoba e Hygor Kristoph por todo o apoio, paciência e esforço, sempre dedicados e disponíveis para tirar dúvidas, estando sempre dispostos a ensinar e partilhar de seu conhecimento, auxiliando de maneira positiva em minha vida acadêmica e profissional.

Aos meus colegas de turma, em especial, Antônio Marcos, Baltazar Cirino, Fábio Eraclito e Genicelio Cordeiro, por todos os momentos vividos, por toda paciência e dedicação, fazendo parte da minha formação e que levarei pra toda a vida.

Agradeço a UFRPE-UAST, por toda oportunidade fornecida, estrutura de ensino e pesquisa, a todo o corpo de docentes por me proporcionar o conhecimento, orientações, incentivos e paciência, sempre dedicados a ensinar e fazer com que o conhecimento nunca fosse limitado.

A todos os membros do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido – GAS, por todo o empenho, dedicação, amizade, ensinamentos e apoio.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha jornada, auxiliando para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Muito obrigado a todos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista da área de cultivo de palma forrageira e sorgo, na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, município de Serra Talhada-PE. Fonte: Google Maps®.....	24
Figura 2. Valores de Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), em ambiente semiárido, no período de novembro de 2014 a novembro de 2015, no município de Serra Talhada, PE.	35
Figura 3. Lâminas de irrigação por período aplicadas com base em percentuais da ETo (mm) e Precipitação pluvial (mm), em ambiente cultivado com palma forrageira consorciada com sorgo, no período de janeiro a novembro de 2015.	36
Figura 4. Valores acumulados de drenagem profunda (mm) (A); ascensão capilar (mm) (B); variação de armazenamento (mm) (C); e evapotranspiração real (mm) (D) em função das lâminas de irrigação, durante o período experimental.	37
Figura 5. Variação dos valores de evapotranspiração real diária (mm) (A); e coeficiente da cultura (B), em função da aplicação de diferentes lâminas de irrigação, no consorcio palma-sorgo.	41
Figura 6. Flutuação da evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e do coeficiente de cultura (K_c), sob a lâmina de 75% da ETo, em função dos períodos, da palma forrageira e do sorgo sob sistema de cultivo consorciado, durante o período experimental.....	42
Figura 7. Taxa de índice de área de cladódio (IAC) e delimitação das fenofases do sistema palma-sorgo em função dos graus dias acumulados, sob lâmina de 75% da ETo, em ambiente semiárido, durante o período experimental, no município de Serra Talhada – PE. F1 – Fenofase 1; F2 – Fenofase 2; F3 – Fenofase 3; F4 – Fenofase 4.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicoquímicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso cultivado com palma forrageira (<i>Opuntia stricta</i>) cv. Orelha de Elefante Mexicana, sob sistema consorciado com sorgo, em ambiente semiárido, Serra Talhada, PE	27
Tabela 2. Data inicial e final de cada período de acumulo dos componentes do balanço de água no solo, de janeiro a novembro de 2015, Serra Talhada-PE.	32
Tabela 3. Valores médios do coeficiente de cultura (K_c), em função da fenofase, para o sistema de cultivo consorciado palma-sorgo, sob a lâmina de 75% da Eto, em ambiente semiárido, Serra Talhada-PE.	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	13
2.1 Caracterização ambiental	13
2.2 Palma forrageira e convivência com o semiárido	15
2.3 Sistemas de cultivo e o uso de irrigação	18
2.4 Sorgo e sua importância no cenário agrícola do semiárido	19
2.5 Evapotranspiração e balanço de água no solo.....	22
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 Objetivo geral	23
3.2 Objetivos específicos	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Descrição da área experimental	24
4.2 Material vegetal, tratos culturais e tratamentos utilizados.....	25
4.3 Características físico-hídricas do solo	26
4.4 Monitoramento das variáveis ambientais.....	27
4.5 Monitoramento do conteúdo de água no solo	28
4.6 Balanço de água no solo	28
4.7 Delimitação dos estádios fenológicas	33
4.8 Análise produtiva	33
4.9 Análise estatística	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÕES.....	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

RESUMO

O Nordeste brasileiro possui características marcantes, como a presença do clima semiárido, caracterizado por apresentar baixos índices pluviométricos, com distribuição irregular de chuva, elevada temperatura do ar e baixa umidade relativa, influenciando diretamente na demanda evapotranspirativa. A implantação de culturas adaptadas ao clima, o uso de irrigação e adoção de consórcio são alternativas para mitigar as condições adversas. A determinação da evapotranspiração e do coeficiente de uma cultura também influenciam de maneira significativa nos fatores de produção, uma vez que em monocultivos os valores são normalmente inferiores, quando comparada a cultivos consorciados, porém em consórcio palma-sorgo essa tendência pode não ser observada. Objetivou-se, neste estudo, quantificar a evapotranspiração real (ET_r) e da cultura (ET_c) e o coeficiente de cultura (K_c) da palma forrageira sob cultivo consorciado com sorgo no Sertão pernambucano. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, no município de Serra Talhada, PE, no período de novembro de 2014 a novembro 2015, referente ao quarto ciclo da palma. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, compreendendo cinco lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência - ETo), sob sistema de cultivo consorciado palma/sorgo, com quatro repetições. O clone de palma forrageira utilizado foi a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e o cultivar de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench SF 15. A quantificação da ET_r e, logo, da ET_c, foi realizada através do resíduo do balanço de água no solo (BAS) em intervalos de 14 dias, totalizando 21 períodos, com a mensuração dos componentes: variação de armazenamento de água no solo (ΔA), precipitação pluvial (P), irrigação (I) e fluxo vertical de água no solo ($Q = \text{Ascensão capilar} - \text{AC ou Drenagem profunda} - \text{DP}$). As determinações da ET_c e do K_c foram realizadas com base na lâmina de 75% da ETo, uma vez que nesta condição o sistema palma/sorgo apresentou maior rendimento. Os componentes do BAS foram submetidos a análise de regressão, sendo testados modelos polinomiais. O valor médio da ETo foi igual a 5,2 mm dia⁻¹, para o período experimental, influenciando diretamente nas lâminas de irrigação. Os valores de irrigação somados à precipitação pluvial foram iguais a 418,2; 614,5; 764,8; 904,4; 1040,2 mm para as lâminas de 0, 25, 50, 75 e 100 % da ETo, respectivamente. A ET_r, a DP e a AC obtiveram tendência linear crescente com a aplicação das lâminas de irrigação, já a ΔA obteve um comportamento quadrático, com pico máximo para a lâmina de 75% da ETo (-5,7 mm ano⁻¹). A ET_c e o coeficiente de cultura para o cultivo consorciado palma-sorgo foi igual a 3 mm dia⁻¹ e 0,64, respectivamente. Os componentes do balanço de água no solo são influenciados pela aplicação de água no sistema consorciado palma-sorgo.

Palavras-chave: Balanço de água no solo; *Opuntia stricta*; Semiárido

ABSTRACT

The Brazilian Northeast has significant characteristics, characterized by low rainfall indices with irregular rainfall distribution, high air temperature and low relative humidity, directly influencing evapotranspirative demand. The implementation of crops adapted to climate, the use of irrigation and the adoption of consortium are alternatives to mitigate the adverse conditions. The determination of evapotranspiration and the coefficient of a crop also influence significantly the factors of production, since in monocultures the values are usually lower when compared to intercropped crops, but in a palm-sorghum consortium this trend may not be observed.. The objective of this study was to quantify the actual evapotranspiration (ET_r) and the crop (ET_c) and the cultivation coefficient (K_c) of the forage palm under cultivation intercropped with the sorghum in the Pernambuco Sertão. The experiment was conducted at the Lauro Ramos Bezerra Experimental Station, belonging to the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, in the municipality of Serra Talhada, PE, from November 2014 to November 2015, referring to the fourth palm cycle. The design was used in randomized blocks, comprising five irrigation blades (0, 25, 50, 75 and 100% of reference evapotranspiration-ET_o), under a consortium system forage cactus-sorghum, with four replicates. The forage cactus clone used was the Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) and sorghum grow crops *Sorghum bicolor* (L.) Moench SF 15. The quantification of ET_r and, therefore, ET_c, was carried out through the soil water balance (BAS) at 14 day intervals, totalizing 21 periods, with the measurement of the components: soil water storage variation (ΔA), rainfall (P), irrigation (I) and vertical flow of water in the soil ($Q = \text{capillary ascension} - \text{AC or deep drainage} - \text{DP}$). The ET_c and K_c determinations were performed based on the 75% ET_o slide, since in this condition the palm / sorghum system presented higher yield. The BAS components were submitted to regression analysis, and polynomial models were tested. The mean ET_o value was 5.2 mm dia⁻¹, for the experimental period, directly influencing the irrigation depths. The irrigation values added to the rainfall were equal to 418.2; 614.5; 764.8; 904.4; 1040.2 mm for the slides of 0, 25, 50, 75 and 100% of ET_o, respectively. ET_r, DP and AC increased linearly with the application of irrigation slides, whereas ΔA obtained a quadratic behavior, with maximum peak for the 75% of ET_o (-5.7 mm year⁻¹). The ET_c and the cultivation coefficient for the palm-sorghum intercropping were equal to 3 mm day⁻¹ and 0.64, respectively. The soil water balance components are influenced by the application of water in the forage cactus-sorghum consortium system.

Key words: Soil water balance; *Opuntia stricta*; semi-arid

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro tem como característica marcante a presença do clima semiárido, o qual apresenta precipitação pluvial média inferior a 800 mm ano⁻¹, distribuição irregular de chuva, elevadas temperaturas do ar e baixa umidade relativa, que em conjunto, causam déficit hídrico no solo em diversos períodos do ano (SILVA et al., 2015a; SANTOS et al., 2017). Essas condições dificultam a produção de forragem, principalmente em períodos de estiagem, fazendo-se necessário a implantação de culturas que apresentem tolerância e adaptabilidade às elevadas temperaturas do ar e baixos regimes pluviométricos, a fim de mitigar tais adversidades (MAIA; GURGEL, 2013).

Como alternativa para atenuar os baixos rendimentos da produção de forragem no Semiárido, destaca-se o cultivo da palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.), adaptada as condições edafoclimáticas da região, devido suas características morfofisiológicas, é uma relevante fonte de suprimento alimentar para animais nos períodos secos do ano (SILVA et al., 2014; AMORIM et al., 2017).

Embora apresente características adaptativas e boa aceitabilidade pelos animais da região, o baixo teor de fibras da palma forrageira remete a necessidade de incrementar, em seu fornecimento, outras culturas que possibilitem suprir esse déficit (SANTOS; SANTOS, 2018). Dentre essas alternativas, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma opção, por apresentar elevados teores de fibra, adaptações às condições adversas e alta produção de biomassa (AGUIAR et al., 2015).

Suas características bromatológicas satisfatórias, aliada a adaptação às condições deficitárias, faz do sorgo uma importante escolha em regiões áridas e semiáridas, proporcionando altas produtividades de biomassa e capacidade de rebrota, e maior vantagem quando comparada a outras culturas de metabolismo C4 (SILVA et al., 2017).

Assim, para maximizar os níveis de produtividade, o emprego adequado do manejo de cultivos é de grande relevância, uma vez que, auxiliam no aumento gradativo da produção das culturas implantadas (ERKOSSA; WILLIAMS; LAEKEMARIAM, 2018). Nesse contexto, a adoção de sistema consorciado e o uso de irrigação, possibilitam melhorias no desenvolvimento e produtividade das culturas (DINIZ et al., 2017).

O cultivo de duas ou mais culturas de espécies diferentes, em mesma área, simultaneamente, denominado de sistema consorciado, consiste na redução, de forma pronunciável, dos riscos advindos da irregularidade das chuvas da região (SOUZA et al., 2011). E aliada a prática de consórcio está a irrigação, suprimindo a demanda hídrica das culturas, atingindo elevadas produtividades (DINIZ et al., 2017).

Dentre os cultivos consorciados da palma forrageira, o mais empregado é a configuração palma-sorgo, sob cultivo sequeiro, havendo poucos estudos quanto a aplicação de lâminas de irrigação nesse sistema, o qual pode maximizar a produção, quando comparado a sistema exclusivo irrigado, aumentando a eficiência do sistema de cultivo, o qual é dependente da evapotranspiração (LIMA et al., 2018).

Para melhor eficiência do sistema de cultivo e rentabilidade da lavoura, o conhecimento sobre a evapotranspiração real e o coeficiente de cultura, são indicativos indispensável que auxiliando de forma significativa nos fatores de produção, planejamento agrícola, outorga de água, dimensionamento e práticas de irrigação, desempenhando um papel de extrema importância na agricultura (COSTA et al., 2017).

A evapotranspiração e o coeficiente de cultura em monocultivos, normalmente são inferiores aos de cultivos consorciados, porém em consórcio palma-sorgo essa tendência pode não ser observada, isso devido ao horário de transpiração das culturas, onde a palma transpira durante a noite e o sorgo no período diurno (LIMA et al., 2018).

Diante do exposto, poucos são os estudos na literatura que determinam a quantificação da evapotranspiração real em cultivos consorciados palma-sorgo, sendo necessária sua realização com intuito de constatar qual o sistema de cultivo adequado em relação à perda de água para o ambiente, buscando uma melhor escolha em relação aos recursos disponíveis.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização ambiental

As Zonas áridas e semiáridas são bastante difundidas e diversificadas no mundo e quando somadas com as regiões desérticas, representam 55% do território global. O Brasil representa uma das três maiores áreas de semiárido da América do Sul, com

maior índice populacional e maior regime pluviométrico, quando comparada com outras regiões semiáridas (CAMPOS et al., 2017).

O Nordeste brasileiro apresenta uma extensão territorial de aproximadamente 1,8 milhão de km², representando 20% do território nacional (TOMASELLA et al., 2018), tendo por característica principal possuir o clima Semiárido, que compreende 1,03 milhões de km², correspondendo a 11% do território brasileiro, abrangendo nove estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e uma parte de Minas Gerais), apresentando distribuição irregular de chuvas, de forma espaço-temporal, bem como elevada evapotranspiração, ocasionando dessa forma eventos extremos como secas e cheias (CABRAL et al., 2016; SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2017; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017).

Dos nove Estados abrangidos, Pernambuco possui 88% de sua área caracterizada pelo clima Semiárido, sendo composto por nove regiões de desenvolvimento, dentre elas o Agreste Setentrional, Agreste Central, Agreste Meridional, Sertão do Moxotó, Sertão do Pajeú, Sertão de Itaparica, Sertão Central, Sertão do Araripe e Sertão do São Francisco, e cinco mesorregiões sendo elas Zona Metropolitana, Zona da Mata, Agreste, Sertão e Sertão do São Francisco, as quais apresentam diversificação quanto ao clima (CARVALHO et al., 2017a; SILVA et al., 2018).

De acordo com a classificação climática de Köppen, podem ser citados três climas predominantes no semiárido brasileiro, sendo eles BShs' – semiárido, com estação chuvosa no outono e inverno, apresentando precipitações concentradas nos meses de maio e junho; BShw – semiárido, com estação chuvosa no verão e precipitações compreendendo os meses de dezembro e janeiro; BShw' – semiárido, com estação chuvosa no verão e no outono e precipitações concentradas nos meses de março e abril (PEREIRA FILHO; SILVA; CÉZAR, 2013; ALVARES et al., 2013). Dessa forma, o período com índices pluviométricos mais satisfatórios abrange apenas quatro meses do ano, enquanto o seco, oito meses, induzindo uma maior demanda quanto à evapotranspiração potencial, acarretando estresse hídrico às espécies vegetais (SOUZA et al., 2015a).

A redução do regime pluviométrico e a elevação da sazonalidade são ocasionadas pelas mudanças climáticas, refletindo em um aumento extensivo nas regiões áridas e semiáridas do planeta (SILVA et al., 2017). A variação espaço-temporal

da precipitação pluvial é uma característica marcante da região semiárida, uma vez que é ocasionada por diversos fatores, desde relevo até massa de ar, que prevalecem na região (SILVA et al., 2017). Sendo essa região caracterizada por apresentar, predominantemente, solos com baixa profundidade e baixa capacidade de retenção de água, com a presença de vegetação do tipo caatinga, que recobre quase toda a região do semiárido brasileiro (SOUZA et al., 2015a).

As secas ocasionadas pelos longos períodos de estiagem acarretam efeitos negativos na produção agrícola, devido ao déficit hídrico, refletindo em elevados prejuízos à agricultura de sequeiro (COUTINHO et al., 2013; BACALHAU et al., 2017). Uma das muitas atividades prejudicadas pelas condições climáticas do semiárido é a pecuária, que possui extrema importância econômica na região, explorada em grande maioria de forma extensiva, servindo como fonte de subsistência para a população residente (COUTINHO et al., 2013).

No semiárido brasileiro a criação de bovino, ovino e caprino está inclusa dentro da atividade de maior importância econômica para a região, uma vez que as interferências climáticas influenciam na oferta de pastagem nativa, observa-se uma redução na produtividade do rebanho, sendo necessário o incremento de insumos externos, elevando dessa forma os custos e inviabilizando a produção (CAMPOS et al., 2017). Tanto os prejuízos no setor de produção agrícola quanto no pecuário se devem a essas condições adversas, que influenciam de maneira direta no crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, refletindo assim em perdas (SÁ JÚNIOR, 2018).

2.2 Palma forrageira e convivência com o semiárido

A vegetação caatinga é constituída, em sua maioria, por espécies de plantas lenhosas, arbustivas e herbáceas (sendo essas mais abundantes nos períodos de maior disponibilidade hídrica), que servem como principal fonte de alimento para os rebanhos, criados de forma extensiva (OLIVEIRA et al., 2010; CAMPOS et al., 2017). Mesmo apresentando valores nutricionais satisfatórios para os animais, em períodos secos a produção de forragem é inviabilizada, reduzindo de maneira significativa à

sustentabilidade do sistema, sendo necessário o incremento de suplementação, tornando a atividade onerosa (NUNES et al., 2016; LIMA et al., 2017).

Diante das dificuldades na produção de forragem durante todo o ano, torna-se necessário a implantação de culturas que tolerem as condições climáticas e forneçam alimento para todo o rebanho (MAIA; GURGEL, 2013). Surge dessa forma no cenário agrícola a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.), tendo como finalidade a mitigação dos problemas ocasionados pelas variáveis meteorológicas, atuando como alternativa de cultivo adaptada as condições locais, servindo de fonte de alimento, por atender as necessidades energéticas dos animais e quando disponibilizado em alta quantidade, suprimindo a necessidade alimentar dos rebanhos nos períodos secos do ano (ALMEIDA, 2012; SILVA et al., 2014a; LIMA et al., 2017).

A palma forrageira apresenta elevada produção de biomassa fresca em regiões com baixos índices pluviométricos, se comparada a vegetação nativa da caatinga, demonstrando dessa forma sua adaptação às regiões semiáridas (PEIXOTO et al., 2017). A adaptabilidade de uma cultura a uma região se dá pelo seu comportamento, de maneira que as variáveis meteorológicas tenham pouca influência negativa em seu crescimento e desenvolvimento (MEDEIROS et al., 2018). Dessa forma a adaptação da palma está relacionada às suas características morfofisiológicas, proveniente do processo fotossintético Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC).

Para plantas com esse metabolismo (MAC) a energia solar é interceptada durante o dia, ocorrendo à fixação do CO_2 durante a noite (PEIXOTO et al., 2017). Durante o dia os estômatos se mantêm fechados, ocorrendo sua abertura no período noturno, reduzindo de forma expressiva a perda de água para a atmosfera pela transpiração, mantendo os tecidos túrgidos, além de apresentar uma elevada eficiência no uso de água (MARQUES et al., 2017).

O MAC pode ser dividido em quatro fases, onde a fase 1 ocorre no período noturno, quando a temperatura é mais amena e a umidade relativa do ar é mais elevada, quando comparada ao período diurno, ocorrendo a abertura estomática, possibilitando a assimilação de CO_2 , durante essa fase o CO_2 é convertido em HCO_3^- (essa conversão ocorre mediante ação da enzima anidrase carbônica), sendo posteriormente catalisada junto ao fosfoenolpiruvato pela PEPCase, tendo como produto um composto de 4 carbonos (oxalacetato), esse composto é reduzido a malato (havendo o consumo de um

NADH), o malato é transportado e armazenado no vacúolo na forma de ácido málico, na fase 2 ocorre a transição do escuro para o amanhecer, havendo o fechamento estomáticos (LIU et al., 2018).

Já na fase 3, caracterizada pela descarboxilação do malato pela enzima NAD-málica, ocorrendo a liberação do CO₂, sendo posteriormente assimilado pela Rubisco no ciclo de Calvin-Benson, essa fase ocorre durante o dia, com a permanência dos estômatos fechados, reduzindo a perda de água e CO₂ pela transpiração, por fim a fase 4 ocorre no final da tarde, quando as reservas de malato foram esgotadas, havendo a abertura dos estômatos, permitindo a absorção líquida de CO₂ (LIU et al., 2018).

A palma é considerada seis vezes mais eficiente que as culturas C3 e quatro vezes mais que a C4, quando comparadas em relação à eficiência no uso da água, necessitando de 100 a 150 kg de água pra a produção de um kg de matéria seca (BEZERRA et al., 2014).

Após realizar a absorção da água, o metabolismo da palma forrageira acumula em seus vacúolos e a perda da mesma é mais expressiva pela transpiração, havendo a passagem de mais de 90% de CO₂ (LEITE et al., 2014). Outras características pronunciáveis quando se aborda a adaptação da palma forrageira as regiões áridas e semiáridas é a disposição do sistema radicular, a quantidade de estômatos reduzidos quando comparado a culturas C3 e C4 e a presença de uma camada de cera que recobre os tecidos (ROCHA, 2012). Essa cera é um polímero complexo localizada na cutícula, tendo por finalidade proteger a planta contra o ataque de insetos, fungos e auxilia na diminuição da perda excessiva de água para a atmosfera (MARQUES et al., 2017).

Além das características que favorecem sua produção em locais de clima semiárido, a palma forrageira possui um expressivo potencial na alimentação de ruminantes, apresentando alto valor energético, elevada produção de fitomassa, além de aceitabilidade por parte dos animais, justificada pela alta concentração e acúmulo de água em seus cladódios, servindo não somente como fonte hídrica, mas também, de minerais, carboidratos não fibrosos e elevada digestibilidade, para os rebanhos (EDVAN et al., 2013; CARVALHO et al., 2018a). Por apresentar altos teores de minerais, dentre os mais expressivos, o cálcio, potássio e magnésio, e servir como fonte de energia, proteína e vitaminas (CARVALHO et al., 2018a), tornam o potencial nutricional dessa forrageira elevado.

2.3 Sistemas de cultivo e o uso de irrigação

Além dos fatores climáticos, mencionado anteriormente, outro componente de relevância é o manejo das culturas, limitante para o estabelecimento e manutenção da produção de forragens nesta região do país (LIMA et al., 2018). A utilização de manejo de cultivo de forma adequada proporciona elevações na produtividade e estabilidade no sistema de produção (ERKOSSA; WILLIAMS; LAEKEMARIAM, 2018).

Práticas culturais como cultivos consorciados, irrigação, manejo de ervas daninhas, correção e adubação do solo, entre várias outras, auxiliam no aumento gradativo da produção das culturas implantadas, logo, a escolha correta do sistema de cultivo pode maximizar a eficiência na utilização dos recursos naturais e aumentar a sua produtividade (SILVA et al., 2015b).

Uma prática que merece destaque em decorrência dos longos períodos de estiagem é a irrigação. Utilizada para suprir as necessidades hídricas das plantas, especialmente em períodos de baixos níveis pluviométricos, objetivando assegurar tanto a sobrevivência quanto a produtividade das culturas. A realização de irrigação tem demonstrado que as culturas agrícolas submetidas a tal prática obtêm elevado resultados quanto a sua eficiência (CRUZ NETO et al., 2017).

A irrigação desempenha importante papel no setor agrícola, uma vez que seu uso promove o êxito da produção, reduzindo as perdas econômicas, ocasionadas pelas condições climáticas da região (DINIZ et al., 2017). Quando irrigada, a palma forrageira expressa todo o seu potencial produtivo, diferentemente no cultivo em sequeiro, onde o crescimento e desenvolvimento são retardados, mesmo a cultura apresentando alta adaptabilidade às condições semiáridas (COSTA, 2018). Queiroz et al. (2015) estudando a palma forrageira, obtiveram valores de biomassa verde e seca superiores ao encontrados na literatura comparando o sistema irrigado e sequeiro.

Desempenhando importante papel, a prática de irrigação é uma técnica dependente de informações, da exigência hídrica da cultura, que está relacionada com a demanda atmosférica e o conteúdo de água no solo e de sua resistência quanto a transpiração. Esses conhecimentos vão de encontro ao aumento da produtividade com um elevado retorno na área cultivada (QUEIROZ et al., 2016; ALVES et al., 2018;).

Outra prática de suma importância para regiões semiáridas é o uso de sistemas consorciados de plantas, que tem sido incentivado para melhorar o aproveitamento da área e da água, havendo o aumento dos rendimentos por meio da cooperação mútua da cultura e de seu consorte (MASVAYA et al., 2017). Utilizada há séculos por agricultores, essa técnica consiste no cultivo de duas ou mais culturas, de diferentes espécies, na mesma área, simultaneamente, havendo redução dos riscos ocorridos pela irregularidade ocasionada por variáveis meteorológicas da região (SOUZA et al., 2011; ARAÚJO et al., 2017), otimizando a utilização dos recursos disponíveis, refletindo em menores perdas.

As vantagens desse sistema são inúmeras, podendo destacar o aumento da produtividade por área, possibilidade de diversificação, mão de obra mais eficiente, aproveitamento total dos recursos, elevação da proteção do solo, por proporcionar uma cobertura viva, melhor controle de plantas daninhas (por apresentar alta densidade de plantas), além de haver um equilíbrio entre a produção de uma cultura em relação à outra (QIAN et al., 2018).

Carvalho et al. (2018b) estudando a cultura do milho em condição de monocultivo e cultivo consorciado com feijão comum, na Zona da mata alagoana, obtiveram valores de produção maiores no cultivo consorciado ($20,95 \text{ t ha}^{-1}$) quando comparados ao monocultivo ($4,31 \text{ t ha}^{-1}$). Lima et al. (2018), estudando o consórcio palma-sorgo, observaram que houve incremento na matéria seca, sendo maior no consórcio ($18,9 \text{ t ha}^{-1}$) quando comparado ao cultivo exclusivo ($8,4 \text{ t ha}^{-1}$). Dessa forma é perceptível a eficiência do cultivo consorciado em relação ao monocultivo.

Diversas culturas são utilizadas em cultivo consorciado com a palma forrageira, destacando-se, o sorgo forrageiro (LIMA et al., 2018). A utilização do mesmo tem como finalidade a inclusão de fibra de elevada efetividade na alimentação animal, uma vez que a palma apresenta baixa quantidade em sua composição (LIMA et al, 2017).

2.4 Sorgo e sua importância no cenário agrícola do semiárido

O sorgo desempenha grande relevância no semiárido brasileiro, uma vez que mesmo em condições de déficit hídrico apresenta elevado rendimento forrageiro e alta capacidade de rebrota, quando comparado a outras culturas de metabolismo C4

(ALVES et al., 2017a). Suas características assemelham-se as das plantas xerófitas, observando-se em sua fisiologia uma paralisação do crescimento ou diminuição de atividade metabólica quando submetido a níveis baixos de disponibilidade hídrica, retomando suas atividades quando a água torna-se novamente disponível (PEREIRA et al., 2015).

O cultivo dessa gramínea é uma maneira de viabilizar a produção de forragem na região semiárida brasileira, devido a sua adaptabilidade as condições climáticas do semiárido, essa adaptação está relacionada a presença de serosidade em seu caule e folhas, redução da área foliar, devido ao enrolamento das folhas nas horas mais quentes do dia com a finalidade de minimizar a incidência de radiação e consequentemente menor transpiração, além de apresentar um sistema radicular bem desenvolvido e profundo quando comparada a outras gramíneas (*e.g.*, milho), proporcionando crescimento e desenvolvimento em solos rasos e pouco férteis, além de apresentar produção de massa seca superior ao do milho (PERAZZO et al., 2013). Tornando-se então, uma opção viável de volumoso no período de baixa disponibilidade hídrica devido características que favorecem sua adaptação ao meio, além de ser bastante utilizado no processo de ensilagem, por apresentar elevada qualidade em sua composição bromatológica (TANG et al., 2018).

A adaptação e tolerância dessa forrageira quanto à salinidade, tanto da água quanto do solo, é outro diferencial da cultura, de modo que mesmo sendo submetida a diferentes níveis de salinidade a cultura apresenta produção satisfatória, podendo a irrigação com água salobra ser incrementada, na falta de água de boa qualidade, sem prejuízos significativos na produção de forragem (ALVES et al., 2017).

Silva et al. (2014b) estudando o estresse salino na produção de forragem, utilizaram milho e sorgo cultivados sob irrigação com água salina observaram que os maiores valores de área foliar e de massa seca do milho foram obtidas quando utilizou-se os menores valores de salinidade, diferentemente do sorgo que não apresentou diferença significativa nos diferentes níveis de salinidade, demonstrando dessa forma a importância do sorgo em ambientes onde o uso de água salobra para irrigação é inevitável.

A adaptação das culturas em relação à tolerância a salinidade está relacionado a ajustes osmóticos a partir da acumulação de solutos osmoticamente ativos, permitindo a absorção de água em meio ao estresse salino (COELHO et al., 2014).

É perceptível a importância do sorgo na produção de forragem no semiárido brasileiro, principalmente quando aliada a técnica de consórcio de plantas, no referente a palma-sorgo, juntamente com o uso de irrigação, promovendo a otimização e maximização na utilização da área, favorecendo a disponibilidade de forragem de qualidade em períodos de escassez hídrica (DINIZ et al., 2017).

2.5 Evapotranspiração e coeficiente de cultura

Embora amplamente utilizada nos sistemas de produção animal na região Semiárida brasileira, tem-se poucos estudos da palma forrageira quanto à evapotranspiração e influência dos diferentes níveis de disponibilidade hídrica no desenvolvimento morfogênico desta cultura, conhecimentos esses indispensáveis para o melhor manejo da cultura e aperfeiçoamento do uso dos recursos hídricos, para atender de forma racional e satisfatória às necessidades hídricas da espécie e atingir a produtividade esperada (PEREIRA et al., 2017a).

A evapotranspiração da cultura é a soma da evaporação das superfícies juntamente com a transpiração estomática e cuticular das plantas, onde é influenciada principalmente por três fatores, sendo esses relacionados à planta, ao clima e ao solo (UNKOVICH; BALDOCK; FARQUHARSON, 2018; SCHMID; LIMA; JESUS, 2018).

Atualmente têm-se quatro tipos de evapotranspiração mais usuais, sendo elas a evapotranspiração potencial, evapotranspiração de referência, evapotranspiração real, evapotranspiração da cultura (PEREIRA; SEDIYAMA; NOVA, 2013). A disponibilidade de água e energia, juntamente com as características intrínsecas da região são fatores predominantes na taxa de evapotranspiração, uma vez que a perda de água pelo sistema solo-planta-atmosfera em zonas áridas e semiáridas é responsável por 90% do consumo da água proveniente da precipitação (SOUZA et al., 2015).

O conhecimento da evapotranspiração da cultura (ET_c) é de suma importância para o gerenciamento dos recursos hídricos, bem como o uso racional da água de irrigação, havendo um melhor aproveitamento da água, servindo como base para a

tomada de decisão dos produtores, com relação à quantidade e ao momento de aplicação da água (PAYERO; IRMAK, 2013; MAČEK; BEZAK; ŠRAJ, 2018).

A determinação da ET_c é muitas vezes difícil, sua obtenção remete a necessidade de utilização de métodos que levem em consideração a evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (K_c) que variam de acordo com as condições meteorológicas e a fase de desenvolvimento de cada espécie (PEREIRA et al., 2015a; CARVALHO; DELGADO, 2016).

A ET_o pode ser determinada por diversos métodos, desde parâmetros mais simples, como uso de dados de fácil acesso, aos mais complexos, necessitando de modelos físicos para sua determinação, sendo a evapotranspiração de referência o reflexo do sistema de cultivo, aspectos morfofisiológicos e a demanda atmosférica do local (CARVALHO; DELGADO, 2016). Enquanto que o K_c é um valor adimensional que varia de acordo com cada fase fenológica, sendo possível determiná-lo por meio da razão entre a ET_c e a ET_o (ALVES et al., 2017b). Os valores de K_c são dependentes do tipo de cultura (*e.g.*, área foliar, altura da planta, hábito de crescimento, metabolismo, área de sombreamento do solo, estágio de desenvolvimento da cultura) e das características referentes ao solo e clima do local de cultivo (ALVES et al., 2018).

Diante disso a determinação K_c para cada localidade é de suma importância para o manejo da irrigação de uma cultura, podendo ser alterado em função da cultura e do sistema de cultivo utilizado, das condições físico-hídricas do solo, das condições meteorológicas e da disponibilidade de água no solo (LYRA et al., 2012).

2.6 Balanço de água no solo

A evapotranspiração da cultura pode ser realizada por meio do balanço hídrico do solo, sendo fundamental para o dimensionamento da irrigação e o manejo correto de água das culturas (PEREIRA; SEDIYAMA; NOVA, 2013), quantificando-se os componentes de entrada e saída de água do sistema, levando em consideração um volume de solo controle, o qual apresente a zona radicular da cultura que se deseja estudar, contemplando os dados de condução e retenção de água pelo sistema solo-planta-atmosfera (SOUZA et al., 2015b).

O conhecimento das características fisiológicas das plantas, são cruciais quanto aos resultados do balanço hídrico do solo, uma vez que, a dinâmica da água no solo está

diretamente relacionada à produção vegetal (CALHEIROS et al., 2009). Portanto, imprescindível à caracterização de todos os fatores interferentes, que além da absorção das plantas, abrange também processos de infiltração, drenagem e evapotranspiração, envolvidos no sistema solo-planta-atmosfera.

Por se tratar da entrada e saída de água no solo, para efetuar o balanço de água, faz-se necessário quantificar a variação no armazenamento de água, precipitação pluvial, irrigação, drenagem profunda, ascensão capilar, evapotranspiração e escoamento superficial, em um volume de solo conhecido, por certo período de tempo (ROCHA et al., 2014).

Assim, a determinação do balanço de água no solo torna-se indispensável para gerir um sistema irrigável com sustentabilidade, sendo seus modelos, ferramentas essenciais no que diz respeito à necessidade de irrigação e a condução dessa prática (PALARETTI, 2011). As variáveis do balanço hídrico servem como uma ferramenta de auxílio possível de determinar as fragilidades climáticas locais, permitindo converter tais situações (SILVA JÚNIOR et al., 2018).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Estabelecer o coeficiente de cultura e quantificar a evapotranspiração da palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e cultivo consorciado com sorgo no Sertão pernambucano.

3.2 Objetivos específicos

- Quantificar os componentes hidrodinâmicos do solo submetido a diferentes lâminas de irrigação e sistema de cultivo consorciado;
- Calcular a evapotranspiração real da palma forrageira ao longo do ciclo e evapotranspiração diária média para o consórcio palma-sorgo;
- Determinar o coeficiente de cultura da palma forrageira sob configuração de cultivo consorciado;

- Delimitar as fenofases do sistema palma-sorgo em função dos graus dias acumulados.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, localizado no município de Serra Talhada – PE (latitude: 07° 59' 31" S, longitude: 38° 17' 54" W e altitude: 429m) (Figura 1), no período de novembro de 2014 a novembro de 2015, referente ao quarto ciclo da palma forrageira, com um ciclo planta e uma rebrota do sorgo.



Figura 1. Vista da área de cultivo de palma forrageira e sorgo, na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, município de Serra Talhada-PE. Fonte: Google Maps®.

De acordo com a classificação de Köppen o clima característico da região é semiárido do tipo BSw^h apresentando maiores índices pluviométricos nos meses mais quentes e seco nos meses mais frios (ALVARES et al., 2013). A temperatura do ar apresenta variações mínimas e máximas de 20,1 a 32,9 °C, respectivamente, umidade relativa do ar em torno de 63% e precipitação pluvial média de 642 mm ano⁻¹ (PEREIRA et al., 2015a; SILVA et al., 2015a).

4.2 Material vegetal, tratos culturais e tratamentos utilizados

A palma forrageira foi implantada em março de 2011, sendo conduzida até o final de maio de 2012 de forma exclusiva e em sequeiro, quando recebeu seu primeiro corte deixando apenas o cladódio basal (cladódio mãe). Após esse período a cultura passou a ser irrigada de forma fixa (lâmina de salvamento), três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira).

Em novembro de 2012 realizou-se o semeio do sorgo distanciado a 0,25 m da linha de cultivo da palma forrageira de forma contínua. Dois ciclos do sorgo, planta e rebrota, foram conduzidos, o primeiro colhido em fevereiro de 2013, e o segundo, em junho de 2013.

O segundo corte da palma forrageira foi realizado em junho de 2013, dando início ao terceiro ciclo da palma, que ocorreu até março de 2014, com a aplicação das lâminas de irrigação, e implantação do sorgo, analisando brota e rebrota do mesmo. No início de setembro de 2014, ocorreu o corte de uniformização dando início ao quarto ciclo produtivo da palma. Até janeiro de 2015 a cultura foi conduzida em sequeiro, posteriormente iniciou-se a aplicação da irrigação e a implantação do consórcio com o sorgo sendo conduzindo sua brota e rebrota.

O clone de palma forrageira utilizada foi a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), com espaçamento de 1,6 m entre linhas e 0,40 m entre plantas e a cultivar do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foi a SF15, implantada a 0,25 m da palma forrageira, possibilitando a maximização do uso da água, necessitando apenas de uma fita de irrigação para as duas culturas. No caso da palma forrageira, as parcelas experimentais eram dispostas em quatro fileiras com 15 plantas cada, totalizando 60 plantas por parcela, das quais apenas 22 eram consideradas parcela útil, já o sorgo era deixado 20 plantas por metro linear após o desbaste das plântulas.

O experimento foi disposto em delineamento em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, sendo utilizado um sistema de cultivo (consórcio palma-sorgo) e cinco lâminas de irrigação (sequeiro, 25, 50, 75 e 100% da Evapotranspiração de referência).

Por apresentar uma maior eficiência, o sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, apresentando gotejadores com espaçamentos de 0,40 m entre si com vazão de $1,35 \text{ L h}^{-1}$ à uma pressão de 1,0 atm, e coeficiente de distribuição de 93%. Durante o período experimental a condutividade elétrica da água variou de 1,6 a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$, proveniente do “Açude Saco”, localizado próximo à área experimental. A irrigação era realizada três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira), as lâminas eram dependentes da ETo.

4.3 Características físico-hídricas do solo

Procedeu à realização de 24 amostras de solo, subdivida em duas frações as quais eram 12 amostras deformadas e 12 indeformadas em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm), coletadas com a utilização de trado tipo “Uhland” e anéis volumétricos com dimensões de 5,0 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro interno. Essas amostras foram utilizadas para a determinação das propriedades físico-hídrica (*e.g.*, densidade aparente e do solo, curva de retenção, porosidade e frações granulométricas, condutividade hidráulica do solo e potencial total de água no solo). Após a coleta do solo, as amostras foram acondicionadas em latas de alumínio com volume conhecido, tampadas e devidamente identificadas.

Para a obtenção da massa úmida, as amostras foram pesadas logo depois de acondicionadas nas latas devidamente taradas, em seguida foram levadas à estufa com temperatura de 105°C e após 48 horas foram novamente pesadas, determinando-se a massa seca do solo. E posteriormente foram enviadas para laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido, situada no município de Petrolina - PE, para determinação das características físicas do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Características físicoquímicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso cultivado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) cv. Orelha de Elefante Mexicana, sob sistema consorciado com sorgo, em ambiente semiárido, Serra Talhada, PE

Profundidades (m)	ρ_a g cm ⁻³	ρ_p	ϕ_t %	Areia ----- g kg ⁻¹ -----	Silte	Argila
0,00 – 0,10	1,54	2,52	38,93	727,18	227,20	45,63
0,10 – 0,20	1,58	2,55	37,95	712,73	241,55	45,80
0,20 – 0,30	1,56	2,58	39,30	708,18	251,43	40,38
0,30 – 0,40	1,50	2,58	41,80	637,43	277,18	85,48
0,40 – 0,50	1,49	2,58	42,47	669,95	242,05	87,98
0,50 – 0,60	1,51	2,59	41,58	646,60	275,90	77,48
Média	1,53	2,57	40,34	683,68	252,55	63,79
Desvio Padrão	0,03	0,02	1,61	32,35	15,99	19,86
C.V (%)	1,96	0,82	4,00	4,73	6,33	31,12
pH H ₂ O	P mg dm ⁻³		Ca	Al cmolc dm ⁻³	Na	K
6,7	>40,3		3,25	0,0	1,52	0,45

* ρ_a = Densidade aparente do solo; ρ_p = Densidade das partículas; ϕ_t = Porosidade total do solo. P = Fósforo; Ca = Cálcio; Al = Alumínio; Na = Sódio; K = Potássio.

O método de perfil instantâneo foi aplicado para obtenção dos valores do potencial total de água no solo e condutividade hidráulica, sendo mensurados a cada 0,10 m de profundidade até atingir os 0,80 m. As equações matemáticas foram descritas por Araújo Primo et al. (2013) e estabelecidas em função da umidade do solo.

4.4 Monitoramento das variáveis ambientais

O monitoramento das variáveis meteorológicas ao longo do período experimental foi realizado a partir da estação meteorológica automática, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada a 1,5 km da área experimental, sendo possível obter dados de temperatura do ar máxima, média e mínima (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s⁻¹) e direção do vento (°), radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹) e precipitação pluvial (mm), disponibilizados a cada hora.

Os dados obtidos foram adquiridos e processados diariamente, utilizados no cálculo para determinação da evapotranspiração de referência (ET_o), sendo esta, estimada por meio da equação de Penman-Monteith, parametrizada conforme o boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \mu_2)}$$

em que:

ET_o – evapotranspiração de referência, (mm d⁻¹); R_n – saldo de radiação líquida, (MJ m⁻² d⁻¹); G – fluxo de calor no solo, (MJ m⁻² d⁻¹); T – temperatura média diária do ar a dois metros de altura, (°C); μ₂ – velocidade do vento a dois metros de altura, (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor, (kPa); e_a – pressão de vapor atual do ar, (kPa); e_s-e_a – déficit de pressão de vapor, (kPa); Δ – declividade da curva de pressão de vapor de saturação, (kPa °C⁻¹); e γ – constante psicrométrica, (kPa °C⁻¹).

4.5 Monitoramento do conteúdo de água no solo

Com o auxílio do sensor capacitivo (Diviner 2000[®] Sentek Pty Ltd., Austrália) foi possível à determinação do conteúdo de água no solo por meio de 4 tubos de acesso por tratamento, instalados a 0,70 m de profundidade, com espaçamento de 0,10 m da fileira da palma forrageira. Os monitoramentos foram realizados três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira), sempre antes da realização dos eventos de irrigação, obtendo nas leituras dados de umidade do solo com uma profundidade de 0,70 m, a cada 0,10 m, através de leituras automáticas. A calibração do sensor foi realizada com base na metodologia descrita por Silva et al. (2015a).

4.6 Balanço de água no solo

As análises dos componentes do método do balanço de água no solo foram efetuadas considerando a camada controle de 0,60 m (Z), para o intervalo de 14 dias. O método utilizado na determinação do balanço de água no solo foi o proposto por Libardi (2005), baseado na conservação da massa da água em volume conhecido de solo, descrito pela Equação 1:

$$-ET = P + I \pm R \pm Q \pm \Delta h \quad (1)$$

em que:

Δh – variação de armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação pluvial (mm); I – irrigação (mm); ET – evapotranspiração real (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo vertical de água no solo (mm).

A quantificação da variação do armazenamento de água no solo (Δh_L) foi determinada pela diferença do valor final e inicial do armazenamento de água no solo, na profundidade de interesse ($Z = L$), para intervalos de 14 dias, valores esses obtidos da integração das leituras feitas por uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®]), para camadas a cada 0,10 m, conforme Equação 2:

$$\Delta h_L = (\theta_f - \theta_i)L \quad (2)$$

em que:

θ_f e θ_i – conteúdo de água volumétrico final e inicial, respectivamente; L – profundidade de interesse, análise do sistema radicular (mm).

A precipitação pluvial (P) foi monitorada com auxílio de um pluviômetro automático (S-RGB-M002) instalado na área experimental, seus valores foram integrados para o intervalo de 14 dias, conforme Equação 3:

$$\int_{t_i}^{t_j} p dt = P \quad (3)$$

em que:

P – intensidade da precipitação (mm dia⁻¹); t – tempo.

O total de água de irrigação (I) foi composto pela integração de todos os valores dos eventos de irrigação, Equação (4):

$$\int_{t_i}^{t_j} i dt = I \quad (4)$$

em que:

i = intensidade de irrigação (mm dia^{-1}); t = tempo.

O escoamento superficial (R) foi estimado a partir da utilização da metodologia proposta pelo Serviço de Conservação dos Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), sendo este denominado Número de Curva, desenvolvido para elevados volumes de chuvas, considerando o tipo e uso do solo, umidade inicial e propriedades hidrológicas do local, sendo calculado pela Equação 5:

$$R = \frac{\left(P - 0,2 * \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \right)^2}{P + 0,8 * \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)} \quad (5)$$

em que:

P - Precipitação pluvial (mm); CN - é o número da curva, que para esse estudo foi de 75, sendo o que melhor representa a condição de solo do experimento, com moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e plantio em fileiras com curvas de nível de boa condição hidrológica.

O fluxo vertical de água no solo (Q) foi determinado através da base limite inferior do perfil do solo (0,60 m de profundidade) utilizando-se dados do potencial total de água da camada logo acima (0,50 m) e abaixo (0,70 m) e a equação Buckingham-Darcy (LIBARDI, 2005), podendo ocorrer ascensão capilar (AC) valores positivos e drenagem profunda (DP) valores negativos.

A densidade do fluxo (q) foi quantificada a partir da equação proposta por Buckingham-Darcy (LIBARDI, 2005), conforme a Equação 6:

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta\psi_t}{\Delta z} \quad (6)$$

em que:

q – densidade de fluxo de água no solo (mm dia^{-1}) na profundidade de controle; $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm dia^{-1}); $\Delta\psi_t \Delta z^{-1}$ – gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas de 0,50 e 0,70 m (SILVA et al., 2015a).

Para a determinação da condutividade hidráulica do solo em função da umidade $K(\theta)$, utilizou-se o método do perfil instantâneo descritos por Libardi (2005), Equação 7:

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (7)$$

em que:

$K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); K_0 – condutividade hidráulica no solo saturado (mm dia^{-1}); γ – é o coeficiente angular da equação linear de $\ln(K)$ em função do conteúdo de água no solo (θ); θ_0 – conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição, sendo assim, adotados os seguintes coeficientes, $\gamma = 67,8947$, $K_0 = 0,0001 \text{ m h}^{-1}$, e $\theta_0 = 0,3105 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SILVA et al., 2015a).

De acordo com Araújo Primo et al. (2013), o gradiente do potencial total de água no solo ($\Delta\psi_t/\Delta z$), em m m^{-1} , nas camadas de 0,50 e 0,70 m, pode ser estimado pela Equação 8:

$$\psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (8)$$

em que:

α e β - são coeficientes adimensionais que foram ajustados, por meio do método do perfil instantâneo, para as profundidades de 0,50 m (249,9288 e -20,2236) e a 0,70 m (789,0253 e -19,1510) (SILVA et al., 2015a).

A evapotranspiração (ET) será estimada por meio do resíduo do balanço de água no solo (BAS), conforme Equação 1.

O coeficiente de cultivo (K_c) foi determinado através da razão entre a evapotranspiração real e os valores de evapotranspiração de referência, conforme Equação 9, proposta por Allen et al. (1998):

$$K_c = \frac{ET}{ET_o} \quad (9)$$

em que:

ET - evapotranspiração real (mm) e ETo - evapotranspiração de referência (mm).

Para a determinação do coeficiente da cultura e da evapotranspiração da cultura (ETc) foi utilizado como base a lâmina de irrigação de 75% da evapotranspiração de referência (ETo), a qual proporcionou o melhor desempenho produtivo da cultura em estudo.

Os componentes foram calculados em intervalos de 14 dias, totalizando 21 períodos ao longo do período experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Data inicial e final de cada período de acumulo dos componentes do balanço de água no solo, de janeiro a novembro de 2015, Serra Talhada-PE.

Período	Data inicial	Data final
1	17/01/2015	30/01/2015
2	31/01/2015	13/02/2015
3	14/02/2015	27/02/2015
4	28/02/2015	13/03/2015
5	14/03/2015	27/03/2015
6	28/03/2015	10/04/2015
7	11/04/2015	24/04/2015
8	25/04/2015	08/05/2015
9	09/05/2015	22/05/2015
10	23/05/2015	05/06/2015
11	06/06/2015	19/06/2015
12	20/06/2015	03/07/2015
13	04/07/2015	17/07/2015
14	18/07/2015	31/07/2015
15	01/08/2015	14/08/2015
16	15/08/2015	28/08/2015
17	29/08/2015	11/09/2015
18	12/09/2015	25/09/2015
19	26/09/2015	09/10/2015
20	10/10/2015	23/10/2015
21	24/10/2015	06/11/2015

4.7 Delimitação dos estádios fenológicos

Durante o período experimental foram realizados eventos biométricos utilizando três plantas por parcela. A metodologia utilizada por Silva et al. (2015a) foi adotada para realização dos procedimentos de medidas e registro de comprimento e largura dos cladódios. Para a determinação da área de ocupação do cladódio utilizou-se a equação proposta por Silva et al. (2014c), levando em consideração para a estimativa a largura e o comprimento do cladódio. O cálculo do índice da área do cladódio (IAC, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) foi baseada na metodologia proposta por Pinheiro et al. (2014), usando os dados de largura e comprimento dos cladódios.

Para testar a associação entre o índice de área de cladódio e o número de dias após o corte, utilizou-se análise de regressão, as quais foram realizadas com modelos sigmoidais. Derivou-se das taxas diárias de IAC modelos com coeficientes de determinação maior que 0,90 equações e parâmetros significativos ($p < 0,5$), utilizando o teste F e t. A fim de determinar o IAC para todo o período experimental fez-se necessário à integração dos valores diários, possibilitando dessa forma a identificação da mudança de estágio fenológico.

Com base na taxa de índice de área de cladódio (IAC) foi possível determinar os estádios fenológicos da palma forrageira, de modo que a mudança da fenofase I (F1) para a fenofase II (F2), correspondia a 50% do pico máximo da taxa de IAC, a fenofase III (F3) foi estabelecida quando se atingiu o pico máximo da taxa de IAC, a F3 foi finalizada quando o declínio da taxa de IAC correspondia a 25% do pico máximo, dando início a fenofase IV (F4).

De acordo com a metodologia descrita por Araújo Júnior et al. (2017), considerou-se 22 °C como temperatura base, possibilitando dessa forma o relacionamento dos dados obtidos com os Graus Dias Acumulados (GDA), facilitando a delimitação das fenofase.

4.8 Análise produtiva

A colheita da palma forrageira foi realizada quando a cultura atingiu um ano de ciclo produtivo. Na colheita as plantas das bordaduras (fileiras das extremidades de cada

parcela) e oito plantas da parcela útil (duas plantas do início e duas plantas do final de cada fileira central da parcela) foram desprezadas, restando dessa forma 22 plantas da parcela útil. A taxa de massa verde e seca foi obtida a partir da seleção de três plantas representativas de cada subparcela, as quais foram pesadas após o corte para determinação da massa verde (MV) e retirados dois cladódios representativos por planta, posteriormente foram levados para o laboratório para pesagem em balança analítica e secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até as amostras atingirem peso constante. A determinação da massa seca (MS) foi realizada com esse material, utilizando o procedimento descrito por Detmann et al. (2012), posteriormente os dados foram extrapolados para determinação da produtividade em tonelada por hectares.

4.9 Análise estatística

Os dados dos componentes do balanço de água no solo (BAS) foram submetidos à estatística descritiva e aos testes de normalidade e homocedasticidade. Em seguida aplicou-se análise de regressão, sendo testados modelos polinomiais, adotando-se o modelo significativo pelo teste t com maior grau.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentados os valores da evapotranspiração de referência (ET_o) e radiação solar global (R_g), em ambiente semiárido, entre novembro de 2014 e novembro de 2015. Com base nos resultados, verifica-se a influência da radiação solar global na ET_o, apresentando nos meses de maio e junho valores menores (4,0 e 3,5 mm dia⁻¹, respectivamente) e maiores nos meses de setembro e outubro (6,2 e 6,5 mm dia⁻¹, respectivamente), de modo que a R_g era mais intensa. A variação na R_g, está diretamente relacionada com as estações do ano, conseqüentemente, com a distância aparente da terra em relação ao sol, durante o período experimental.

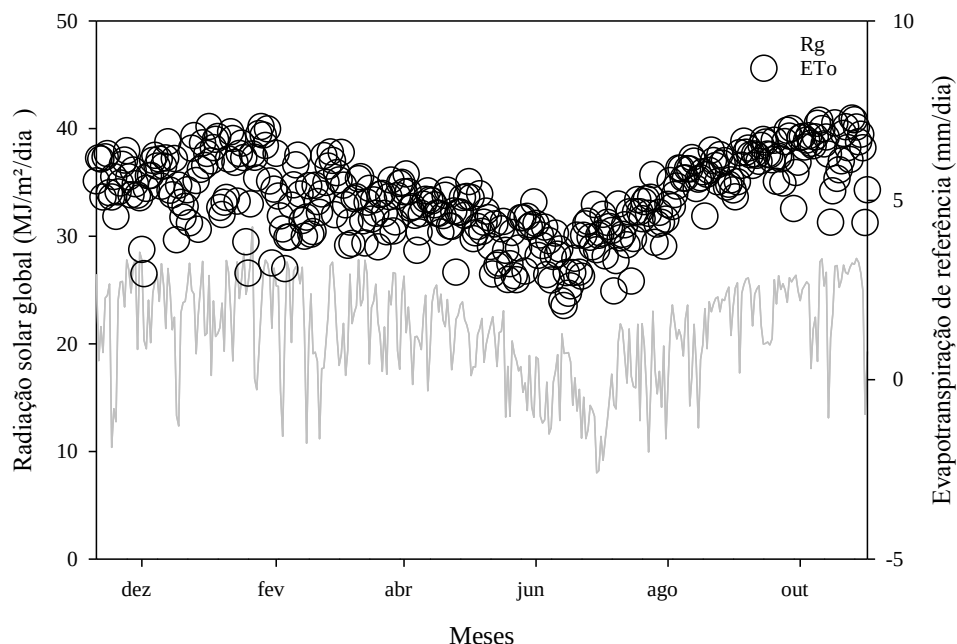


Figura 2. Valores de Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), em ambiente semiárido, no período de novembro de 2014 a novembro de 2015, no município de Serra Talhada, PE.

A média dos valores da ETo durante o período foi de $5,2 \text{ mm dia}^{-1}$, resultados semelhantes são descritos por Barbosa et al. (2017) e Moraes et al. (2017) estudando a cultura da palma forrageira no mesmo município, que observaram valores médios de ETo iguais a $5,3$ e $5,2 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente. Já Pereira et al. (2017b) estudando a cultura do girassol, no município de Serra Talhada – PE, obtiveram valor superior (ETo $6,0 \text{ mm dia}^{-1}$), utilizando o método de Penman-Monteith parametrizada no boletim da FAO 56, para a estimativa.

A sazonalidade da ETo afetou de maneira direta as lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ciclo da cultura, uma vez que a quantidade de água aplicada durante a irrigação era baseada nos percentuais da ETo.

As lâminas de água aplicadas no consórcio palma-sorgo nos tratamentos baseados na ETo e a variação sazonal da precipitação pluvial durante o período experimental podem ser observadas na Figura 3.

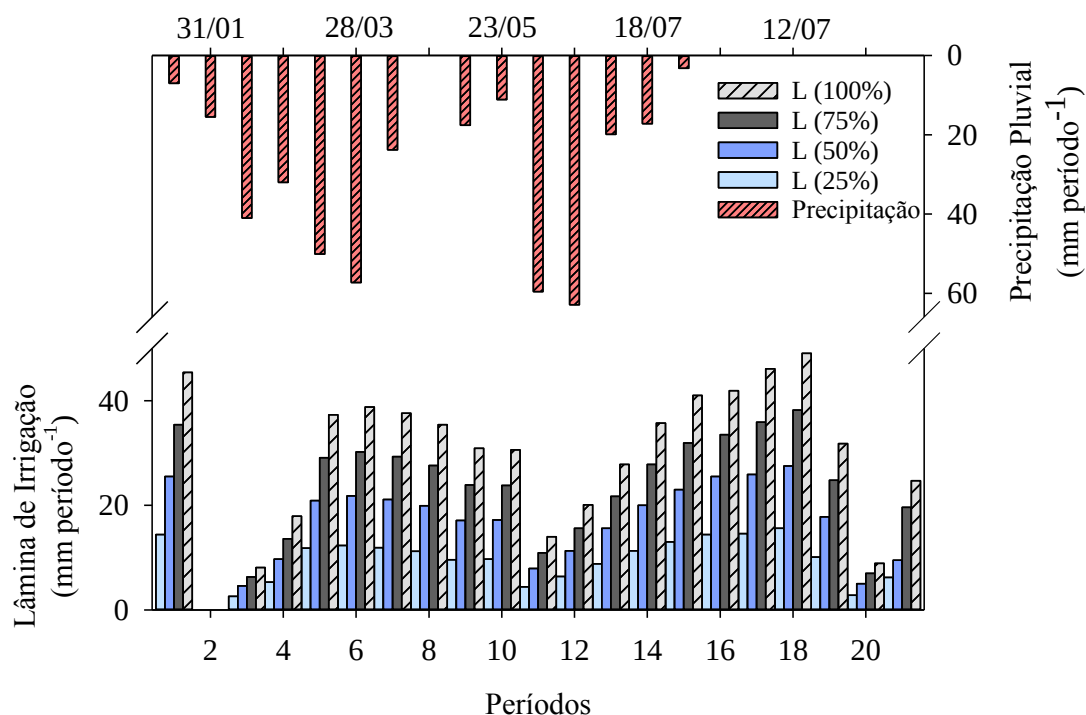


Figura 3. Lâminas de irrigação por período aplicadas com base em percentuais da ETo (mm) e Precipitação pluvial (mm), em ambiente cultivado com palma forrageira consorciada com sorgo, no período de janeiro a novembro de 2015.

A lâmina de 0% da ETo corresponde apenas à precipitação pluvial, totalizando 418,2 mm. Nas demais lâminas a água aplicada refere-se à precipitação pluvial somada à água proveniente da irrigação, desse modo às lâminas de 25%, 50%, 75% e 100% da ETo foram de 614,5; 764,8; 904,4 e 1041,3 mm, respectivamente.

O comportamento dos valores de irrigação acompanha a tendência da demanda atmosférica, que são maiores nos períodos 17 e 18, onde os valores de ETo foram mais elevados, influenciando na lâmina aplicada. O volume de água aplicada durante o período experimental, juntamente com a precipitação pluvial influenciam diretamente os componentes do balanço hídrico, uma vez que são dependentes da disponibilidade hídrica do solo.

A precipitação pluvial (Figura 3) teve um comportamento atípico durante o período de avaliação (418,2 mm), inferior a normal climatológica local, que segundo Pereira et al. (2015b) e Silva et al. (2015a) é de 642 mm, apresentando uma redução de 34,7%. Valores de precipitação abaixo da normal climatológica, no Nordeste brasileiro, estão associados aos anos de ocorrência de El Niño no oceano Pacífico Equatorial e dipolo do Atlântico positivo (APAC, 2015). No ano de 2015 a redução da precipitação

pluvial esteve relacionada ao El Niño, o qual provoca eventos extremos de precipitação (*i.e.*, cheias ou secas) em varias regiões do mundo (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

A Figura 3 apresenta as oscilações na precipitação durante o período experimental, com chuvas concentradas entre os períodos 1 e 14, e no período 8 ausência de precipitação pluvial. Valores máximos são encontrados nos períodos 5 e 12, 64,5 e 62,9 mm, respectivamente, e mínimos nos períodos 10 e 15, com 11,1 e 3,20 mm, respectivamente. Os eventos de precipitação pluvial cessaram do período 16 ao 21.

Valores acumulados de drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação de armazenamento (ΔA) e evapotranspiração real (ETr) em função das diferentes lâminas de irrigação durante o ciclo da cultura são apresentados na Figura 4.

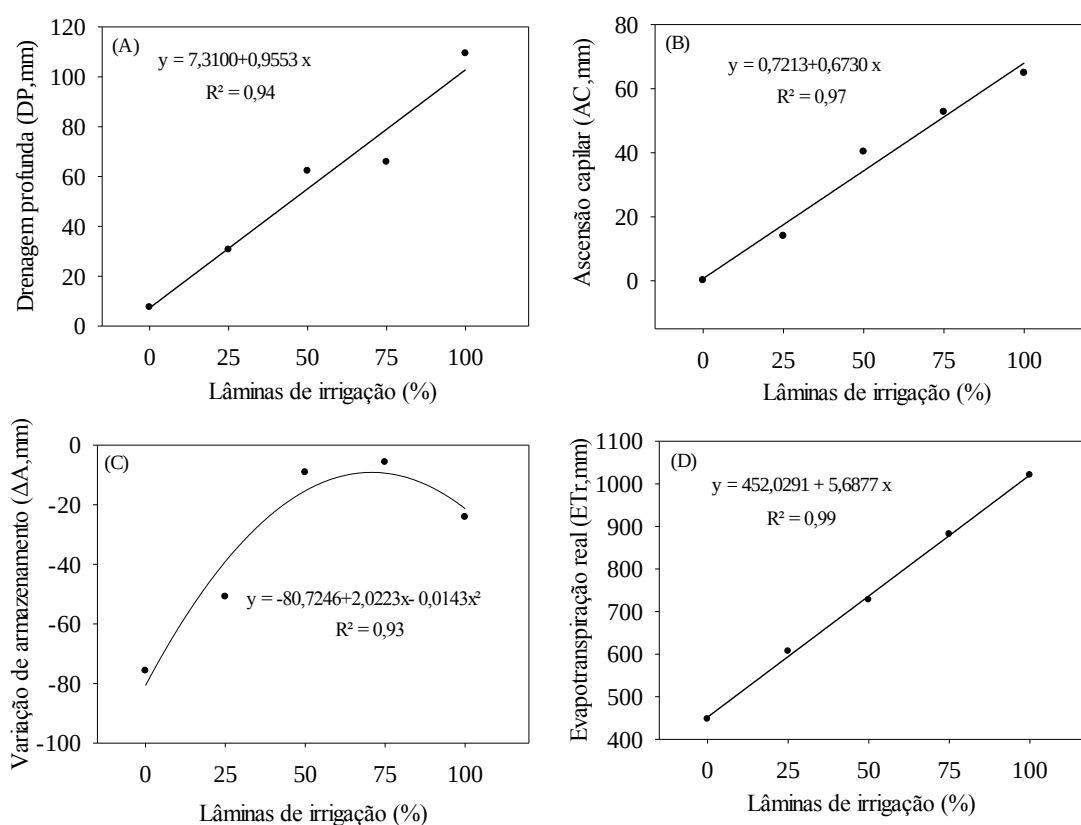


Figura 4. Valores acumulados de drenagem profunda (mm) (A); ascensão capilar (mm) (B); variação de armazenamento (mm) (C); e evapotranspiração real (mm) (D) em função das lâminas de irrigação, durante o período experimental.

Pode-se observar que apenas a ΔA , apresentou resposta quadrática ao acréscimo na lâmina de irrigação, tendo como pico máximo a lâmina de 75% da ETo. As demais variáveis estudadas do balanço de água no solo apresentaram respostas lineares crescentes ao incremento da lâmina de irrigação, com a lâmina de 100% da ETo, proporcionando os maiores valores, devido a maior quantidade de água aplicada no tratamento. O escoamento superficial (R), não diferiu entre os tratamentos aplicados, apresentando um valor médio igual a -41,1 mm.

A drenagem profunda (Figura 4A) máxima obtida foi -109,4 mm (-5,23 mm dia⁻¹), com a aplicação da lâmina de 100% da ETo, isso se deve ao maior volume de água aplicada quando comparado as demais lâminas utilizadas. Estudando o mesmo clone de palma forrageira em cultivo exclusivo Silva et al. (2015a) e Queiroz et al. (2016), obtiveram um valor de DP abaixo do encontrado no presente trabalho, -94,3 mm (-0,18 mm dia⁻¹) e -78,26 mm (-0,20 mm dia⁻¹), respectivamente. A diferença entre os valores do presente estudo e os encontrados na literatura está associada ao sistema de cultivo e da lâmina de água aplicada, promovendo maior DP. A DP é determinada por fatores ligados a disponibilidade hídrica, uso do solo e suas propriedades físicas (BENNETT; BISHOP; VERVOORT, 2013).

A utilização das lâminas crescentes (25, 50, 75 e 100% da ETo) elevou a DP em -23,1, -54,6, -58,24 e -101,8 mm, comparativamente com a lâmina de 0% da ETo, que corresponde ao cultivo em sequeiro, onde o valor de DP obtido para esse experimento foi igual a -7,3 mm (0,02 mm dia⁻¹), esse baixo valor para a lâmina de 0% da ETo, quando comparada as demais lâminas, está associado ao volume de água recebido por meio da precipitação e ao intervalo entre as precipitações, diferentemente dos demais tratamento, os quais recebiam água três vezes por semana, favorecendo uma maior DP.

Além de estar associada ao volume de água aplicada em cada tratamento, Silva et al. (2015a) relataram que o aumento gradativo da DP pode estar relacionado com as galerias abertas pelo sistema radicular da cultura em maiores profundidades, refletindo em um acréscimo no movimento da água.

A AC (Figura 4B), por sua vez, apresentou uma oscilação de 0,7 a 64,9 mm durante o período experimental, seguindo a mesma tendência da DP, apresentando o maior valor para a lâmina de 100% e o menor para a lâmina de 0% da ETo, isso ocorreu devido a maior taxa evapotranspirativa, principalmente por meio da evaporação,

fazendo com que haja um deslocamento da água em sentido ascendente, elevando os valores de AC a medida que se aumenta a lâmina de irrigação com valores de 13,9; 40,3 e 52,7mm para as lâminas de 25, 50 e 75% da ETo, respectivamente. Morais et al. (2017) estudando a cultura da palma forrageira, sob cultivo exclusivo, com aplicação de água em diferentes turnos de rega, não observaram valores de ascensão capilar durante o período de estudo, mesmo com a utilização da lâmina de 727 mm ano⁻¹.

O sentido ascendente da água ocorre devido à presença de microporos no solo, formando uma franja capilar, favorecendo o movimento da água das camadas mais profundas para as de menor profundidade, por meio da diferença de potencial, havendo o movimento da água de um ponto de maior potencial para o de menor (LIBARDI, 2005).

A variação de armazenamento de água no solo (Figura 4C), também foi alterada pela aplicação das diferentes lâminas de irrigação, uma vez que a mesma é dependente da quantidade de água aplicada, das condições meteorológicas, da topografia local, dos aspectos físicos do solo e da cobertura vegetal (ARAÚJO PRIMO et al., 2015; MEI et al., 2019).

O valor máximo de ΔA encontrado refere-se à aplicação da lâmina de 75% da ETo (-5,7 mm / -0,02 mm dia⁻¹), havendo um decréscimo quando aplicada a lâmina de 100%, Silva et al (2015b) e Morais et al (2017) estudando a palma exclusiva, encontraram valores de ΔA superiores aos encontrados no presente estudo, 41,2 (0,08 mm dia⁻¹) e 30,2 mm (0,06 mm dia⁻¹), respectivamente. A diferença entre os valores encontrados na literatura e neste trabalho está associada ao ciclo da cultura, de maneira que no presente estudo a palma forrageira encontra-se em seu quarto ciclo produtivo, consequentemente, apresentando uma menor área de sombreamento, pela menor emissividade de cladódios, quando comparada a ciclos iniciais, bem como presença do sorgo, favorecendo uma maior retirada de água do solo, por meio da transpiração.

O decréscimo da ΔA na lâmina de 100% da ETo (-24,1 mm) pode estar relacionado com o menor dossel da palma forrageira, possibilitando maior incidência de radiação solar na superfície do solo, bem como a maior extração de água do solo pelo sorgo, influenciando em uma redução no volume de água no solo. Já para a lâmina de 75% da ETo observou-se valores de produtividade superiores as obtidas nas demais lâminas, consequentemente maior dossel e melhor cobertura do solo, reduzindo a perda

de água por evaporação. De acordo com Cui et al. (2018) em regiões semiáridas a ΔA , é bastante controlada pela entrada de água no solo e por sua saída através da evapotranspiração.

Em termos de evapotranspiração real acumulada (Figura 4D), verifica-se uma tendência crescente com a elevação da lâmina de irrigação aplicada. Os maiores valores de ET são observados quando a disponibilidade hídrica é elevada, devido a existência da relação direta entre o volume de água aplicada e a evapotranspiração (MACHADO et al., 2015).

Dessa forma o maior valor de evapotranspiração foi 1020,3 mm, quando submetido a lâmina de 100% da ETo, seguida da de 75% (881,6 mm), 50% (726,8 mm), 25% (606,4) e 0% (446 mm), sendo este último superior a precipitação (418,2 mm), o que se explica devido a presença de água nas camadas abaixo da camada controle (0,60 m), provenientes de precipitações dos anos anteriores. Valores superiores foram encontrados por Lima et al. (2018), em sistema consorciado palma-sorgo sob lâminas de irrigação (583 a 809 mm), com ET variando de 889 a 1070 mm e por Silva et al (2015b), que estudando a palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) sob cultivo exclusivo, em condição de sequeiro, com precipitação pluvial igual a 1269,1 mm durante o período de análise, obtiveram um valor de ET igual a 1214,2 mm.

Os valores de evapotranspiração diária e o coeficiente da cultura (Figura 5) obtiveram a mesma tendência da evapotranspiração acumulada, uma vez que são dependentes da mesma. Dessa forma os maiores valores, para ambas variáveis, foram na lâmina de 100% da ETo, com valor de ETr diária de 3,5 mm dia⁻¹ e um Kc de 0,74, seguida da lâmina de 75, 50, 25 e 0% da ETo.

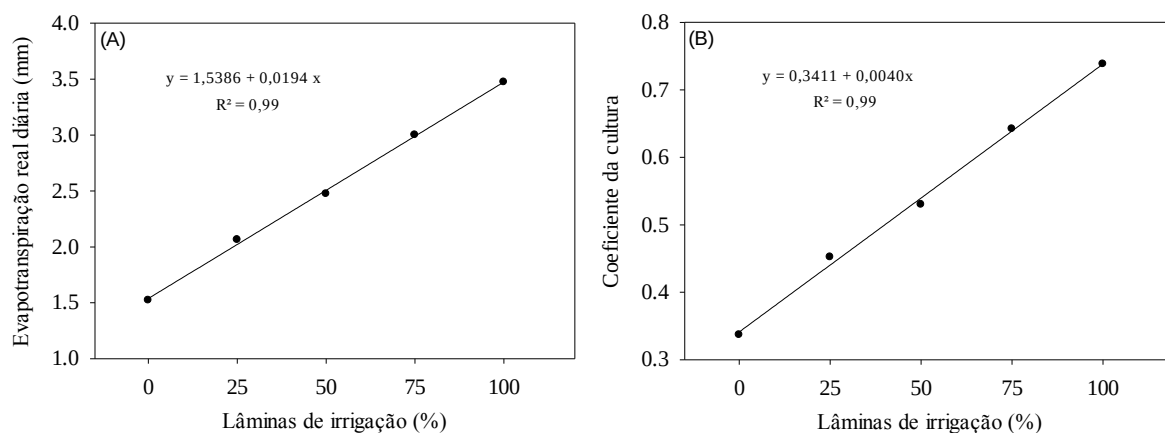


Figura 5. Variação dos valores de evapotranspiração real diária (mm) (A); e coeficiente da cultura (B), em função da aplicação de diferentes lâminas de irrigação, no consórcio palma-sorgo.

A determinação da ET_c e o K_c foi realizada com base a lâmina de 75% da ET_o , devido ao estabelecimento máximo do rendimento da cultura, proporcionando maior produtividade, supondo que a cultura estava em condições favoráveis.

Na Figura 6, pode-se observar a flutuação da ET_c e do K_c do cultivo consorciado palma-sorgo, em função dos períodos. A variação dos valores de K_c seguiu a mesma tendência em relação a oscilação dos valores de ET_c . Os maiores valores de ET_c e K_c ocorreram no período 6 (28/03/2015 a 10/04/2015) e 11 (06/06/2015 a 19/06/2015), com $5,8 \text{ mm dia}^{-1}$ e $1,17$ para o período 6 e $4,8 \text{ mm dia}^{-1}$ e $1,51$ para o período 11. Esses valores possivelmente estão relacionados com a alta precipitação pluvial ocorrida no período anterior e no próprio período, elevando dessa forma a disponibilidade hídrica do solo, favorecendo a evapotranspiração, bem como a maior área foliar do sorgo, estando o mesmo em seu máximo crescimento, refletindo em maior transpiração.

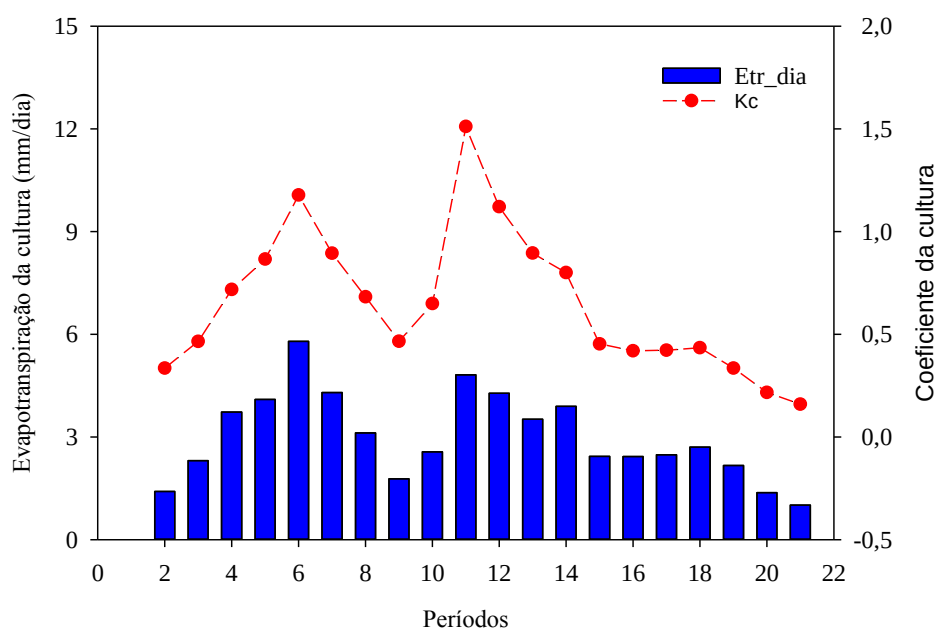


Figura 6. Flutuação da evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e do coeficiente de cultura (K_c), sob a lâmina de 75% da ETo , em função dos períodos, da palma forrageira e do sorgo sob sistema de cultivo consorciado, durante o período experimental.

Os menores valores foram observados nos períodos 2, 9, 20 e 21 com valores de E_{Tc} iguais a $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$, $1,7 \text{ mm dia}^{-1}$, $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$ e $1,0 \text{ mm dia}^{-1}$ e K_c iguais a 0,33, 0,46, 0,21 e 0,15, respectivamente. Esses baixos valores estão relacionados com a ausência do sorgo no cultivo, de modo que, no período 2, o sorgo estava em crescimento inicial, cerca de 5 cm de altura, no período 9, 20 foram realizado as colheitas e no período 21 tinha-se apenas a presença da palma. Com isso, é perceptível que as maiores taxas evapotranspirativas, bem como o maiores valores de K_c , se devem ao sorgo, de maneira que, em sua ausência a E_{Tc} e o K_c se mantêm constantes.

Desse modo, a média dos valores de evapotranspiração para o cultivo consorciado palma-sorgo foi igual a 3 mm dia^{-1} , independente do período avaliado, na lâmina de 75% da ETo , maior que o encontrado por Silva et al. (2015a) estudando a palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), sob monocultivo, com obtenção de média igual a $2,43 \text{ mm dia}^{-1}$. O valor superior encontrado no presente estudo quando comparada ao encontrado na literatura, está relacionado com a presença do sorgo no

cultivo consorciado, refletindo em maior área foliar, favorecendo a transpiração e contribuindo para uma maior evapotranspiração no sistema.

Valores superiores de ET_c foram encontrados por Murga-Orrillo et al. (2016) estudando o milho sob monocultivo, obtiveram valor igual a $4,1 \text{ mm dia}^{-1}$, e por Santana et al. (2016) estudando planta de Tifton-85 (metabolismo tipo C_4) com $3,62 \text{ mm dia}^{-1}$. Estes resultados demonstram que mesmo com o acréscimo de uma cultura, o valor da ET_c é inferior aos das que possuem metabolismo C_4 , isso devido ao metabolismo da palma forrageira, havendo a fixação do CO_2 no período noturno, quando a demanda evapotranspirativa é baixa (SIVA et al., 2015b), bem como o favorecimento da cobertura viva do sorgo reduzindo de forma significativa a evaporação do solo. De acordo com Rosas-Anderson et al. (2018) a evaporação do solo corresponde a 80% do total da ET_c , sendo dependente do dossel cultura.

Para a condição de cultivo do presente estudo, sob a lâmina de 75% da ET_o , a média do K_c foi igual a 0,64, valor esse superior aos encontrados por Lima et al. (2018), que estudando a palma forrageira sob diferentes sistemas de cultivo e lâminas de irrigação, encontraram um valor médio de K_c igual a 0,50, independente da lâmina de irrigação e do sistema utilizado, e por Queiroz et al. (2016), que estudando a palma forrageira sob cultivo exclusivo, obtiveram um valor médio de K_c igual a 0,52.

Quando comparado a culturas C_4 , o consórcio palma-sorgo apresentou valor médio de K_c inferior aos da cultura do tifton-85, encontrados por Santana et al. (2016), com valor médio de K_c igual a 1,07, e por Souza et al (2015c) que estudando a cultura do milho, em cultivo exclusivo, obtiveram valor médio de K_c igual a 0,89.

Esses baixos valores de K_c do consórcio palma-sorgo, é consequência do metabolismo da palma forrageira, influenciando diretamente na transpiração da cultura, reduzindo a perda de água, além da maior cobertura do solo proporcionada pelo sorgo e das características que favorecem a menor transpiração da cultura, como o enrolamento das folhas nos períodos com temperatura elevada e a presença de cera, a qual cobre o colmo e as folhas, tornando-se viável esse cultivo consorciado para região semiárida.

O K_c das culturas devem ser ajustados para cada fase, possibilitando um uso racional da água de irrigação. Desse modo o desenvolvimento da palma forrageira foi dividido em quatro fenofases de acordo com a taxa de índice de área do cladódio (IAC)

em função dos graus dias acumulado (GDA), essa delimitação pode ser observada na Figura 7.

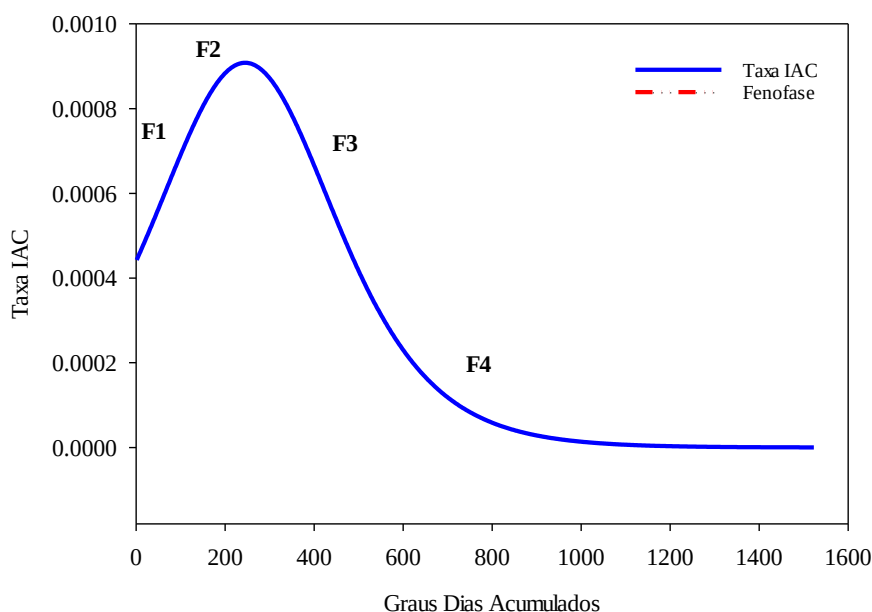


Figura 7. Taxa de índice de área de cladódio (IAC) e delimitação das fenofases do sistema palma-sorgo em função dos graus dias acumulados, sob lâmina de 75% da ETo, em ambiente semiárido, durante o período experimental, no município de Serra Talhada – PE. F1 – Fenofase 1; F2 – Fenofase 2; F3 – Fenofase 3; F4 – Fenofase 4.

Segundo Amorim et al. (2017) e Albuquerque et al. (2018) a fenofase é alterada pela disponibilidade hídrica local, de modo que o mecanismo da cultura é o principal responsável por essa mudança, que dependente da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, refletindo em seu rendimento como também prolongamento e encurtamento da fase fenológica.

Desse modo as duas primeiras fenofase (F1 e F2) a planta apresenta uma taxa de IAC crescente, até atingir o pico máximo, devido à emissão de cladódios, logo após inicia-se a terceira fenofase (F3), sendo caracterizada pela expansão da área do cladódio, seguida da fenofase quatro (F4), com a estabilização do crescimento.

A taxa de crescimento das culturas em sistema consorciado pode ser retardada ou reduzida devido à competição entre as culturas por luz, água e nutrientes, refletindo em menor taxa de crescimento (SOUZA et al., 2014; BRITO et al., 2018). Amorim et al. (2017) relataram que a maior taxa de emissão de cladódios de primeira ordem é

observada em cultivo exclusivo, quando comparada ao sistema consorciado palma-sorgo.

No presente estudo verificou-se que a fenofase I, caracterizada por 50% do pico da taxa IAC teve duração de 92 GDA (26 dias). A fenofase II teve duração de 153 GDA (32 dias), sendo está representada até o pico de máxima taxa de IAC. Scalisi et al. (2016) estudando a palma forrageira sob cultivo irrigado e sequeiro, observaram que sob sistema irrigado a cultura apresentou uma maior área de cladódio, quando comparada ao cultivo em sequeiro, demonstrando a influencia direta da lâmina de irrigação na expansão dos mesmos.

Na fenofase III a taxa de IAC apresentou declínio inicial, com duração de 357 GDA (70 dias). E a última fenofase constatada foi a IV, quando a taxa de IAC era correspondente a 25% do pico máximo, com duração 921 GDA (237 dias). Scalisi et al. (2016) explicaram que a taxa de crescimento do cladódio é cessada quando a cultura atinge seu tamanho final. Assim, a duração das quatro fenofases da palma forrageira consorciada com sorgo foi de 1523 GDA.

Os valores de Kc para cada fenofase do cultivo consorciado palma-sorgo são apresentados na Tabela 3. Constatou-se que, para o sistema utilizado no presente estudo, o Kc médio da fenofase I foi de 0,40. Com o crescimento das culturas consortes, na fenofase II, houve acréscimo na evapotranspiração e consequentemente do Kc, com valor médio para a fase igual a 0,68. A maior demanda de água ao longo do ciclo, foi constatada na fenofase III, apresentando um valor de Kc médio igual a 0,90. Na fenofase IV, a colheita do sorgo e a estabilização do crescimento da palma forrageira, causaram diminuição no valor de Kc para 0,52.

Tabela 3. Valores médios do coeficiente de cultura (Kc), em função da fenofase, para o sistema de cultivo consorciado palma-sorgo, sob a lâmina de 75% da Eto, em ambiente semiárido, Serra Talhada-PE.

Parâmetro	Fenofases			
	I	II	III	IV
Kc	0,40	0,68	0,90	0,52

Em termos de produtividade, a lâmina de 75% da ETo, do cultivo consorciado palma-sorgo, obteve valores de massa fresca e seca iguais a 80,83 e 14,86 t ha⁻¹, respectivamente, sendo superior as demais lâminas de irrigação. Lima et al. (2018) estudando o consórcio palma-sorgo, sob diferentes lâminas de irrigação, obtiveram um valor médio de 18,9 t ha⁻¹. O baixo valor encontrado no presente estudo possivelmente está relacionado diretamente com o ciclo da cultura, de modo que a palma forrageira se encontrava em seu quarto ciclo produtivo e sua colheita era realizada deixando apenas o cladódio basal, podendo dessa forma ter interferido no desempenho da cultura.

6. CONCLUSÕES

- Os componentes hidrodinâmico do solo cultivado, sob sistema consorciado palma-sorgo foram alterados pela aplicação das lâminas de irrigação;
- A evapotranspiração média diária da palma forrageira sob cultivo consorciado palma-sorgo é igual a 3 mm dia⁻¹;
- O coeficiente médio da cultura foi de 0,64 quando a cultura obteve o maior desempenho produtivo;
- A palma forrageira em seu quarto ciclo produtivo, sob sistema consorciado apresentou a ocorrência de quatro fenofases.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. do S. M. A. et al. Forage cactus in diets of confined dairy cattle: performance and economic viability. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 1013-1030, 2015.
- ALBUQUERQUE, F. da S. et al. Water conditions and plant growth of important crops for indigenous communities of Brazilian semiarid. **Revista Ceres**, v. 65, n. 2, p. 111-119, 2018.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310p. Irrigation and Drainage, 56.
- ALMEIDA, R.F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiáridobrasileiro. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 8-14, 2012.

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

ALVES, E. S. et al. Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 194-203, 2017b.

ALVES, H. K. M. N. et al. The application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of forage cactus: A review. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 2 n. 3, 2018.

ALVES, O. F. et al. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 29-36, 2017a.

AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 62-71, 2017.

APAC. **Análise das condições oceânicas**. Recife, 2015. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/down/not_751_1450727083567856ab83b9c_analise_das_condicoes_oceanicas_dez.pdf>. Acessado em 20 de Jan. de 2019.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com o sorgo. **Anais... XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro**. Juazeiro/Petrolina, p. 139-143, 2017.

ARAÚJO PRIMO, J. T. et al. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 1, p. 20-29, 2015.

ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no Semiárido Pernambucano**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, Serra Talhada, PE, 2013.

ARAÚJO, A. K. et al. Consórcios de milho, feijão e mandioca em presença de bagana de carnaúba em um argissolo no litoral norte do Ceará sob condições de sequeiro. **Essentia**, Sobral, v. 18, n. 1, p. 2-23, 2017.

BACALHAU, J. R. et al. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 2, n. 3, p. 283-293, 2017.

BARBOSA, M. L. et al. Meteorological variables and morphological characteristics influencing the evapotranspiration of forage cactus. **Revista Ceres**, v. 64, n. 5, p. 465-475, 2017.

BENNETT, S. J.; BISHOP, T. F.A.; VERVOORT, R. W. Using SWAP to quantify space and time related uncertainty in deep drainage model estimates: A case study from northern NSW, Australia. **Agricultural water management**, v. 130, p. 142-153, 2013.

BEZERRA, B. G. et al. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 755-761, 2014.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 295-303, 2009.

BRITO, A. U. et al. Agroeconomic viability of mangarito intercropped with green corn in four seasons of association. **Revista Ceres**, v. 65, n. 4, p. 364-372, 2018.

CABRAL, S. L. et al. O intervalo de tempo para uma máxima previsibilidade da precipitação sobre o Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 105-113, 2016.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 6, p.665-670, 2009.

CAMPOS, F. S. et al. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. **Nutri Time**, v. 14, n. 2, p. 5004-5013, 2017.

CARVALHO, A. A. et al. Zoneamento agrometeorológico da moringa para o Estado de Pernambuco em condições atuais e projeções futuras. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 2, n. 3, p. 194-202, 2017a.

CARVALHO, C. B. M. et al. Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 259, p. 440-446, 2018a.

CARVALHO, I. D. E. et al. Viabilidade econômica do consórcio entre genótipos de milho com feijão comum na região da Zona da Mata alagoana. **Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 4, p. 177-184, 2018b.

CARVALHO, R. L. S.; DELGADO, A. R. S. Estimativas da evapotranspiração de referência do município de Ariquemes (RO) utilizando os métodos Penman-Monteith-FAO e Hargreaves-Samani. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 6, p. 1038-1048, 2016.

COELHO, D. S. et al. Germination and initial growth of varieties of forage sorghum under saline stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 25-30, 2014.

COSTA, J. A. et al. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 173-179, 2017.

COUTINHO, M. J. F. et al. A pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 434-441, 2013.

CRUZ NETO, J. F. et al. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 2, n. 2, p. 98-106, 2017.

CUI, Z. et al. Soil water storage compensation potential of herbaceous energy crops in semi-arid region. **Field Crops Research**, v. 223, p. 41-47, 2018.

DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Universidade Federal de Viçosa, Suprema, 2012. 214 p.

DINIZ, W. J. da S. et al. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724-733, 2017.

EDVAN, R. L. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 11, n. 4, p. 373-381, 2013.

ERKOSSA, T; WILLIAMS, T; LAEKEMARIAM, F. Integrated soil, water and agronomic management effects on crop productivity and selected soil properties in Western Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**. v. 6, n. 4, p. 305-316, 2018.

LEITE, M. L. M. V. et al. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 61, 2005. 329 p.

LIMA, L. R. et al. Benefício produtivo-econômico do consórcio palma forrageira-sorgo irrigado. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191-201, 2018.

LIMA, L. R. et al. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 113-118, 2018.

LIMA, R. S. et al. Palma forrageira associada à silagem de sorgo corrigida com ureia e farelo de algodão em dietas para novilhos Girolando. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 4, p. 342-350, 2017.

LIU, D. et al. Perspectives on the basic and applied aspects of crassulacean acid metabolism (CAM) research. **Plant Science**, v. 274, p. 394-401, 2018.

LYRA, G. B. et al. Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em Campos dos Goytacazes, RJ. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 102, 2012.

MAČEK, U.; BEZAK, N.; ŠRAJ, M. Reference evapotranspiration changes in Slovenia, Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 260, p. 183-192, 2018.

MACHADO, C. B. et al. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 731-740, 2015.

MAIA, A. L.; GURGEL T. C. N. P. Um olhar sobre a utilização de plantas forrageiras da caatinga como estratégia de convivência com a seca no alto oeste potiguar. **GEOTemas**, Pau dos Ferros, v. 3, n. 1, p. 31-43, 2013.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Article in Portuguese]. Climanálise**, v. 3, p. 49-54, 2016.

MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MASVAYA, E. N. et al. Is maize-cowpea intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid southern Africa. **Field Crops Research**, v. 209, p.73-87, 2017.

MEDEIROS, R. M. et al. Aptidões climáticas: caju, palma forrageira e milho no município de São Bento do Una-PE, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, p. 310-318, 2018.

MEI, X. et al. The variability in soil water storage on the loess hillslopes in China and its estimation. **Catena**, v. 172, p. 807-818, 2019.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semiarido-brasileiro>>. Acessado em 24 de Out. de 2018.

MORAIS, J. E. F. et al. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273-278, 2017.

MURGA-ORRILLO, H. et al. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352, 2018.

NUNES, A. T. et al. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition guided by local ecological knowledge. **Journal of Arid Environments**. v. 135, p. 96-103, 2016.

OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.4, p. 27-37, 2010.

PALARETTI, L. F. et al. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do Norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 531-551, 2011.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural water management**, v. 129, p. 31-43, 2013.

PEIXOTO, M. J. A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 257, p. 35-39, 2017.

PERAZZO, A. F. et al. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1 771-1776, 2013.

PEREIRA FILHO, J.M.; SILVA, A. M. de A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, 2013.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; NOVA, N. A. V. **EVAPOTRANSPIRAÇÃO**. Campinas: Fundag, 2013. 323 p.

PEREIRA, L. S. et al. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 147, p. 4-20, 2015a.

PEREIRA, P. C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015b.

PEREIRA, P. C. et al. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776-785, 2017a.

PEREIRA, P. de C. et al. Evapotranspiração do girassol pelo método do tanque classe “A” na região do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 6, p. 1894, 2017b.

PEREIRA, R. G. et al. Rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 284-299, 2015.

PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.

QIAN, X. et al. Relay strip intercropping of oat with maize, sunflower and mung bean in semi-arid regions of Northeast China: Yield advantages and economic benefits. **Field Crops Research**, v. 223, p. 33-40, 2018.

QUEIROZ, M. G. de et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n.10, p.931-938, 2015.

QUEIROZ, M. G. et al. Procedimento metodológico para análise da distribuição da chuva e extrato do balanço hídrico no semiárido: estudo de caso. **Scientia Plena**, v. 14, n. 3, 2018.

QUEIROZ, M. G. et al. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Revista Irriga**, Edição Especial, Irrigação, p. 141-154, 2016.

ROCHA, A. E. Q. et al. Conteúdo de água no solo por reflectometria no domínio do tempo e balanço de água no solo em cultivo de milho. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 267-278, 2014

ROCHA, J. E. S. Palma Forrageira no Nordeste do Brasil, **Embrapa**, 2012. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/979108/1/DOC106.pdf>>. Acessado em 12 de Nov. de 2018.

ROSAS-ANDERSON, P. et al. Partitioning between evaporation and transpiration from *Agrostis stolonifera* L. during light and dark periods. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 260, p. 73-79, 2018.

SÁ JÚNIOR, E. H. et al. Características agronômicas de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) adubado com esterco suíno e submetido a duas alturas de corte. **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2018.

SANTANA, M. J. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tifton-85 em Uberaba, MG. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 9, n. 3, p. 39-50, 2016.

SANTOS, M. A.; SANTOS, B. R. C. Silagem da palma forrageira consorciada com resíduos da mandioca e bagaço da cana-de-açúcar: Revisão. **PUBVET**, v. 12, p. 133, 2018.

SANTOS, W. M. et al. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 2, n. 4, p. 368-376, 2017.

SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158-167, 2016.

SCHMIDT, D. M; LIMA, K. C.; JESUS, E. S. Variabilidade Climática da Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 41, n. 3, 2018.

SILVA, J. L de A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18(Suplemento), p. S66-S72, 2014b.

SILVA JUNIOR, J. F. et al. Estabelecimento dos meses mais críticos para a agricultura irrigada a partir do estudo do balanço hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 2, p. 122-131, 2018.

SILVA, J. R. I. et al. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p. 2064-2071, 2014a.

SILVA, M. J. et al. Gradientes pluviométricos do estado de Pernambuco: uma análise do litoral ao semiárido. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 240-249, 2018.

SILVA, T. G. F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015b.

SILVA, T. G. F. et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 7, p. 515-525, 2015a.

SILVA, T. G.F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SILVA, T. I. et al. Produtividade de variedades de sorgo em diferentes arranjos populacionais em primeiro corte e rebrota. **Revista Espacios**, v. 38, n. 27, p. 16, 2017.

SOUZA, L. S. B. 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, 2015a.

SOUZA, L. S. B. et al. Crescimento e Produtividade do Milho e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas e Disponibilidade Hídrica no Semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 524-539, 2014.

SOUZA, L. S. B. et al. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011.

SOUZA, L. S. B. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015c.

SOUZA, R. M. S. et al. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 449-455, 2015b.

TANG, C. et al. Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. **Field Crops Research**, v. 215, p12-22, 2018.

TOMASELLA, J. et al. Desertification trends in the northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197-206, 2018.

UNKOVICH, M.; BALDOCK, J.; FARQUHARSON, R. Field measurements of bare soil evaporation and crop transpiration, and transpiration efficiency, for rainfed grain crops in Australia—A review. **Agricultural Water Management**, 2018.