



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

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA PALMA
FORRAGEIRA: ANÁLISE COMPARATIVA DE CULTIVOS SEM E COM O
USO DE COBERTURA MORTA**

SERRA TALHADA
2018

Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA PALMA
FORRAGEIRA: ANÁLISE COMPARATIVA DE CULTIVOS SEM E COM O
USO DE COBERTURA MORTA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), como parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva.

Coorientador: Eng. Agr. Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim.

SERRA TALHADA
2018

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

A474e Alves, Hygor Kristoph Muniz Nunes
Evapotranspiração e coeficiente de cultura da palma forrageira:
análise comparativa de cultivos sem e com o uso de cobertura morta /
Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves. – Serra Talhada, 2018.
59 f.: il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva
Coorientador: Eng. Agr. Alexandre Maniçoba da Rosa
Ferraz Jardim.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em bacharelado em
Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, 2018.

Inclui referência.

1. Evapotranspiração. 2. Palma forrageira. 3. Opuntia. 4.
Semiárido. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Jardim,
Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz, coorient. III. Título.

CDD

630

Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA PALMA
FORRAGEIRA: ANÁLISE COMPARATIVA DE CULTIVOS SEM E COM O
USO DE COBERTURA MORTA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em _____ de _____ de 2018.

Banca Examinadora

Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva – UFRPE/UAST
Orientador

Prof.^a DSc. Luciana Sandra Bastos de Souza – UFRPE/UAST
Examinadora Interna

Prof. DSc. Vicente Imbroisi Teixeira – UFRPE/UAST
Examinador Interno

SERRA TALHADA
2018

À toda minha família, em especial, aos meus Pais, José Alves Sobrinho e Kátia Cilene Muniz Nunes Alves, meus Avós paternos, Manoel Alves dos Santos e Isabel Gomes da Silva (*In memoriam*) e Avós maternos, Liberato de Farias Nunes e Estelita Muniz Nunes, por todo o amor e carinho, por toda a paciência, por todas as batalhas que passaram e enfrentaram para me proporcionar o estudo, por todos os conselhos e exemplos, palavras e incentivos, os quais me fizeram sempre seguir em frente de cabeça erguida e nunca desistir dos meus objetivos. Com toda minha admiração e gratidão.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À todos os meus tios, em especial, Zélia dos Santos Barbosa, José Andelson dos Santos, Antônio Alves Neto, José Carlos Gomes dos Santos, Ivair Alves dos Santos, Denílson Alves dos Santos, Renildo José dos Santos, Edjane Gomes dos Santos e Jadson George Muniz Nunes por toda a força, todos os conselhos e incentivos, por todo o apoio ao longo desta jornada, pois sem vocês não seria possível alcançar este sonho.

À todos os meus primos, em especial, Manoel Alves dos Santos Neto (Magal), George dos Santos Barbosa, Gustavo Henrique Queiroz dos Santos, Vinicius Nazário Veras Alves, Paula Fernanda Ramos Nunes e Samira Roceli Muniz Nunes de Queiroz, por todos os incentivos, pelos momentos de preocupação, pelos bons momentos que passamos juntos e pela mão amiga sempre presentes nos momentos de tristeza e alegria, por serem os irmãos que não tive, obrigado.

Ao meu orientador e amigo Prof. Thieres George Freire da Silva, pela oportunidade que proporcionou ao aceitar-me como orientando, por todos os conselhos e orientações, tanto pessoais quanto na vida acadêmica, sou grato por ter tido a chance de trabalhar ao lado de uma pessoa tão esforçada, dedicada e simples. De poder aprender com o grande profissional que o senhor é, sendo um exemplo de vida a ser seguido.

À meu Coorientador, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim, pelo amigo que tem sido, pela dedicação às nossas atividades acadêmicas, pela disponibilidade, sempre tirando minhas dúvidas, estando sempre disposto a ensinar, alegre com muito entusiasmo, pelas muitas noites de sono passadas em prol da ciência.

À os meus colegas de turma, em especial, Domingos Sávio, Maurício Meira, Camilla Nóbrega, Crislane Tomaz, Gabriel Alves, Matheus D' Cesares, Juvêncio Henrique e Victor Espindola, Caique Borja e Daniel Ericles, por todos os momentos vividos nesse período de graduação, que para mim será um dos melhores períodos da minha vida.

À todos os meus colegas de infância, em especial, Maycon Vinicius, João Henrique, Erck Omar, Geymyson Carlos, Edmilson Neto, Higor Enrique, Jackson de Sena e Mariano Emerson (*In memoriam*), pelo imenso companheirismo, pela torcida em minhas conquistas, pelas grandes alegrias vividas, por sempre estarem presentes, pela compreensão de minha ausência ao longo desta jornada.

À minha namorada, Paula Regina da Silva, por todo o seu amor, carinho, amizade, respeito. Obrigado por estar do meu lado sempre, me apoiando e incentivando

meus estudos. A sua paciência, a sua compreensão pelos momentos que não pude está presente. Sem dúvidas você é umas das pessoas mais importantes da minha vida.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), por todas as oportunidade que me proporcionou ao longo desse período, a todos os integrantes, onde me orgulho de ter conhecido pessoas maravilhosas como vocês. Agradeço ainda, por todo o aprendizado construído ao lado de vocês.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), pela oportunidade e por toda a qualidade do ensino oferecido e infraestrutura cedida durante as pesquisas.

À todos os professores que fizeram parte da minha formação, sendo todos professores de excelente qualidade, dedicados e comprometidos com o ensino, onde levarei comigo um pouco de cada um na minha vida pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo de iniciação científica, e financiamento dos projetos de pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fluxograma das interações entre as secas e seus impactos sobre os sistemas de produção e socioeconômicos. Adaptada de Azadi et al. (2018). 16
- Figura 2.** Efeitos da cobertura morta na interação do sistema solo-planta-atmosfera e seus benefícios na resiliência agrícola..... 23
- Figura 3.** Componentes do balanço de água no solo, durante o período de janeiro de 2015 a novembro de 2015, Serra Talhada-PE. 37
- Figura 4.** Comportamento das variáveis meteorológicas para o município de Serra Talhada-PE para o período experimental (17-Jan-2015 à 05-Nov-2015). 38
- Figura 5.** Fluxo vertical de água no solo cultivado com palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana sob dois sistemas de cultivo sem e com o uso de cobertura morta no semiárido pernambucano. 39
- Figura 6.** Evapotranspiração da cultura em palma forrageira para dois sistemas de plantio sem e com o uso de cobertura morta. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 42
- Figura 7.** Coeficiente de cultura (kc) da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana em função da adoção de sistemas sem e com cobertura morta sobre o solo, no Semiárido pernambucano. 44
- Figura 8.** Taxa de emissão de cladódios e divisão dos estádios fenológicos da palma forrageira em função dos graus dias, submetida a dois sistemas de cultivo com e sem o uso de cobertura morta sobre o solo no semiárido pernambucano..... 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso cultivado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) cv. Orelha de Elefante Mexicana, Serra Talhada, PE Semiárido brasileiro 29

Tabela 2. Datas de início e término dos 21 períodos em que foram acumulados os componentes que constituem o balanço de água no solo, durante o período de janeiro de 2015 a novembro de 2015, no município de Serra Talhada-PE 332

Tabela 3. Parâmetros produtivos da palma forrageira, *Opuntia stricta*, clone Orelha de Elefante Mexicana submetida a lâmina de irrigação de 50% da evapotranspiração de referência sob dois sistemas de cultivo: sem cobertura morta (SC) e com cobertura morta (CC), no município de Serra Talhada, PE 487

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Caracterização do ambiente.....	15
2.2 Palma forrageira e uso no semiárido	18
2.3 Palma irrigada.....	21
2.4 Cobertura morta.....	22
2.5 Evapotranspiração e coeficiente de cultura	24
2.6 Balanço de água no solo	25
3 OBJETIVOS.....	26
3.1 Objetivo Geral	26
3.2 Objetivos Específicos	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1 Localização e caracterização da área experimental.....	27
4.2 Tratos culturais, delineamento experimental e tratamentos	27
4.3 Características físico-hídricas do solo	28
4.4 Monitoramento da umidade do solo	29
4.5 Balanço de água no solo	30
4.6 Determinação dos estádios fenológicas.....	34
4.7 Análise de produtividade.....	35
4.8 Análise estatística	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6 CONCLUSÕES.....	49
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

Devido a longos períodos de estiagem e os efeitos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro, é de grande importância a utilização de manejos que venham a contornar esses impactos no meio rural. A utilização de plantas tolerantes ao déficit hídrico e o uso de irrigação suplementar pode ser uma alternativa, onde para uma boa prática de manejo da água de irrigação faz-se necessário o conhecimento da necessidade hídrica da cultura, da evapotranspiração e do coeficiente de cultura para cada condição de cultivo. O balanço hídrico no solo é uma técnica que ajuda na mensuração destes componentes. Assim, o objetivo deste estudo é quantificar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura da palma forrageira em cultivos sem e com o uso de cobertura morta no Semiárido pernambucano. O experimento foi realizado na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, município de Serra Talhada-PE, no período de novembro de 2014 a novembro de 2015. O clone utilizado foi a *Opuntia stricta*, submetida a quatro lâminas de irrigação (25, 50, 75 e 100%) com base na evapotranspiração de referência mais a condição de sequeiro, e dois sistemas de cultivo (sem e com o uso de cobertura morta). O delineamento experimental foi disposto em blocos casualizados, no arranjo fatorial 5x2, em quatro repetições, onde as lâminas representavam as parcelas, e os sistemas de cultivo, as subparcelas. Ao longo do tempo foi monitorada a umidade do solo. A partir desses dados e das propriedades físico-hídricas do solo foi aplicado o método do balanço hídrico em intervalos de 14 dias, totalizando 21 períodos, o qual foi composto por evapotranspiração (ET), precipitação (P), irrigação (I), escoamento superficial (R), fluxo vertical de água no solo (Q) e variação do armazenamento de água no solo (Δh). Os componentes do balanço hídrico foram integrados e comparados entre os tratamentos dentro de cada período, aplicando-os aos testes de normalidade e homocedasticidade, e uma vez significativa, a análise de variância, caso necessário, ao teste de médias de Tukey (5%). Os eventos de irrigação somados a precipitação durante o 21 períodos foi de 764,76 mm, com os meses entre agosto e novembro de 2015 apresentando os maiores valores de ETo (6,18 mm). Não houve diferença para os componentes do fluxo vertical de água no solo, ascensão capilar e drenagem profunda (AC e DP, nesta ordem) quando comparados entre os sistemas de cultivo sem e com cobertura morta sobre o solo. Quando avaliado a evapotranspiração da cultura (ETc) observou-se diferença significativa apenas para os períodos 10, 18, 20 e 21. A ETc acumulada para ambos os sistemas foi de -782,01 mm e -771,19 (SC e CC, nesta ordem). O maior valor de ETc média correspondeu ao período 6 (10-Abr-2015) para os dois sistemas SC e CC, com médias de (-5,06 e -4,75, respectivamente). Para o coeficiente de cultura (kc) apenas os períodos 10, 18, 20 e 21 foram significativos ($p < 0,05$), os valores médios de kc para os dois sistemas foram de 0,57 e 0,56 (SC e CC, nesta ordem). O uso de cobertura morta melhorou as condições de cultivo da palma forrageira, embora não tenha apresentado diferença no consumo hídrico, proporcionando valores de kc próximos.

Palavras-chave: Balanço hídrico no solo, *Opuntia*, Semiárido

ABSTRACT

Due to long periods of drought and the effects of climatic changes in the Brazilian semi-arid region, it is of great importance to use management that will circumvent these impacts in the rural environment. The use of plants tolerant to water deficit and the use of supplementary irrigation may be an alternative, where for good irrigation water management practice it is necessary to know the water requirement of the crop, evapotranspiration and the crop coefficient for conditions. Soil water balance is a technique that helps in the measurement of these components. Thus, the objective of this study is to quantify the evapotranspiration and the forage cactus cultivation coefficient in crops without and with the use of mulch in the semi-arid region of Pernambuco. The experiment was carried out at the Experimental Station Lauro Ramos Bezerra, belonging to the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, municipality of Serra Talhada-PE, from November 2014 to November 2015. The clone used was *Opuntia stricta*, submitted to four slides of irrigation (25, 50, 75 and 100%) based on reference evapotranspiration plus rainfed condition, and two cropping systems (without and with mulch). The experimental design was arranged in randomized blocks, in the factorial arrangement 5x2, in four replications, where the slices represented the plots, and the cropping systems, the subplots. Over time the soil moisture was monitored. The water balance method was applied in 14-day intervals, totalizing 21 periods, which was composed of evapotranspiration (ET), precipitation (P), irrigation (I), runoff (R), vertical flow of water in the soil (Q) and variation of soil water storage (Δh). The components of the water balance were integrated and compared between the treatments within each period, applying them to the tests of normality and homoscedasticity, and once significant, the analysis of variance, if necessary, the Tukey test (5%). The irrigation events added to precipitation during the 21 periods was 764.76 mm, with the months between August and November 2015 presenting the highest values of ETo (6.18 mm). There was no difference in the components of the vertical flow of water in the soil, capillary ascension and deep drainage (CA and DP, in this order) when compared to the systems of cultivation without and with mulch over the soil. When the crop evapotranspiration (ETc) was evaluated, a significant difference was observed only for periods 10, 18, 20 and 21. The ETc accumulated for both systems was -782.01 and -771.19 (SC and CC, in this order). The highest mean ETc value corresponded to periods 6 (10-Apr-2015) for the two SC and CC systems, with averages of (-5.06 and -4.75, respectively). For the crop coefficient (kc) only the periods 10, 18, 20 and 21 were significant ($p < 0.05$), the mean values of kc for the two systems were 0.57 and 0.56 (SC and CC, in this order). The use of mulching improved the conditions of forage cactus cultivation, although it did not present a difference in water consumption, providing close kc values.

Keywords: Water balance in soil, *Opuntia*, Semi-arid

1 INTRODUÇÃO

Um dos temas ambientais mais debatidos e estudados em todo o mundo nos últimos anos são as mudanças climáticas, as quais preveem impactos em várias regiões do planeta, especialmente nas zonas suscetíveis dos países em desenvolvimento (*i.e.*, regiões áridas e semiáridas). Essas áreas, na maior parte dos casos, têm maior vulnerabilidade devido a reduzida capacidade de adaptação das comunidades humanas aos impactos causados por essas mudanças aos ecossistemas (MESQUITA; BURSZTYN, 2017).

No Brasil, estudos têm apontado que a Região Nordeste e principalmente as zonas semiáridas detentoras do bioma Caatinga, são as áreas mais suscetíveis aos impactos das mudanças climáticas e aumento das temperaturas globais, no qual associadas às condições antrópicas, podem contribuir para a aceleração dos processos de desertificação desta região (LIMA; CAVALCANTE; PEREZ-MARIN, 2011). Corroborando com esses estudos, Morais et al. (2015) evidenciaram impactos decorrentes das mudanças climáticas para o estado de Pernambuco, em especial no Vale do Pajeú, Sertão do estado, onde houve aumento da temperatura máxima diária do ar de 4 °C, para o período que compreendeu 1961 à 2009 e redução média de 57% dos eventos de precipitações pluvial.

Além de apresentar condições deficitárias provenientes dos elementos climáticos, longos períodos de estiagem e irregularidade nos eventos de precipitação pluvial, o Semiárido brasileiro vem demonstrando vulnerabilidade as mudanças climáticas, sendo as condições meteorológicas agravadas por esse fenômeno (CUNHA et al., 2015; QUEIROZ et al., 2016). Esses fatores geram desafios para produção agropecuária, uma vez que as relações socioeconômicas da população rural dessa região dependem estreitamente destas atividades, seguimento este que, na região, é atingida pela escassez hídrica e conseqüentemente reflete na produção de alimentos para os rebanhos (SOUZA et al., 2014; MARENGO et al., 2017).

Assim, é de grande importância o uso de técnicas agrícolas de manejo, especialmente no que concerne ao uso de espécies tolerantes ao déficit hídrico, como é o caso da palma forrageira (*Opuntiaspp.* e *Nopaleaspp.*) e de irrigação suplementar às culturas nos períodos de escassez hídrica (AMORIM et al., 2017). Outra prática que apresenta relevante importância neste cenário é o uso de cobertura morta, onde exhibe

potencial para a modificação do microclima, tendo efeito na conservação da umidade do solo, na temperatura, supressão de ervas daninhas, além de reduzir a evaporação, atenuar os efeitos do acúmulo de sais no solo via água de irrigação e disponibilizar nutrientes às plantas (ABD EL-MAGEED; SEMIDA; ABD EL-WAHED, 2016; SAGLAM et al., 2017).

A palma forrageira é uma espécie xerófita que devido às suas características morfológicas e fisiológicas apresenta expressiva tolerância a ambientes com longos períodos de estiagem. Mesmo com essas características, estudos tem mostrado o bom desempenho desta cactácea em resposta ao uso da irrigação, com os quais é possível melhoriasno desenvolvimento e produtividade desta cultura (ALMEIDA et al., 2011; PEREIRA et al., 2015; QUEIROZ et al., 2016; SILVA et al., 2017a).

Porém, na utilização da irrigação é de grande importância o conhecimento das necessidades hídricas da cultura, como a evapotranspiração real e o coeficiente de cultivo, para um melhor planejamento do uso da água, visando economicidade e incrementos na produtividade (SILVA et al., 2017b). O balanço hídrico no solo é um recurso de baixo custo que pode subsidiar informações para a determinação destes parâmetros para o uso racional da água de irrigação e assim um melhor entendimento da dinâmica de água no sistema solo-planta-atmosfera (RODRIGUES CRUZ et al., 2005; LIMA et al., 2006; BYRNE; STORMONT; STONE, 2017; MOTA et al., 2018).

Este método do balanço de água no solo é de grande importância no estudo das relações hídricas entre ambiente e planta, sabendo-se assim que há poucos estudos com esse tipo de método para as regiões semiáridas (CONSOLI; INGLESE; INGLESE, 2013 SILVA et al., 2015a; PEREIRA et al., 2017b), em especialmente sob condições irrigadas envolvendo culturas como a palma forrageira, sendo a mesma de suma importância para a idealização de estudos nessa área (SILVA et al., 2015a).

Diante do exposto, acredita-se que a utilização de cobertura morta no sistema de cultivo da palma forrageira trará redução no consumo de água pela cultura, bem como melhorias no desempenho quantitativo da mesma, apresentando diferenças entre os valores de evapotranspiração da cultura, coeficiente de cultura e no rendimento produtivoao longo do seu ciclo, trazendo melhorias aos sistemas de cultivo em ambiente semiárido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização do ambiente

De toda a área terrestre do planeta, aproximadamente um terço é representada por regiões áridas e semiáridas, onde vivem aproximadamente 400 milhões de pessoas, ao passo que no Brasil, em especial na região Nordeste, o Semiárido corresponde a cerca de 1,03 milhão de km² do território nacional, abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Bahia e parte do Norte do Estado de Minas Gerais (Região Sudeste), fazendo-se 1.189 municípios, com aproximadamente 25 milhões de habitantes, cuja grande parte da população, busca seu sustento nas atividades agropecuárias (SILVA et al., 2014; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2017).

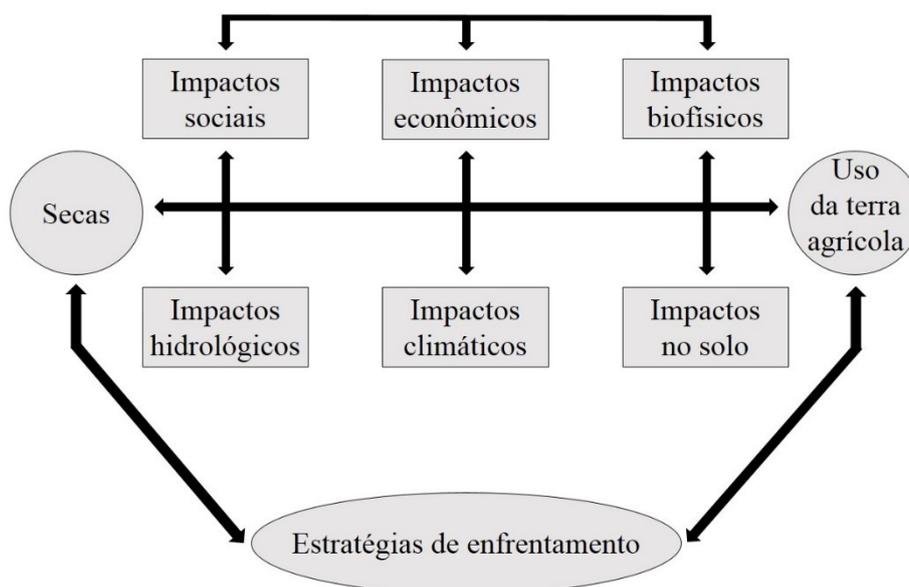
A região Nordeste do Brasil apresenta uma grande variação espaço-temporal no clima e no tempo, em escala intra e interanual, sendo 56,46% de seu território representado pela região semiárida (MEDEIROS et al., 2012). O Semiárido brasileiro (SAB) é marcado por apresentar grandes períodos de escassez hídrica, provocada principalmente pela irregularidade e má distribuição pluvial (*i.e.*, 350 a 800 mm ano⁻¹), apresentando em termos de evapotranspiração potencial (ETp) valores de até 2.000 mm ano⁻¹, com ampla variação na temperatura do ar (20,1 à 32,9°C) e umidade relativa do ar entorno de 60% (SILVA et al., 2014; PEREIRA et al., 2015). De acordo com Alves et al. (2014a) e Carneiro et al. (2014) estas condições estão relacionadas à alta incidência de radiação solar nesta região, tendo efeito também sobre a temperatura do solo e na evapotranspiração, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas.

De acordo com a classificação de Köppen, no SAB prevalece três tipos de clima: o BShw - semiárido, com curta estação chuvosa no verão e precipitações concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BShw' - semiárido, com curta estação chuvosa no verão-outono e maiores precipitações nos meses de março e abril e, o BShs' - semiárido, com curta estação chuvosa no outono-inverno e precipitações pluviais concentradas nos meses de maio e junho, apresentado dois períodos bem definidas, um chuvoso e outro seco, variando de quatro a seis meses e de seis a oito meses, respectivamente (PEREIRA FILHO; SILVA; CÉZAR, 2013; NASCIMENTO et al., 2013).

Além da má distribuição espacial e temporal das chuvas, as quais se concentram em um pequeno período de tempo, geralmente não mais de que quatro meses (SOUZA

et al., 2015), ocorre ainda o fenômeno das secas, provocada pelo déficit de água em um extenso período de meses ou anos. Assim, a seca pode ser classificada em quatro tipos distintos (*e.g.*, meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica) (YANG et al., 2018a). A seca meteorológica é causada por longos períodos de estiagem em meses ou anos subsequentes, com precipitações pluviárias abaixo da média para a região. Já a seca hidrológica é decorrente da insuficiência dos reservatórios superficiais e subterrânea (CUNHA et al., 2015) (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma das interações entre as secas e seus impactos sobre os sistemas de produção e socioeconômicos. Adaptada de Azadi et al. (2018).



De tal modo, quando aliada a seca meteorológica com a ação antropogênica, como o desmatamento de áreas, a introdução de espécies agrícolas não adaptadas as condições semiáridas do Brasil e o mal uso da terra, podem acarretar em um outro tipo de seca, denominado de seca agrícola, onde é afetada pela disponibilidade hídrica a níveis que não satisfazem o desenvolvimento das plantas (CUNHA et al., 2015), consequentemente, afetando a produção e produtividade das pequenas propriedades, onde são na sua maioria classificadas como agricultura de subsistência e dependem estritamente da agricultura de sequeiro (AYANLADE et al., 2018).

Com isso, o fenômeno das secas (*i.e.*, meteorológica, hidrológica e agrícola), quando se sobrepõem, culminam na chamada seca socioeconômica, onde está relacionada aos baixos desempenhos dos sistemas agrícolas e disponibilidade hídrica para desenvolvimento das atividades, acarretando em baixas produtividades agrícola e

pecuária, conseqüentemente, gerando insegurança alimentar e instabilidade de renda aos produtores, provocando o abandono das terras e o deslocamento de grande parte da comunidade rural para os grandes centros urbanos, provoca assim a desestabilização dos grupos mais pobres (GUTIÉRREZ et al., 2014; DJEBOU, 2017).

Além desses fatores climatológicos que afetam drasticamente a zona semiárida do Brasil, impactando diretamente nas condições socioeconômicas das populações dessa região, os solos dessa área em sua maioria não apresentam grande aptidão agrícola do ponto de vista físico, uma vez que são solos jovens na perspectiva pedogenético, solos pouco intemperizados, com pouca profundidade efetiva e baixa capacidade de retenção de umidade no perfil, influenciando na composição florística local e dificultando a agricultura de subsistência resultante da agricultura de sequeiro (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2012; OLIVEIRA et al., 2018).

A caatinga é a vegetação dominante dentro do SAB, apresentando-se bastante rústica e heterogênea quanto a sua composição florística, variando bastante de acordo com as condições meteorológicas (principalmente a precipitação pluvial) e edáficas para cada localidade dentro do SAB, possibilitando maior ou menor oferta de recursos as populações locais (TOMASELLA et al., 2018). Além dessa característica imposta pelos fatores ambientais, ações antrópicas tem contribuído para a degradação e avanço no processo de desertificação da Caatinga, devido a exploração desordenada dos recursos, refletindo no seguimento socioeconômico da região (MARIANO et al., 2018).

Além dos fatores já existentes, que dificultam as produções agropecuárias e a sustentabilidade das populações do SAB, vários estudos mostram forte tendência de impactos nesta região devido as mudanças climáticas, como redução das produtividades agrícola e pecuária, com o aumento da temperatura do ar e redução da precipitação pluvial (SILVA et al., 2017c; MARENGO et al., 2017; MARIANO et al., 2018). Devido à suscetibilidade dos ecossistemas agrícolas e da Caatinga as mudanças climáticas, a pecuária surgiu como o principal meio de sustentação financeira da população rural (NUNES et al., 2016; SILVA et al., 2017c).

As lavouras são mais vulneráveis as limitações ambientais, sendo considerada apenas como um subcomponente dos sistemas de produção prevaletentes (SOUZA et al., 2014). Neste contexto a criação de ruminantes (*e.g.*, bovinos, caprinos e ovinos) compreende a principal atividade pecuária desenvolvida, com maior concentração de forma extensiva, alimentando-se da vegetação nativa (*i.e.*, caatinga), apresentando por sua vez baixos índices zootécnicos (ALMEIDA et al., 2011).

No SAB as forrageiras constituem a principal fonte de alimento para os ruminantes domésticos, onde mais de 70% das espécies conhecidas que compõem a flora da Caatinga fazem expressivamente parte da dieta dos bovinos, caprinos e ovinos (COUTINHO et al., 2013; NUNES et al., 2016). Mesmo com toda essa importância na alimentação animal, as pastagens nativas sofrem forte influência da precipitação pluvial, sendo abundantes nos períodos chuvosos e limitada ou quase nula nos períodos secos do ano, acarretando em queda de produção dos rebanhos e prejuízos socioeconômicos aos produtores desta região (ALVES et al., 2014b). Assim a pecuária também torna-se vulnerável ao fenômeno das secas.

2.2 Palma forrageira e uso no semiárido

Devido a estacionalidade de produção da maior parte das plantas que compõem as pastagens nativas, é de grande importância o uso de espécies forrageiras (e.g., exóticas ou nativas) que sejam adaptadas as condições edafoclimáticas do SAB, oferecendo estabilidade aos sistemas produtivos, mitigando o déficit alimentar e os baixos rendimentos dos rebanhos nesta região (SANTANA NETO; OLIVEIRA; VALENÇA, 2015). Cândido et al. (2009) citaram algumas plantas de potencial forrageiro adaptadas às condições semiáridas, tais como: o capim-buffel (*Cenchrusciliaris*), a maniçoba (*Manihot* spp.), o sorgo forrageiro (*Sorghum* spp.) e a palma forrageira (*Opuntiasp.eNopaleasp.*).

Dentre as culturas citadas acima, a palma forrageira destaca-se devido ao seu elevado potencial de produção de fitomassa verde, quando comparada as demais, em regiões áridas e semiáridas sob baixa disponibilidade hídrica, tornando-se uma cultura viável para o sistema de produção (RAMOS et al., 2014).

Essa cactácea xerófita é nativa das Américas, tendo como centro de origem o México, podendo ser encontrada em quase todas as localidades do globo terrestre, persistindo em locais de clima árido ao temperado (ARUWA; AMOO; KUDANGA, 2018), desde latitudes 59° N à 52° S, tolerando grande amplitude na altitude, podendo ser encontrada desde áreas ao nível do mar, até regiões que ultrapassem os 5.000 m como as regiões localizadas no Peru (SILVA et al., 2015b).

Mesmo sendo uma planta nativa das Américas, é amplamente encontrada nos continentes Africano, Asiático, Europeu e Oceania, com as mais variadas finalidades (NHARINGO; MOYO, 2016). As espécies de palma, cultivadas em todo o mundo,

eram basicamente para a produção de forragem, mas nas últimas décadas tem intensificado pesquisas quanto ao uso desta planta em diversas áreas, tais como, na produção de fármacos, cosméticos, na alimentação humana, produção de bebidas alcoólicas, conservação de solos e recuperação de áreas degradadas, como matéria prima na produção de biocombustíveis, no tratamento de águas residuais (e.g., águas cinzas), dentro outros usos (ANDRADE-MONTEMAYOR et al., 2011; VOLPE; GOLDFARB; FIORI, 2018; ARUWA; AMOO; KUDANGA, 2018; CHAHDOURA et al., 2018).

No Brasil, essa cactácea foi introduzida por volta da segunda metade do século XIX no estado de Pernambuco, não expondo a finalidade de planta forrageira. Só a partir de 1902 que essa cultura passou a fazer parte da alimentação animal como planta forrageira alternativa nos estados de Pernambuco e Alagoas, afim de atenuar a baixa oferta de forragem nos períodos secos do ano (GALVÃO JÚNIOR et al., 2014).

Estima-se que atualmente o Brasil tenha 600 mil hectares ocupados pela cultura da palma, onde aproximadamente 90% deste total encontra-se na região Nordeste (550 mil ha). Utilizada basicamente na forma de volumoso na alimentação de ruminantes (OLIVEIRA et al., 2010; MARQUES et al., 2017). Essa grande utilização no Nordeste e principalmente na zona semiárida, está relacionada a grande produção de matéria seca (MS) da palma forrageira sobre estresse hídrico, quando comparada a outras plantas forrageiras (PEIXOTO et al., 2018).

Segundo Guevara et al. (2011) a palma pode atingir produtividade na ordem de 20 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ sob condições naturais, como média para todo o mundo. Para as condições do semiárido brasileiro, Silva et al. (2014) encontraram produtividade de 22,5 t MS ha⁻¹ em 12 meses de avaliação para o clone Miúda (*Nopaleacochinillifera* Salm-Dyck), sob condições naturais. Silva et al. (2015b) avaliando o clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), em condições de sequeiro no Semiárido pernambucano, encontraram produtividade de 15,6 t MS ha⁻¹ em dois anos de ciclo.

O satisfatório desempenho desta cactácea nas regiões semiáridas em todo o mundo, inclusive no SAB, está relacionado as características morfofisiológicas. Dentro dos mecanismos morfológicos e anatômicos de adaptação desta cultura, que a fazem suportar longos períodos de déficit hídrico, destaca-se: a modificação do caule em uma estrutura suculenta denominada de cladódios ou artículo, afim de armazenar água; a transformação das folhas em espinhos para diminuição da perda de água pela transpiração; presença de uma espécie camada de cera recobrando os cladódios; quantidade reduzida de estômatos; além de um eficiente sistema radicular, que

apresenta-se em 4 tipos distintos (*e.g.*, estruturais, absorventes, em esporão e desenvolvidas de aréolas) (OLIVEIRA et al., 2010; ROCHA, 2012; MARQUES et al., 2017).

Fisiologicamente, a palma apresenta metabolismo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), onde consiste na alta adaptabilidade as zonas áridas e semiáridas, permitindo que as plantas sobrevivam à calor extremo, baixas temperaturas e secas intensas, devido a sua alta eficiência no uso da água (MELGAR et al., 2017). As plantas dotadas deste mecanismo possuem maior eficiência por CO₂ fixado por unidade de água perdida, aproximadamente 3 e 6 vezes, quando comparadas as plantas de via fotossintética C4 e C3, respectivamente (LIU et al., 2018).

As plantas MAC consistem na abertura noturna dos estômatos para fixação do CO₂, onde as temperaturas do ar são mais amenas e a umidade mais elevada quando comparado ao período diurno, o CO₂ fixado é convertido em malato por meio de processos bioquímicos e armazenado nos vacúolos na forma de ácido málico. Durante o período diurno ocorre o processo de descarboxilação do ácido málico ao CO₂ para uso nos processos fotossintéticos, permanecendo com os estômatos parcialmente fechados, evitando a perda de água por transpiração (SOUZA FILHO et al., 2016; LIU et al., 2018).

Os principais clones de palma forrageira utilizados no SAB pertencem aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Os mais difundidos até início dos anos 2000 eram os clones Redonda, Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.) e a Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), onde os dois primeiros clones são suscetíveis a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* [Hemiptera: Dactylopiidae]) (VASCONCELOS et al., 2009; SILVA et al., 2015b).

Segundo Vasconcelos et al. (2009) vários palmais no Nordeste foram afetados por *D. opuntiae*, levando a grande redução dos palmais no SAB. Devido esses fatores, houve grande interesse das pesquisas em encontrar clones de palma resistentes a esta praga. Após pesquisas realizadas com esse intuito foi constatado que o clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) destacou-se com relação aos outros clones (VASCONCELOS et al., 2009; LOPES et al., 2010; GALVÃO JÚNIOR et al., 2014).

Após a seleção de clones resistentes a cochonilha do carmim, os sistemas de produção, passaram a apresentar mais estabilidade produtiva e diminuição de mortalidade das plantas, melhorando a oferta de volumoso ao longo do ano nos períodos

secos. Sendo que a palma forrageira tornou-se a base para alimentação dos ruminantes no SAB (COSTA et al., 2012).

Além da elevada adaptação às condições edafoclimáticas do SAB, a palma forrageira apresenta boa palatabilidade e aceitação por parte dos animais, sendo um alimento rico em energia e de boa digestibilidade, além do mais, é composto por cerca de 90% de água, podendo complementar parte da demanda hídrica e nutricional dos animais nos períodos de baixa disponibilidade de água e alimento (ALMEIDA, 2012).

Costa et al. (2012) relataram a utilização da palma forrageira e seus benefícios na alimentação dos ruminantes no semiárido brasileiro, mostrando-se ínfima diferença de ganho de peso diário, quando comparado a substituição do milho por palma forrageira, na terminação de cordeiros. Mostrando-se viável no desempenho dos animais, quando alimentados com volumoso de menor custo de produção e maior estabilidade, sem muitos riscos na produção.

Mesmo com toda essa importância para a região do SAB a palma forrageira não tem expressado todo o seu potencial, apresentando baixos rendimentos na produtividade (ALMEIDA et al., 2011). Por outro lado, de acordo com Rocha (2012), se bem manejada essa cultura pode atingir elevadas produtividades, trazendo estabilidade aos sistemas de criação.

Nesse contexto, por meio de práticas como espaçamento adequado, adubação (química e/ou orgânica), controle da vegetação espontânea, irrigação e práticas conservacionistas como cobertura do solo com restos vegetais, pode-se melhorar a produtividade da palma forrageira (LOPES, 2012). Em estudos efetuados na região do Sertão Central de Cabugi, no Estado do Rio Grande do Norte, citados por Almeida et al. (2011), mostraram produtividades superiores a 600 t ha^{-1} de massa verde no primeiro ano de cultivo para a palma forrageira com o uso adequado de técnicas de plantio e de irrigação.

Segundo Oliveira et al. (2010) a palma forrageira quando cultivada em regiões de baixas precipitações pluviométrica e elevadas temperaturas do ar noturnas, não apresentam bons desempenhos produtivos, sendo necessário a complementação hídrica por meio de irrigação.

2.3 Palma irrigada

A irrigação complementar é uma ferramenta de fundamental importância para alavancar o potencial produtivo das culturas e suprir a demanda por alimento dos animais nas épocas secas do ano, principalmente em regiões como o SAB, que apresentam baixos índices e elevada sazonalidade das chuvas (BLANCO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016).

Para a palma forrageira, embora seja uma planta bastante estudada no SAB, são poucos as inferências com relação ao uso da irrigação complementar nesta cultura, sendo mais comumente conhecidos os estudos relacionados ao manejo, diferentes clones, espaçamento de plantio, assim como adubação (PEREIRA et al., 2015). Mas, recentemente algumas pesquisas tem se voltado para esta área, fazendo-se uso das práticas já citadas anteriormente em associação com a irrigação (LIMA et al., 2010; LIMA et al., 2018).

Devido as características do SAB (*i.e.*, sazonalidade das chuvas, altas temperaturas do ar) as produtividades de palma nesta região variam muito de um ano para outro quando cultivada em sistemas de sequeiro, afetando diretamente a oferta de forragem para os rebanhos. No entanto, a prática de irrigação complementar vem para oferecer uma maior estabilidade desses sistemas de produção, afim de melhorar a constância da produção ao longo de todo o ano (REGO et al., 2014).

Segundo Rocha et al. (2017), além de melhorar a oferta de forragem ao longo do ano, o uso de irrigação complementar podem promover a antecipação da colheita da palma em até seis meses, quando comparados aos citadas na literatura que referem-se a dois anos. Ainda segundo os autores, pode-se obter satisfatório desempenho da cultura já nos primeiros quatro meses após o plantio, podendo suprir as necessidades dos rebanhos no período seco no primeiro ano de plantio.

Assim, é de grande importância os estudos desta prática na cultura da palma forrageira afim de melhorar o desempenho produtivas e suprir a necessidade de forragem dos rebanhos em áreas afetadas pela sazonalidade na oferta de forragem.

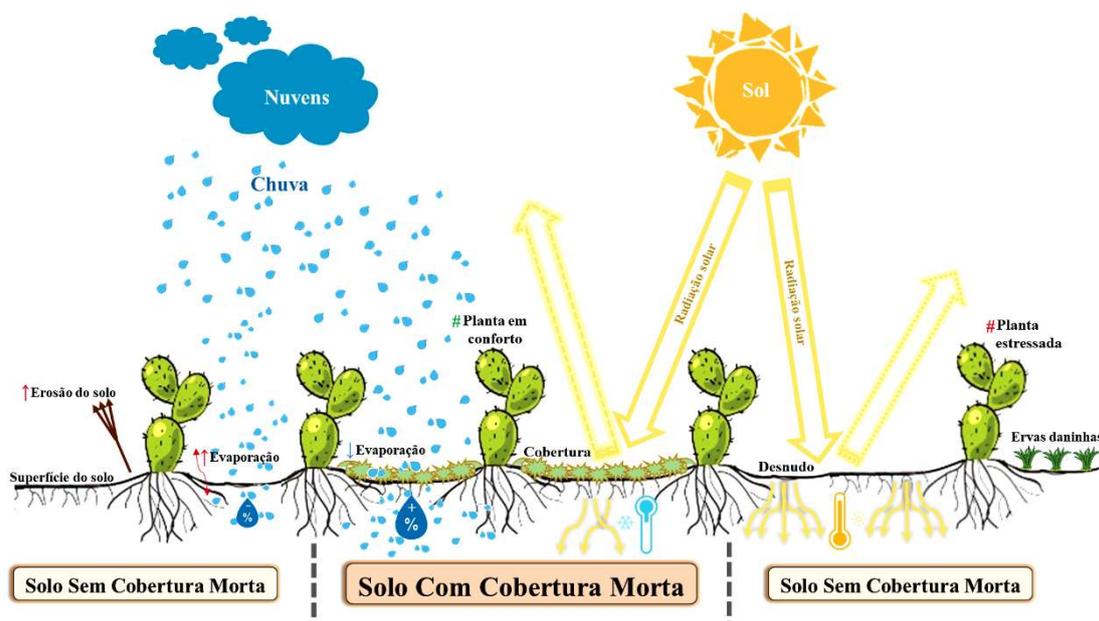
2.4 Cobertura morta

Além da irrigação, outra prática que vem sendo adotada nos últimos anos é a adoção de cobertura morta sobre o solo. A cobertura morta consiste na utilização de restos vegetais para o recobrimento do solo, sendo mais comumente utilizados os restos

vegetais de roçadas, restos de culturas comerciais, produtos de capineiras dentre outros (LOURENÇO et al., 2001; KADER et al., 2017).

Com isso a cobertura morta proporciona uma melhoria das condições hídricas e térmicas no solo, disponibilizando maior conteúdo de água as plantas, além de diminuir a amplitude térmica do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais superficiais (LI et al., 2018). Esses benefícios podem proporcionar maiores aumentos na biomassa do sistema radicular e da parte aérea das plantas (LUO et al., 2015) (Figura 2).

Figura 2. Efeitos da cobertura morta na interação do sistema solo-planta-atmosfera e seus benefícios na resiliência agrícola.



Além da conservação de água do solo e modificação da temperatura, a cobertura morta proporciona melhorias nos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, prevenindo erosão, diminuindo o impacto das gotas de chuva, melhorando a estrutura, porosidade e aeração, além de disponibilizar nutrientes as plantas após o processo de mineralização da matéria orgânica e estimulando a atividade da fauna microbiana benéfica no solo (YANG et al., 2018b; NAMAGHI et al., 2018; CHEN et al., 2018).

Essa prática promove inúmeros benefícios aos sistemas de produção, onde causa alterações no microclima local, prevenindo a evaporação excessiva da água retida no solo, uma vez que esse processo é governado unicamente pelas condições meteorológicas (*i.e.*, radiação solar, umidade relativa do ar, temperatura do ar e

velocidade do vento), Nessa situação a cobertura promove um impedimento físico, diminuindo a interação solo-atmosfera (ZRIBI et al., 2015; ZHANG et al., 2018).

Dessa forma, a presença de palhada na superfície do solo, promove diminuição na taxa de evapotranspiração das culturas, aumentando a eficiência do uso da água e consequentemente maiores produtividades, quando adicionada em quantidades adequadas (SILVA et al., 2012). Li et al. (2018) relataram que quantidades de palhada na ordem de nove toneladas por hectare foram suficientes para promover a conservação da água no solo e melhorar o rendimento das culturas em zonas semiáridas da China.

2.5 Evapotranspiração e coeficiente de cultura

Evapotranspiração (ET) é um dos principais componentes envolvidos na compreensão dos sistemas solo-planta-atmosfera, podendo ser responsável por até 95% do balanço hídrico em regiões áridas e semiáridas (KOOL et al., 2014). Esse termo refere-se a evaporação (E) direta da água no solo nu e transpiração (T) da cultura (UNKOVICH; BALDOCK; FARQUHARSON, 2018). Rana e Katerji (2000) relataram que cerca de 99% da água usada na agricultura é perdida na forma de ET, sendo dependente do tipo de solo, da água disponível e da resistência do dossel das plantas.

Informações sobre ET são fundamentais para o entendimento e gerenciamento dos recursos hídricos, bem como um melhor aproveitamento da água para irrigação em sistemas agrícolas, simulação de produtividade de culturas, projetos e balanço hidrológico (FANAYA JÚNIOR et al., 2012; MAČEK; BEZAK; ŠRAJ, 2018).

No uso racional da água de irrigação é de fundamental importância o conhecimento da evapotranspiração da cultura (ET_c), onde ajuda os produtores nas tomadas de decisão, quando aplicar e quanta água usar na irrigação (PAYERO; IRMAK, 2013). Onde, para a determinação ET_c, o método mais comum é a multiplicação do coeficiente de cultura (k_c) pela evapotranspiração de referência (ET_o) conforme Allen et al. (1998). Os valores de k_c dependem do tipo de cultura (*e.g.*, dossel, hábito de crescimento, rugosidade, recobrimento do solo, estágio de desenvolvimento da planta) e características edafoclimáticas do local de cultivo (PARK; BAIK; CHOI, 2017; FAN; THOMAS, 2018).

Tendo em vista a importância edafoclimática, combinadas com as características morfofisiológicas das culturas, influenciando diretamente na ET_c, é de extrema necessidade a mensuração desses componentes para cada localidade, afim de diminuir

os erros dos valores encontrados na literatura, onde muitas vezes não foram estimados para as mesmas condições de cultivo. Etc podem ser estimada por diversos métodos, sendo o balanço de água no solo bastante utilizado nos últimos anos (SOUZA et al., 2011).

2.6 Balanço de água no solo

A irrigação é uma prática de fundamental importância para o setor agrícola, sendo este responsável por cerca de 80% do consumo de água doce no mundo, e diante dos cenários de mudanças climáticas e demanda cada vez maior por água para a produção agrícola, a agricultura irrigada precisa melhorar a gestão do uso deste recurso (PIZETTA, 2015).

Diante disto, para o manejo racional da água de irrigação em um sistema de produção, faz-se necessário o conhecimento das necessidades hídricas da cultura, a qual sofre grande influência do requerimento energético do ambiente, da água disponível no solo e da resistência da planta em perder água para a atmosfera, sendo de grande relevância a mensuração da evapotranspiração (ET) e a variação do armazenamento de água no solo (Δh), onde o conteúdo volumétrico de água no solo (θ) é de grande valia para o cálculo desses componentes (ARAÚJO PRIMO et al., 2015; QUEIROZ et al., 2016; CARMO et al., 2017).

Sendo assim, a demanda de água para fins de irrigação pode ser definida através de dados atmosféricos ou pelo acompanhamento da umidade do solo, onde a estimativa por obtenção de dados atmosféricos, podem ser adquiridos através de modelos matemáticos, como é o caso do método de Hargreaves e Samani (1985) ou o de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998), estes são bastante aceitos, esses métodos são empíricos e estão passíveis de erros, mesmo estando calibrados devidamente (GAVA; SILVA; BAILO, 2016).

Já os métodos de leitura da umidade do solo, são medidas reais, podendo ser obtidas por medidas diretas, sendo o método gravimétrico (método padrão da estufa) bastante preciso e de custo relativamente barato, mas apresenta algumas desvantagens que inviabilizam o seu uso em algumas estudos, tais como, o tempo para a determinação de uma amostra (mínimo de 24 horas) e ser um procedimento destrutivo, sendo assim, mais utilizado para a calibração dos métodos indiretos (LYRA et al., 2010; SOUZA, et al., 2016; OLIVEIRA; ROQUE, 2016).

Os métodos indiretos permitem a quantificação do conteúdo de água no solo baseando-se em pulsos elétricos emitidos na matriz do solo por meio de sensores de umidade, que se baseiam nas propriedades físicas do solo (SOUZA, et al., 2016). Os sensores capacitivos apresentam ótima precisão, além de possibilitarem leituras instantâneas, fornecem leituras contínuas e não utilizam radiação gama (*e.g.*, sonda de nêutron), facilitando os estudos no manejo da água de irrigação (PIZETTA et al., 2017).

De acordo com Libardi (2005) o balanço hídrico no solo é considerado um método direto, que permite estudar a dinâmica de absorção de água pelas plantas em diferentes profundidades do perfil do solo. Para realizar o balanço de água no solo (BAS) é necessário a quantificação de todos os componentes de entrada de água no solo (fluxos positivos), tais como: precipitação (P); irrigação (I); ascensão capilar (+Q); deflúvio superficial e subsuperficial de entrada (R_e e R_e' , nesta ordem). Já os componentes de saída consistem em: evapotranspiração (ET); drenagem profunda (-Q) e deflúvio superficial e subsuperficial de saída (R_s e R_s' , nesta ordem), cuja a soma desses componentes resultam na variação de armazenamento de água no solo (Δh) (MORAES et al., 2015).

Para clones de palma forrageira são escassas informações sobre a necessidade e uso da água, assim como a interação desta cultura com o ambiente, em particular no que diz respeito à dinâmica da água do solo e à evapotranspiração (ET), gerando controvérsias quanto a baixa exigência hídrica dessa cultura (QUEIROZ et al., 2015; SILVA et al., 2015a).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Quantificar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura da palma forrageira em cultivos sem e com o uso de cobertura morta no Semiárido pernambucano.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os componentes do balanço de água no solo cultivado com clone de palma forrageira em dois sistemas de cultivo;

- Comparar a redução da necessidade de reposição de água, via irrigação, em decorrência do uso de cobertura morta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizado no município de Serra Talhada – PE (Latitude 7°59' Sul; Longitude 38°15' Oeste e Altitude 431 m), região Semiárida do Brasil. O clima segundo a classificação de Köopen, é do tipo BShw', com os verões chuvosos e os meses frios, secos (ALVARES et al., 2013), com umidade relativa do ar próximo de 63%, precipitação média de 642,1 mm ano⁻¹ e temperaturas médias do ar variando entre 20,1 e 32,9 °C, resultando em um balanço hídrico negativo (PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2015a). O solo da área experimental foi classificado como sendo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso, conforme metodologia descrita pela EMBRAPA, 2013.

4.2 Tratos culturais, delineamento experimental e tratamentos

Antes da implantação do experimento foi realizado o preparo do solo, que consistiu em aração e gradagem. Para o plantio da área foi utilizado o seguinte clone de palma forrageira: Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta*(Haw.) Haw.], disposto no espaçamento 1,60 x 0,40 m, com um estande de 15.625 plantas por hectare. A área foi implantada em março de 2011 e o experimento foi conduzido entre os meses de novembro de 2014 e novembro de 2015, com as plantas de palma forrageira no seu quarto ciclo produtivo. Foram efetuadas capinas manuais sempre que se fez necessário. Durante o período experimental foram efetuadas duas adubações químicas NPK na formulação 14-00-18+16 S, sendo aplicado 525 kg ha⁻¹ (73,5 kg N ha⁻¹; 94,5 kg K₂O ha⁻¹ e 84 kg S ha⁻¹).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas (5x2), sendo que as parcelas foram compostas pelas diferentes disponibilidades hídricas (25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração de referência)

mais a condição em sequeiro, e as subparcelas por dois sistemas de plantio (com e sem cobertura morta sobre o solo), com quatro repetições. Totalizando 40 unidades experimentais.

A irrigação foi realizada com base na evapotranspiração de referência (ET_o), que foi estimada pelo método Penman-Monteith, parametrizado pelo Boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998), utilizando dados de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada a 1,5 km da área experimental. Os dados de precipitação foram registrados por um pluviômetro automático instalado na área experimental.

Para a aplicação da lâmina de água, o sistema de irrigação adotado foi o gotejo, com fitas gotejadoras a 0,25 m de distância da planta (cladódio basal) e emissores espaçados a 0,40 m, operando a uma pressão de 1 atm que resultou em vazão de $1,32 \pm 0,12 \text{ L h}^{-1}$, e eficiência de distribuição de 93%. A água utilizada para irrigação das plantas foi proveniente do Açude Saco, a qual apresentava uma condutividade elétrica variando de 1,6 e 2,5 dS m⁻¹ durante o período avaliado. A cobertura morta utilizada nas subparcelas, foi composta de Capim corrente (*Urochloamosambicensis*(Hack.) Dandy) e Malva branca (*Sida cordifolia*), obtidas através de capinas manuais realizadas na área experimental. Cerca de 8,2 t ha⁻¹ deste material foi colocado em cada subparcela, sem a posterior reposição durante o período experimental.

4.3 Características físico-hídricas do solo

Foi realizada a coleta de 24 amostras de solo, sendo 12 amostras de solo deformado e 12 indeformado, nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm, totalizando quatro amostras para cada profundidade, para a determinação das propriedades físico-hídricas (*i.e.*, densidade aparente e do solo, curva de retenção, porosidade e frações granulométricas, condutividade hidráulica do solo e potencial total de água no solo). Essas amostras foram retiradas com o auxílio de trado tipo “Uhland” e anéis volumétricos com dimensões de 5,0 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro interno.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em latas de alumínio (81 x 75 mm) com tampa e identificadas. Estas foram pesadas para a obtenção da massa úmida e posteriormente levadas à estufa com temperatura de 105 °C e pesadas novamente, após 48 horas para a determinação da massa seca do solo. Posteriormente, as amostras foram enviadas ao 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 físicas e químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso cultivado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) cv. Orelha de Elefante Mexicana, Serra Talhada, PE Semiárido brasileiro

Profundidades (m)	ρ_a	ρ_p	ϕ_t	Areia	Silte	Argila
	gcm^{-3}		%	g kg^{-1}		
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
pHH ₂ O	P		Ca	Al	Na	K
	mg dm^{-3}		$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$			
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.

Por meio da aplicação do método do perfil instantâneo foram obtidos os valores do potencial total de água no solo e a condutividade hidráulica, onde estes foram mensurados a cada 0,10 m até uma profundidade de 0,80 m. As equações matemáticas em função da umidade do solo foram estabelecidas, conforme descrito por Araújo Primo et al. (2013).

4.4 Monitoramento da umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo ao longo do tempo foi realizado por meio de uma sonda capacitiva (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltd., Austrália). Para tanto, foram instalados 40 tubos de acesso de PVC (policloreto de vinila), de forma que todas as repetições de todos os tratamentos foram contempladas com um tubo de acesso. Os tubos de acesso foram inseridos verticalmente até a profundidade de 0,70 m no solo, ficando apenas 0,05 m acima da superfície do solo, sendo vedados nas extremidades, para impedir a entrada de água. Esses tubos de acesso ficaram a uma distância de 0,10 m do cladódio basal (cladódio mãe), nas fileiras centrais dos tratamentos. Os tubos foram instalados seguindo recomendações conforme o fabricante (SENTEK, 2001).

Para o uso da sonda capacitiva fez-se necessária a sua calibração nas condições edáficas do experimento, conforme descritas por Araújo Primo et al. (2015). As leituras com a sonda de capacitância foram realizadas três vezes por semana: segundas-feiras, quartas-feiras e sextas-feiras, nos horários que antecederam os eventos de irrigação, entre janeiro a novembro de 2015.

4.5 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. Na determinação do balanço de água no solo foi utilizado o método proposto por Libardi (2005), que se baseia na conservação da massa da água em um volume conhecido de solo, descrito pela Equação 1:

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

em que:

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

A quantificação da variação do armazenamento de água no solo (Δh_L) foi determinada pela diferença dos valores 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 pluviométrica (P) foi monitorada com auxílio de um pluviômetro automático (S-RGB-M002) instalado na área experimental, seus valores serão integrados para o intervalo de sete 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 , mm) foi estimado utilizando uma metodologia proposta pelo Serviço de Conservação dos Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), denominado método do “Número da Curva”, e desenvolvido para grandes volumes de chuvas, levando em consideração o tipo de solo, o seu uso, a umidade inicial e as 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:

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), onde pôde-se determinar ascensão capilar (AC) valores positivos e drenagem profunda (DP) valores negativos.

A densidade do fluxo (q) foi quantificada a partir da equação proposta por Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005), 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}); $\Delta\psi_t/\Delta z$ – gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas de 0,50 e 0,70 m (SILVA et al., 2015).

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, pôde 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., 2015).

A evapotranspiração (ET , mm), foi quantificada a partir do resíduo da equação do balanço de água no solo (Equação 1), cujos componentes foram calculados para intervalos de 14 dias, resultando em 21 períodos ao longo do tempo experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Datas de início e término dos 21 períodos em que foram acumulados os componentes do balanço de água no solo, durante o período de janeiro de 2015 a novembro de 2015, Serra Talhada-PE

Período	Data de Início	Data de Término
1	17-Jan-2015	30-Jan-2015
2	31-Jan-2015	13-Fev-2015
3	14-Fev-2015	27-Fev-2015
4	28-Fev-2015	13-Mar-2015
5	14-Mar-2015	27-Mar-2015
6	28-Mar-2015	10-Abr-2015
7	11-Abr-2015	24-Abr-2015
8	25-Abr-2015	08-Mai-2015
9	09-Mai-2015	22-Mai-2015
10	23-Mai-2015	05-Jun-2015
11	06-Jun-2015	19-Jun-2015
12	20-Jun-2015	03-Jul-2015
13	4-Jul-2015	17-Jul-2015
14	18-Jul-2015	31-Jul-2015
15	01-Jul-2015	14-Ago-2015
16	15-Ago-2015	28-Ago-2015
17	29-Ago-2015	11-Set-2015
18	12-Set-2015	25-Set-2015
19	26-Set-2015	09-Out-2015
20	10-Out-2015	23-Out-2015
21	24-Out-2015	06-Nov-15

O coeficiente de cultura (k_c) foi determinado através da razão entre a evapotranspiração real e os valores de evapotranspiração de referência, conforme Equação 9:

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

em que:

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

O k_c foi estipulado para cada estágio de desenvolvimento da cultura para ambos os tratamentos adotados com e sem cobertura morta sobre o solo.

Para a determinação do coeficiente da cultura foram utilizados como base a evapotranspiração real da cultura submetida ao tratamento que recebeu lâmina de irrigação de 50% da evapotranspiração de referência, a qual proporcionou o melhor desempenho da cultura em estudo, para os sistemas sem cobertura e com cobertura morta sobre o solo.

4.6 Determinação dos estádios fenológicas

Medidas biométricas de três plantas de cada subparcela foram tomadas ao longo do tempo. O comprimento e a largura dos cladódios foram registrados seguindo os procedimentos adotados por Silva et al. (2015b). A área ocupada pelos cladódios foi estimada com base em seu comprimento e largura, utilizando a equação matemática sugerida por Silva et al. (2014). O índice de área de cladódio (IAC, $m^2 m^{-2}$) foi calculado de acordo com Pinheiro et al. (2014), usando os dados de comprimento e largura dos cladódios.

A análise de regressão foi usada para testar a associação entre IAC com o número de dias após o corte. Regressões foram realizadas com modelos sigmóides. Modelos com coeficientes de determinação maiores que 0,90 e equações e parâmetros significativos ($p < 0,05$), utilizando os testes F e t, nessa ordem, foram derivados do cálculo das taxas diárias de IAC. Os valores diários foram integrados para obter a taxa IAC ao longo do período experimental, sendo este utilizado para identificar as mudanças de estádios da cultura.

Os estádios fenológicos da palma (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) foram determinados usando como base a taxa do índice de área do cladódio (IAC), onde a mudança de estágio fenológico I (F1) para estágio fenológico (F2) corresponde a 0,5 do pico máximo da taxa de IAC, para mudança da F2 para o estágio fenológico III (F3) quando atingiu pico máximo da taxa IAC e de F3 para o estágio fenológico IV (F4) quando o declínio da taxa IAC atingiu 0,25 do seu pico máximo. As escolhas desses valores tiveram como base as mudanças de kc em relação a taxa IAC para os tratamentos sem e com cobertura morta sobre o solo recebendo 50%ET_o de lâmina de irrigação.

Os dados obtidos foram relacionados aos graus dias acumulados (GDA), considerando a temperatura base de 22 °C, conforme a metodologia descrita por Araújo Júnior et al. (2017).

4.7 Análise de produtividade

A palma forrageira foi colhida após um ano de ciclo produtivo, no dia 09 de novembro de 2015. Na colheita foram ignoradas as fileiras das extremidades de cada parcela (bordadura) e nas fileiras que seriam avaliadas (centrais) foram desprezadas as duas primeiras e as duas últimas plantas, restando na área útil, 22 plantas de palma. Para obter os dados da massa fresca e seca, foram selecionadas três plantas representativas de cada subparcela, onde foram pesados verdes (MV) e amostrados dois cladódios por planta (cladódios de primeira e segunda ordem), em seguida levados ao laboratório para pesagem e secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante, que foi quantificado em balança analítica. Com esse material, foram realizadas determinações de massa seca (MS), conforme os métodos descritos por Detmann et al. (2012), em seguida os dados foram extrapolados para se determinar a produtividade em toneladas por hectare.

4.8 Análise estatística

Os dados adquiridos dos resultados dos componentes do balanço de água no solo foram submetidos à estatística descritiva. Em seguida, os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade. Quando significativo, à análise de variância

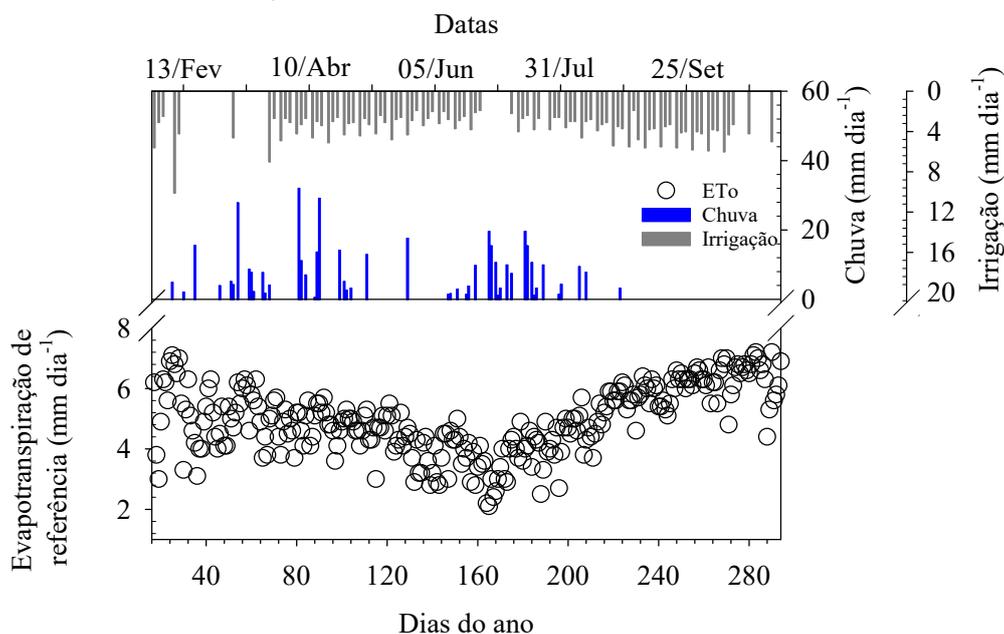
(ANAVA) foi aplicada, e quando necessário os contrastes das médias foram submetidos ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre 17-Jan-2015 à 05-Nov-2015a precipitação pluviométrica (P) acumulada foi de 418,2 mm, concentrando-se entre os períodos 1 e 14, com exceção do período 8 (07-Mai-2015) para o qual não foram contabilizados eventos de precipitação. Para a mesma época, o total acumulado de P mais irrigação foi de 764,76 mm, quando submetido a lâminas de 50% da evapotranspiração de referência (ET_o).

Para a precipitação pluviométrica, observa-se que foi um ano atípica com relação ao volume precipitado (418,2 mm), diferindo da precipitação média anual para o município de Serra Talhada, representando apenas 65,13% da normal climatológica, que segundo Silva et al. (2015) e Pereira et al. (2015) é de 641,1 mm e 642 mm, respectivamente (Figura 3), corroborando com esses autores, Jardim et al. (2017) afirmaram magnitude de 641,1 mm para o mesmo município. Esses baixos valores de precipitação para o ano de 2015 podem estar relacionados ao evento El Niño-Oscilação Sul, que em anos de ocorrência causam eventos extremos nos regimes de precipitação (*i.e.*, excesso de chuvas ou secas) em várias regiões do planeta, inclusive proporcionando redução nos eventos de precipitação pluvial no Nordeste brasileiro (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

Figura 3. Componentes do balanço de água no solo, durante o período de janeiro de 2015 a novembro de 2015, Serra Talhada-PE.



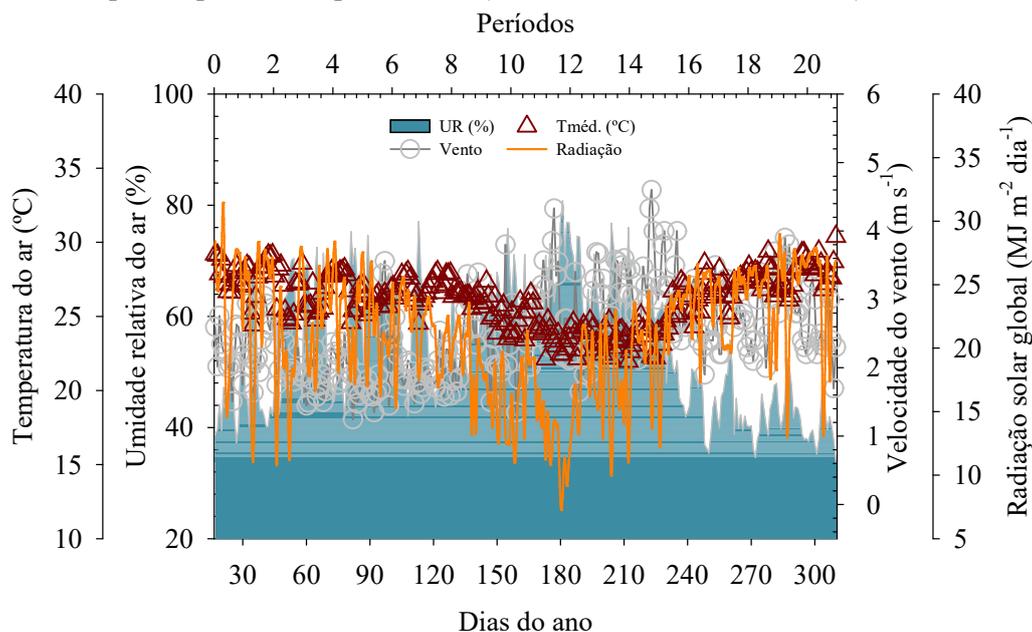
Os maiores valores de ETo foram encontrados para o período entre 17 e 30 de janeiro de 2015 (período 1), com média de 6,11 mm dia⁻¹ e entre o final de agosto e o início de novembro (períodos 16 ao 21), os quais apresentaram valor médio de 6,18 mm dia⁻¹. Nos outros períodos observaram-se a ETo próximas à 4,45 mm dia⁻¹. Essa diferença nos valores médios de ETo estão relacionados a variação na quantidade de radiação ao longo do ano que decorre da variação da posição da terra em relação ao sol no período. A radiação solar é o elemento meteorológico que mais afeta a evapotranspiração (ET), influenciando também na temperatura média do ar e na umidade relativa do ar, os quais refletem diretamente na demanda evapotranspirativa de um determinado local (DALMAGO et al., 2006; PEREIRA et al., 2017).

Esses valores de ETo corroboram com os encontrados por Pereira et al. (2017), onde estudaram a evapotranspiração da cultura do girassol, no município de Serra Talhada, PE, Semiárido brasileiro, encontraram valores de ETo médios próximos de 6 mm dia⁻¹, estimados pelo método de Penman-Monteith FAO 56. A determinação da ETo é de suma importância para o cálculo das lâminas de reposição de água numa área irrigada.

O comportamento da temperatura média do ar seguiu o mesmo comportamento da radiação solar global incidente, onde os menores valores encontram-se nos meses de junho a agosto e com tendência crescente nos demais meses do ano (Figura 4). A

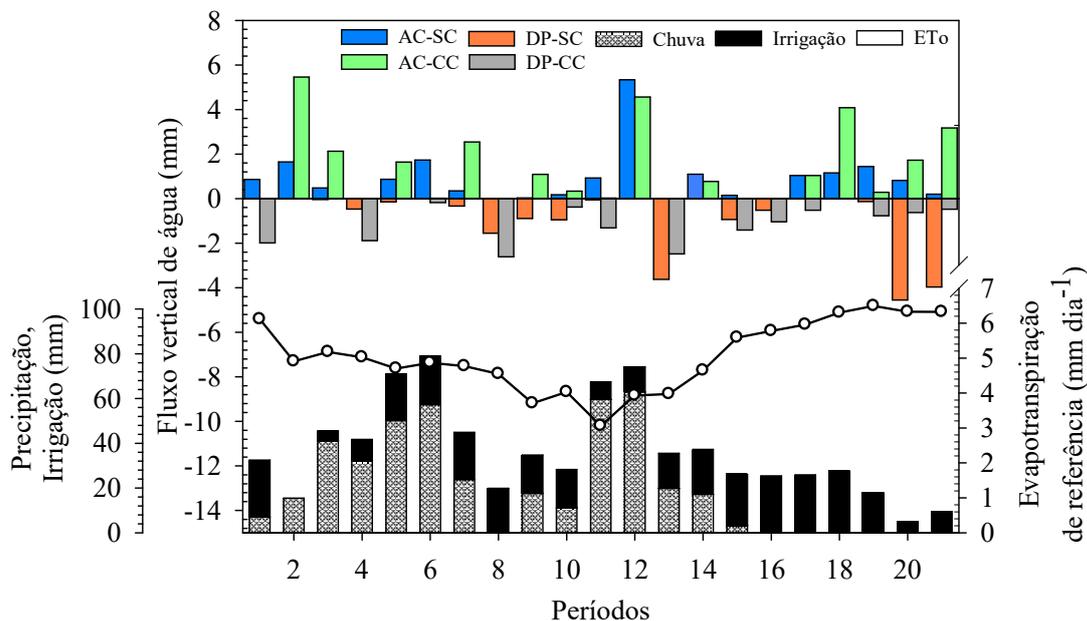
umidade relativa do ar tem um comportamento inversamente proporcional a ETo, quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser a demanda evaporativa da atmosfera e conseqüentemente a evapotranspiração, isso quando não houver restrição hídrica. De maneira geral, quanto maior a incidência de radiação solar, maior a temperatura do ar e a velocidade do vento (TAGLIAFERRE et al., 2015).

Figura 4. Comportamento das variáveis meteorológicas para o município de Serra Talhada-PE para o período experimental (17-Jan-2015 à 05-Nov-2015).



Quando avaliados os componentes do balanço de água no solo para a palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana, para os dois sistemas de cultivo sem e com o uso de cobertura morta sobre o solo para os 21 períodos analisados, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos dentro de cada período, tanto para a drenagem profunda (DP) quanto para a ascensão capilar (AC) (Figura 5).

Figura 5. Fluxo vertical de água no solo cultivado com palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana sob dois sistemas de cultivo sem e com o uso de cobertura morta no semiárido pernambucano.



AC-SC = Ascensão capilar sem cobertura morta; AC-CC = Ascensão capilar com cobertura morta; DP-SC = Drenagem profunda sem cobertura morta; DP-CC Drenagem profunda com cobertura; ETo = Evapotranspiração de referência

Pode-se observar que o componente DP, foi relativamente baixo para ambos os sistemas, sem e com cobertura morta sobre o solo para a lâmina de 50% da ETo, apresentando valores na ordem de -24,26 mm e -15,66mm, respectivamente, para os 294 dias avaliados. Esses valores estão abaixo dos encontrados por Queiroz et al. (2016), que trabalharam com a mesma classe de solo no Semiárido pernambucano, encontraram valores médios de 78,26 mm durante o período avaliado, com uma disponibilidade hídrica média 1094,8 mm (P + I). Essa diferença nos valores encontrados neste trabalho e os relatados na literatura estão relacionados a baixa disponibilidade hídrica ao longo do período avaliado (764,76 mm, P + I), não sendo suficiente para promover grandes perda de água por drenagem profunda.

Inicialmente quando avaliado a DP para o sistema sem cobertura morta (SC) dentro dos períodos 01 ao 07 (30-Jan-2015 à 24-Abr-2015), observa-se que esses valores foram extremamente baixos (-0,99 mm), embora tenha ocorrido 54,22% do volume total de chuva entre esses períodos e 29,85% das lâminas de irrigação, com um total de 330,2 mm (P+I), sendo 8,08% do total da precipitação perdida por escoamento superficial (R).Esse baixo valor de DP estão relacionados a capacidade de retenção de água no solo e suas propriedades hidráulicas, onde a água infiltrada não foi suficiente para abastecer a camada controle (Z=0,60 m) e promover DP (BENNETT; BISHOP;

VERVOORT, 2013). Uma vez que essa região já vinha sofrendo com níveis de precipitação abaixo da normal climatológica desde o ano 2012 (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

Além das condições físico-hídricas do solo, outro fator que influencia contra a saturação desta camada controle é a evapotranspiração que contribui como um componente de saída de água do sistema (KOOL et al., 2014), esses mesmos autores afirmam que a ET pode representar até 95%. Essa alta demanda atmosférica dificulta consideravelmente a saturação do solo.

Já para o sistema com cobertura morta (CC) pode-se observar maior DP (-4,05 mm) quando comparado ao sistemas SC (-0,99 mm) para os mesmos períodos (01 ao 07, 30/Jan à 24/Abr, nesta ordem). Apesar deste incremento, os valores ainda são considerados baixos e podem estar associados ao uso da cobertura morta, a qual proporciona proteção das camadas superficiais do solo contra a incidência direta da radiação solar, diminuindo a evaporação da água no solo (ZHANG et al., 2018), favorecendo o maior conteúdo de água no solo (LI et al., 2018). Essas condições favorece a saturação mais rapidamente e permitindo que a água se infiltre pela zona radicular e atinja a camada controle mais facilmente, promovendo a DP (XIE et al., 2018).

Neste sentido torna-se evidente os benefícios do uso de cobertura morta em ambiente semiárido, cultivado com palma forrageira, para melhoria da disponibilidade de água no solo à cultura.

Quando avaliados os demais períodos (08 ao 21, 08/Mai à 06/Nov, nesta ordem), observa-se que houve uma tendência no aumento dos volumes de água perdida por DP para os dois sistemas (SC e CC) com valores de -23,27 mm e 11,61 mm, respectivamente. Esses aumentos nos valores de DP estão relacionados a persistência dos eventos de precipitação pluvial e de irrigação ao longo do período (191,4 e 243,16 mm). Promovendo um aumento no conteúdo de água do solo e favorecendo o componente DP. Para esses mesmos períodos o sistema CC teve redução da água perdida por drenagem em 50,1% com relação ao SC.

Essa diminuição está relacionada tanto a redução de água no sistema (e.g., período 16 ao 21, 0,0 mm de precipitação), e ao aumento do índice de área foliar da palma forrageira, onde esse fator segundo Ayyoub et al. (2017) impacta diretamente no aumento da transpiração da cultura, diminuindo o conteúdo de água no solo e conseqüentemente a DP.

Quando comparado os valores de AC entre os sistemas em estudo, observa-se que o sistema com cobertura morta apresentou os maiores valores (+28,88 mm) no período em estudo, quando comparado ao sistema sem cobertura morta que apresentou valores próximos de +17,22 mm, para o mesmo período (Figura 5). Esses eventos se mostraram mais regulares ao longo dos 21 períodos do que os eventos de DP.

A quantificação de AC para os primeiros períodos pode estar relacionado a presença de água em uma camada impermeável logo abaixo da camada controle (0,60 m) recorrente de precipitação em anos anteriores, onde a mesma tende a ascender por meio da franja capilar formada pelos microporos do solo em decorrência da diferença de potencial entre as camadas do solo, com tendência de deslocamento da água de um local de maior potencial para um de menor potencial (LIBARDI, 2005).

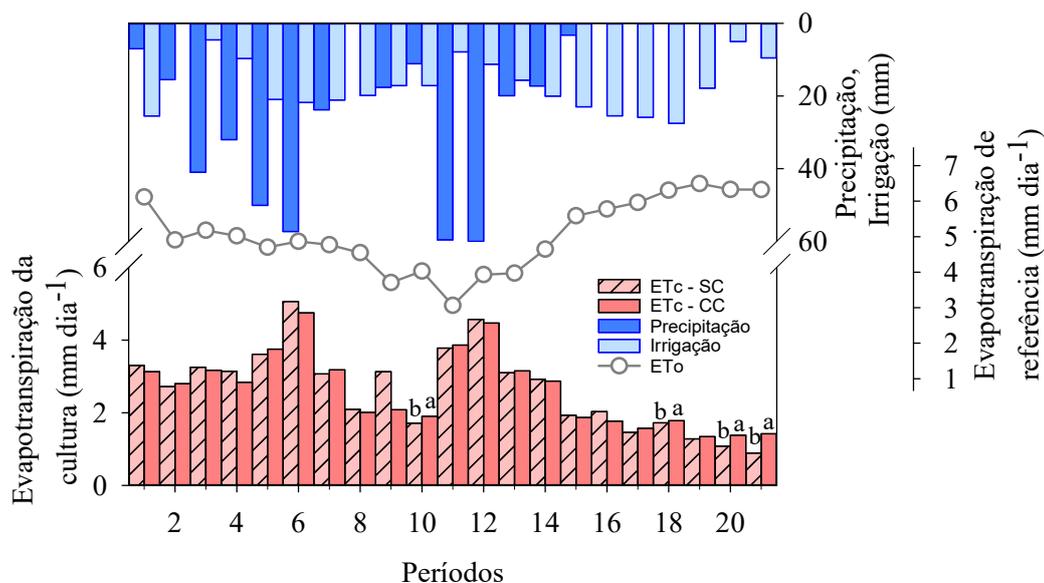
Os maiores valores de AC para o tratamento CC (+28,88 mm) deve-se ao fato de uma maior transpiração da cultura, acarretando em maior retirada de água da camada controle (*i.e.*, zona do sistema radicular), proporcionando redução do potencial nesta área e assim proporcionando maiores valores de AC. Para Li et al. (2018) o uso de cobertura morta proporciona maior desenvolvimento das culturas, inclusive o índice de área foliar, que segundo Fausto et al. (2017) está estritamente ligado a taxa de transpiração das culturas.

A presença de cobertura morta induz ao aumento do desenvolvimento das culturas (AQUINI et al., 2015; SOUZA et al., 2016). Vários fatores devem ter contribuído para um maior desenvolvimento das plantas submetidas ao sistema de plantio com cobertura morta, dentre eles: fornecimento de nutrientes após mineralização da matéria orgânica, melhoria da estrutura do solo, acarretando em melhor aeração, diminuição da variação térmica do solo, redução de perdas de água por evaporação, aumentando a eficiência do seu uso, proporcionando um melhor aproveitamento desta pelas plantas (CARVALHO et al., 2011; BORGES et al., 2014; ELIAS et al., 2016).

Na Figura 6 são apresentados os valores de evapotranspiração real da cultura (ET), em consequência da lâmina de 50% da ETo, que proporcionou os maiores rendimentos da palma forrageira para os dois sistemas de cultivo SC e CC, quando comparada as demais lâminas (0%, 25%, 75% e 100% da ETo, dados não apresentados). Como a cultura estabeleceu o seu máximo rendimento, aceita-se que esteve sobre condições ótimas de cultivo, podendo a ET ser chamada de evapotranspiração da cultura (ETc) (PEREIRA et al., 2017b). Observa-se que entre 21 períodos avaliados, apenas os períodos 10, 18, 20 e 21 (05/Jun, 25/Set, 23/Out e

06/Nov, desta ordem) apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos SC e CC.

Figura 6. Evapotranspiração da cultura em palma forrageira para dois sistemas de plantio sem e com o uso de cobertura morta. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Os resultados de evapotranspiração da cultura da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) clone Orelha de Elefante Mexicana, obtidos em condições de solo SC e CC apresentaram mesma tendência de comportamento. Essa tendência está relacionada a disponibilidade de água que o sistema recebeu, seja por precipitação ou via irrigação, onde, quanto maior a disponibilidade hídrica para ambos os sistemas (SC e CC) maior a evapotranspiração da cultura.

Os valores acumulados de ETc para os dois sistemas foram de -782,01 mm e -771,19 mm (SC e CC, respectivamente). Havendo uma redução de apenas 1,38% no consumo de água pela cultura da palma forrageira cultivada no sistema CC. Essa baixa diferença está relacionada aos efeitos compensatórios da transpiração no componente evapotranspiração, onde por um lado a cobertura morta contribuiu para redução da evaporação da água no solo, mas promoveu melhorias no sistema, proporcionando maior desenvolvimento da cultura, aumentando o índice de área foliar, refletindo diretamente no aumento da transpiração das plantas.

Segundo Unkovich, Baldock e Farquharson (2018) é de fundamental importância diante dos cenários de mudanças climáticas, o uso de técnicas que venha a desviar a evaporação do solo para a transpiração, uma vez que a evaporação, fazendo parte do componente ET_c, é improdutivo.

Observa-se que do período 01 ao 16 (30/Jan à 28/Ago) houve uma maior evapotranspiração da cultura da palma forrageira para o sistema SC (-691,97 mm) quando comparado ao sistema CC (-666,23 mm). Essa diferença está atrelada aos benefícios promovidos pelo uso da cobertura do solo. Silva et al. (2012) afirmaram que o uso de cobertura morta em sistemas de cultivo proporcionaram reduções das perdas de água por evaporação quando utilizado em níveis adequados.

Quando avaliados os valores de ET_c para os períodos 17, 18, 19 e 21, observa-se que houve uma inversão na ET_c dos sistemas SC e CC, onde o sistema CC supera o SC em 14,22%, esse fato é consequência da diminuição e decomposição da cobertura morta para esse sistema (*i.e.*, não houve reposição da mesma), aumentando a evaporação da água no solo, associada ao aumento do IAC que proporcionou maiores valores de transpiração e consequentemente da ET_c. Para Rosas-Anderson et al. (2018), a evaporação do solo pode chegar a até 80% do total da ET_c, a depender da cultura em estudo. A evaporação da água do solo está diretamente relacionada ao índice de cobertura do solo (ICS).

Como para a palma forrageira, o ICS apresenta baixos valores (QUEIROZ et al., 2016), e a redução da palhada sobre o solo, tem uma maior penetração da radiação solar na superfície, promoveu aumento da taxa de água evaporada. Deste modo, para o sistema de plantio da palma forrageira a qual não apresenta um alto ICS e apresenta um ciclo relativamente longo, quando comparada às culturas anuais, é de fundamental importância a manutenção da cobertura morta do solo.

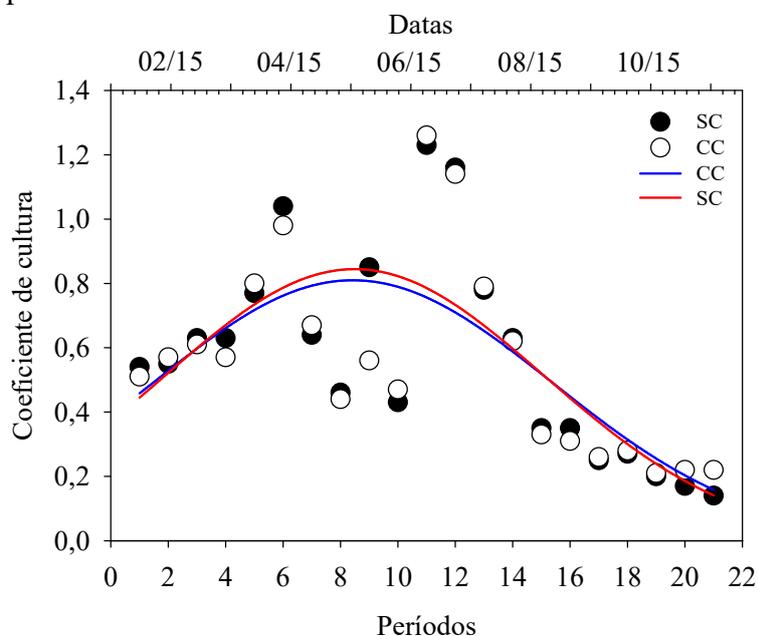
Murga-Orrillo et al. (2016), trabalhando com a cultura do feijão-caupi utilizando cobertura morta sobre o solo, obtiveram redução de 50,5 mm na ET_c para os 88 dias de ciclo. Essa redução está associada diretamente ao uso da cobertura morta, e da estrutura do dossel da planta, o qual recobre mais que 80% do solo, diminuindo o componente evaporação. Além desses fatores, o curto ciclo da cultura, quando comparada à palma forrageira, não possibilita grande decomposição da palhada sobre o solo.

Os maiores valores de ET_c média por período foram encontrados para 10-Abr-2015 (período 6) para ambos os sistemas SC e CC (-5,06 mm e -4,75 mm, respectivamente), sendo associada à grande disponibilidade de água e alta demanda

atmosférica. Já os menores valores para essa variável concentraram-se nos três últimos período (09-Out à 06-Nov) com média de -1,08 mm (SC) e -1,38 mm (CC), esse diminuição pode estar relacionada redução da água disponível no sistema.

Com relação ao coeficiente de cultura (k_c) da palma forrageira (Figura 7), pode-se observar diferença significativa ($p < 0,05$) par aos períodos 10, 18, 20 e 21 (05-Jun, 25-Set, 23-Out e 06-Nov, nesta ordem). Esses valores estão em função da razão entre ET_c/ET_o , onde obedeceram o mesmo comportamento ET_c . Os maiores valores de coeficiente de cultura foram observados no período 11 (19-Jun) com média de -1,23 mm dia^{-1} para o sistema SC e -1,26 mm dia^{-1} para o sistema CC.

Figura 7. Coeficiente de cultura (k_c) da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana em função da adoção de sistemas sem e com cobertura morta sobre o solo, no Semiárido pernambucano.



Os coeficientes de cultura médio para ambos os tratamentos (SC e CC) ao longo do período avaliado (294 dias) da palma forrageira foi de 0,57 e 0,56, respectivamente. Para esta cultura são poucas as informações relacionadas a evapotranspiração e coeficiente de cultura, encontrando apenas valores de k_c na ordem de 0,52 encontrado por Queiroz et al. (2015), para o mesmo clone (*i.e.*, Orelha de Elefante Mexicana), o qual está próximo aos encontrados neste estudo.

Os valores de k_c médio da palma forrageira mostraram-se baixos quando comparados as plantas C3 e C4. Souza et al. (2015) estudando a cultura do milho e do feijão encontraram valores de coeficiente de cultura de 0,89 e 1,07, respectivamente,

quando cultivados em ambiente semiárido. Já para Santos et al. (2014) o kc médio para a cultura do milho foi de 0,84. Santana et al. (2011) estudando a cultura do tomate encontraram valores elevados de coeficiente de cultivo médio (0,88) quando comparados aos da palma forrageira.

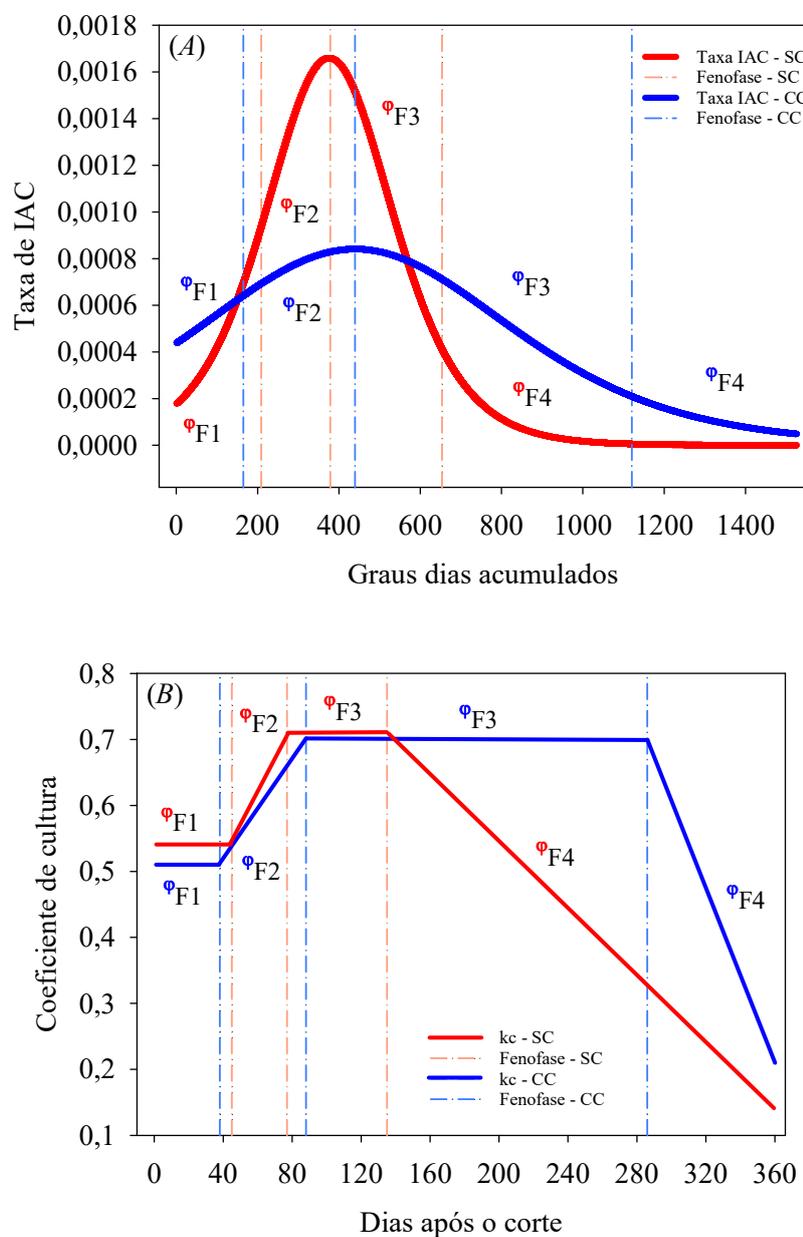
Esses baixos valores de kc médio para a palma forrageira podem estar relacionados ao mecanismo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) onde a abertura estomática das plantas ocorre durante o período noturno, onde apresentam menores temperaturas do ar e maior umidade relativa, possibilitando uma menor perda de água por transpiração e consequentemente redução da evapotranspiração, refletindo diretamente nos valores de coeficiente de cultura (LIU et al., 2018).

A determinação kc para cada localidade é de fundamental importância no manejo da irrigação de uma cultura, uma vez que altera em função da cultura utilizada, das condições físico-hidráulicas do solo, das condições meteorológicas e da disponibilidade de água das plantas (LYRA et al., 2012).

Para os períodos que compreenderam 11-Set à 05-Nov (17 ao 21) (238 dias após início dos tratamentos) pode-se observar que houve uma inversão no kc da cultura, persistindo até o final das avaliações (05-Nov), onde o sistema com cobertura morta apresentou maiores valores de coeficiente de cultura quando comparados ao sistema sem cobertura morta sobre o solo. Essa inversão dar-se devido a maior evapotranspiração da cultura (evaporação + transpiração) para o sistema que se fez uso de cobertura morta sobre o solo (Figura 6).

Quando avaliados os kc médios para os diferentes estádios de desenvolvimento da palma forrageira ao longo do período experimental para os dois sistemas de cultivo SC e CC percebeu-se que apresentaram comportamentos distintos (Figura 8B). Essa diferença está relacionada a taxa de índice de área de cladódio (IAC) a qual foi usada como base para determinação dos estádios de desenvolvimento, apresentando intervalos diferentes nos estádios de desenvolvimento para os dois sistemas (SC e CC) (Figura 8A). Onde o sistema SC apresentou uma maior taxa IAC, em um curto espaço de tempo (0 e 700 graus dias), quando comparado ao sistema CC, na qual essa taxa IAC persistiu ao longo de todo o período avaliado (0 à 1523 graus dias).

Figura 8. Taxa de emissão de cladódios e divisão dos estádios fenológicos da palma forrageira em função dos graus dias, submetida a dois sistemas de cultivo com e sem o uso de cobertura morta sobre o solo no semiárido pernambucano.



Esse fato pode ter ocorrido devido as condições de estresse sofridas pelas plantas de palma submetidas ao sistema SC, onde a planta pode ter acelerado o seu maior desenvolvimento correspondente as condições mais favoráveis. Neste período ocorreu grande disponibilidade de água (*i.e.*, 48,52% da chuva), o que pode ter favorecido o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e assim maior absorção de nutrientes, refletindo na rápida expansão da parte aérea.

Para Barreto et al. (2006) mesmo sobre condições irrigadas, a depender do sistema de irrigação adotado (*e.g.*, gotejo), e a disposição do sistema na superfície do solo pode proporcionar limitações ao desenvolvimento do sistema radicular, estando esse limitado apenas ao bulbo úmido. Esses mesmos autores enfatizaram ainda que a irrigação por gotejo favorece o arranjo do sistemas radicular nas camadas mais superficiais do solo. Raízes estando em camadas mais superficiais do solo podem estar propícias a grande variação da temperatura do solo, tendo como consequência a morte ou inibição do crescimento das raízes e a translocação de solutos para parte aérea das plantas (CENTENARO et al., 2017).

Além desses fatores, a estrutura e arranjo dos agregados do solo podem interferir no desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Solos mais compactados apresentam grande resistência a penetração das raízes (CENTENARO et al., 2017).

Com relação as mudanças de coeficiente de cultura aos estádios fenológicos, observou-se que para o estágio F1 o kc foi de 0,54 e 0,51 para aos sistemas SC e CC, respectivamente, com duração de 45 dias para o sistemas SC com 208,75 graus dias acumulados (GDA), já para o sistema CC a duração da F1 foi de apenas 37 dias, com 164,92 GDA. No estágio F2 houve um alongamento dessa fase com relação a F1, para o tratamento CC, com 52 dias de duração e GDA de 274,66, apresentando kc médio de 0,61, já para o F2 do sistema SC houve uma diminuição de 26,27% com um total de 33 dias de duração e GDA de 169,88, sendo o kc médio correspondente a esse estágio (F2) para o sistema SC foi de 0,62.

Quando observado o estágio F3, verificou-se para os dois sistemas SC e CC os valores foram de 0,71 e 0,70, nesta ordem. Esse pico dar-se devido a eminente expansão da área do cladódio da palma para ambos os tratamentos. Já a duração do estágio F3 foi de 56 dia para o sistema SC com um total de 274,6 GDA e 197 dias para o sistema CC, com 680,91 GDA. Para o estágio F4 no tratamento SC o coeficiente de cultura foi de 0,42 e para a mesma estágio no sistema CC verificou-se kc de 0,45. A duração desses estádios (F4) para ambos os tratamentos SC e CC foram de 226 e 74 dias, respectivamente. Os valores de GDA foram de 870,11 e 402,89 (SC e CC, nesta ordem).

Esse aumento gradativo do kc para os dois sistemas do estágio F1 ao F3 dar-se a expansão do IAC, que reflete em maior área exposta as ações meteorológicas (*e.g.*, radiação solar), refletindo diretamente na evapotranspiração da cultura e consequentemente no kc. Já para os estágio final F4, houve redução do kc para os sistemas SC e CC, essa redução está relacionada a estabilização da cultura, onde a

mesma diminuiu a taxa de expansão dos cladódios e não houve emissão de novos cladódios, sendo a água captada pela planta utilizada apenas para a manutenção dos processos fisiológicos.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de matéria fresca e seca (MF e MS, nesta ordem), para a palma forrageira decorrente dos sistemas de cultivo sem e com o uso de cobertura morta, havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 3. Parâmetros produtivos da palma forrageira, *Opuntia stricta*, clone Orelha de Elefante Mexicana submetida a lâmina de irrigação de 50% da evapotranspiração de referência sob dois sistemas de cultivo: sem cobertura morta (SC) e com cobertura morta (CC), no município de Serra Talhada, PE

Sistema	Rendimento		
	MF	MS	TMS
CC	114.17 a	17.69 a	0.16 a
SC	46.65 b	4.88 b	0.11 b
CV%	18.74	15.01	12.49

MF = Massa verde (Mg ha^{-1}); MS = Massa seca (Mg ha^{-1}); TMS = Teor de massa seca.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É notória a diferença de produção de MF entre os tratamentos, onde o tratamento CC foi 59,13% maior que o tratamento sem cobertura morta ($p < 0,05$). Esse aumento na produtividade está relacionado aos benefícios decorrente da cobertura morta. Quando observou-se que a produtividade expressa em MS houve uma diferença de 72,41% em relação ao sistema CC quando comparado ao SC. O uso da palhada sobre o solo promoveu melhor conservação da água no solo, reduzindo a perda de água improdutiva (*i.e.*, evaporação da água do solo), sendo deslocada para o componente transpiração (MENESES et al., 2016; GONG et al., 2017).

Associado a isto o uso de cobertura morta pode ter influenciado no desenvolvimento do sistema radicular por permitir uma menor amplitude térmica na superfície do solo (LI et al., 2018). Segundo Leite (2009), a maior concentração do sistema radicular da palma forrageira encontra-se nos primeiros 20 cm do perfil de solo. Onde o sistema SC pode ter sofrido maiores estresses por variação da temperatura do solo quando comparado ao sistema CC.

A temperatura do solo é um fator ambiental que regula o funcionamento das raízes, tendo um maior impacto no crescimento das plantas do que a temperatura do ar (NAMAGHI et al., 2018). Além das melhorias na temperatura do solo a cobertura morta

promove a liberação de nutrientes decorrente do processo de mineralização da matéria orgânica (PROSDOCIMI; TAROLLI; CERDÀ, 2016).

Como a cultura encontrava-se no quarto ciclo produtivo, acredita-se que ao longo dos ciclos anteriores ocorreu mineralização dessa cobertura morta acarretando em uma maior disponibilidade de nutrientes para a cultura. Esse efeito associado a menor amplitude térmica e maior teor de umidade, podem ter favorecido o maior desenvolvimento do sistema radicular da cultura no sistema CC, ocasionando uma maior disponibilidade de nutrientes, melhor agregação do solo e maior volume de solo explorado pela cultura (GASPARIM et al., 2005; SILVA et al., 2016; KADER et al., 2017).

6 CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração da cultura não diferenciou entre os sistemas com e sem uso de cobertura morta;
2. O coeficiente de cultura médio foi de 0,565 para ambos os sistemas, sem e com o uso de cobertura;
3. O uso de cobertura morta favoreceu o melhor aproveitamento de água pela cultura, proporcionando maior produtividade;
4. A cobertura morta altera a hidrodinâmica no solo influenciando nos componentes do balanço de água no solo.
5. Recomenda-se a reposição de cobertura morta no sistema de cultivo da palma forrageira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL-MAGEED, T. A.; SEMIDA, W. M.; ABD EL-WAHED, M. H. Effect of mulching on plant water status, soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt affected soil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 173, n. 1, p. 1-12, 2016.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, n.56).

ALMEIDA, A. A. et al. Perfil sócio-econômico e nível tecnológico dos produtores de palma (*Opuntia ficus indica* Mill.) no cariri paraibano. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 2, p. 86-92, 2011.

- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido Brasileiro. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 08-14, 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, F. G da S. Considerações sobre manejo de pastagens na região semiárida do Brasil: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, Fortaleza, v. 8, n. 4, p. 259-283, 2014b.
- ALVES, M. de F. A. et al. Fatores climáticos limitantes para a palma forrageira no Semiárido: estudo de caso no município de São Bentinho-PB. **Revista Informativo Técnico do Semiárido**, Pombal, v. 8, n. 1, p. 15-18, 2014a.
- 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.
- ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M. et al. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and Nopal (*Opuntia* spp.). **Small Ruminant Research**, v. 98, n. 1-3, p. 83-92, 2011.
- AQUINO, G. S. et al. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1150-1159, 2015.
- 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.
- ARUWA, C. E.; AMOO, S. O.; KUDANGA, T. *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects—A comprehensive review. **Food Research International**, 2018.
- AYANLADE, A. et al. Rainfall variability and drought characteristics in two agro-climatic zones: An assessment of climate change challenges in Africa. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 728-737, 2018.

- AYYOUB, A. et al. A simple and alternative approach based on reference evapotranspiration and leaf area index for estimating tree transpiration in semi-arid regions. **Agricultural Water Management**, v. 188, p. 61-68, 2017.
- AZADI, H. et al. Agricultural Land Conversion: Reviewing Drought Impacts and Coping Strategies. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 31, p. 184-195, 2018.
- BARRETO, C. V. G. et al. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, 2006.
- 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.
- BLANCO, F. F. et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 524-530, 2011.
- BORGES, T. K. S. et al. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zeamays L.*) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1862-1873, 2014.
- BYRNE, C. F.; STORMONT, J. C.; STONE, M. C. Soil water balance dynamics on reclaimed mine land in the southwestern United States. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 136, p. 28-37, 2017.
- CÂNDIDO, M. J. D.; DE ARAÚJO, G. G. L, CAVALCANTE, M. A. B. Pastagens no Ecosistema Semiárido brasileiro: atualização e perspectivas Futuras. **Publicado no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF)**, Universidade Federal do Ceará/UFC, 2009.
- CARMO, J. F. A do et al. Balanço de energia e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar por dois métodos micrometeorológicos. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 101-111, 2017.
- CARNEIRO, R. G. et al. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 99-108, 2014.
- CARVALHO, J. F. et al. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 256-263, 2011.
- CENTENARO, G. et al. Root-soil physical and biotic interactions with a focus on tree root systems: A review. **Applied Soil Ecology**, 2017.
- CHAHDOURA, H. et al. Incorporation of *Opuntia macrorhiza* Engelm. in cake-making: Physical and sensory characteristics. **LWT**, v. 90, p. 15-21, 2018.

- CHEN, J. et al. Does maize and legume crop residue mulch matter in soil organic carbon sequestration?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 265, p. 123-131, 2018.
- COSTA, R. G. et al. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. **Small Ruminant Research**, v. 102, n. 1, p. 13-17, 2012.
- 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.
- CUNHA, A. P. M. et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and forest meteorology**, v. 214, p. 494-505, 2015.
- CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear [*Opuntia ficus-indica* L.(Mill.)] orchard in a semiarid environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.
- DALMAGO, G. A. et al. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785-792, 2006.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Universidade Federal de Viçosa, Suprema, 2012. 214 p.
- DJEBOU, D. C. S. Bridging drought and climate aridity. **Journal of Arid Environments**, v. 144, p. 170-180, 2017.
- DUBEUX JÚNIOR J. C. B. et al. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-20. **Revista AGRÁRIA**, Recife, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.
- ELIAS, O. F. A. S. et al. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 14, n. 1, p. 26-36, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 353 p, 2013.
- FAN, Z. X.; THOMAS, A. Decadal changes of reference crop evapotranspiration attribution: Spatial and temporal variability over China 1960–2011. **Journal of Hydrology**, v. 560, p. 461-470, 2018.
- FANAYA JÚNIOR, E. D. et al. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana-MS. **Irriga**, v. 17, n. 4, p. 418, 2012.

- FAUSTO, M. A. et al. Coeficiente de cultura e necessidades hídricas de mudas de cajueiro anão em condições de cerrado. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambiental**, Guarapuava, v. 13, n. 2, p. 301-310, 2017.
- GALVÃO JÚNIOR, J. G. B. et al. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.
- GASPARIM, E. et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.
- GAVA, R.; SILVA, E. E.; BAIO, F. H. R. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 10, n. 2, p. 154-162, 2016.
- GONG, Daozhi et al. Comparison of ET partitioning and crop coefficients between partial plastic mulched and non-mulched maize fields. **Agricultural water management**, v. 181, p. 23-34, 2017.
- GUEVARA, J. C. et al. Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 x *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 13, p. 48-62, 2011.
- GUTIÉRREZ, A. P. A. et al. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- JARDIM, A. M. da R. F. et al. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 186-193, 2017.
- KADER, M. A. et al. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. **Soil and Tillage Research**, v. 168, p. 155-166, 2017.
- KOOL, D. et al. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 184, p. 56-70, 2014.
- LEITE, M. L. M. V. **Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- LI, S. et al. Effects of different mulching technologies on evapotranspiration and summer maize growth. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 309-318, 2018.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 61, 2005. 329 p.

LIMA, G. F. C. et al. Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, fenos e silagem. **Natal: EMPARN**, v. 8, p. 53, 2010.

LIMA, J. R. S. et al. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 89-95, 2006.

LIMA, Lucivania 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. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. 1 ed. Instituto Nacional do Semiárido: Campina Grande, Brasil. 2011. 209 p.

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

LOPES, Edson Batista (Org.). **Palma forrageira: cultivo, uso animal e perspectivas de utilização no Semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2012. p. 256.

LOURENÇO, R. S. et al. Influência da cobertura morta na produtividade de erva-mate. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2001.

LUO, S. et al. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to soil surface mulching in semiarid farmland. **European Journal of Soil Biology**, v. 67, p. 35-42, 2015.

LYRA, G. B. et al. Balanço seqüencial de água no solo para o manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade na cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 28, n. 4, p. 22-25, 2010.

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.

LYRA, G. B. et al. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 173-183, 2010.

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

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, n. AHEAD, p. 1-13, 2017.

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.

- MARIANO, D. A. et al. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 213, p. 129-143, 2018.
- MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- MEDEIROS, S. de S. et al. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Instituto Nacional de Seminário (INSA), 2012.
- MELGAR, B. et al. By-product recovery of *Opuntia* spp. peels: Betalainic and phenolic profiles and bioactive properties. **Industrial crops and products**, v. 107, p. 353-359, 2017.
- MENESES, N. B. et al. Crescimento e produtividade de alface sob diferentes tipos de cobertura do solo. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 10, n. 2, p. 123-129, 2016.
- MESQUITA, P. S.; BURSZTYN, M. Food acquisition programs in the Brazilian semi-arid region: benefits to farmers and impacts of climate change. **Food Security**, v. 9, n. 5, p. 1041-1051, 2017.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. **Brasília**, 2017. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semi-arido-brasileiro>>. Acesso em: 17/01/2018
- MONTENEGRO, A. A. A; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido**. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (Eds.). Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 282 p.
- MORAES, J. G. et al. Balanço hídrico e coeficiente de cultura da laranjeira ‘Folha Murcha’ no Noroeste Fluminense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 2, p. 241-249, 2015.
- MORAIS, J. E. F. et al. Impactos das mudanças climáticas na demanda hídrica e duração do ciclo do sorgo forrageiro e feijão-caupi no estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. (IV SMUD), p. 542-559, 2015.
- MOTA, J. C. A. et al. Climatic and Soil Water Balances for the Melon Crop. **Journal of Agricultural Science**, Canadá, v. 10, n. 2, p. 116-129, 2018.
- 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. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 352-364, 2016.
- NAMAGHI, M. N. et al. Effects of mulching on soil temperature and moisture variations, leaf nutrient status, growth and yield of pistachio trees (*Pistaciavera*. L). **Scientia Horticulturae**, v. 241, p. 115-123, 2018.

NASCIMENTO, M. C. O. et al. Armazenamento de forragem para caprinos e ovinos no semiárido do nordeste. **Revista ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 9, n. 4, p. 20-27, 2013.

NHARINGO, T.; MOYO, M. Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. **Journal of environmental management**, v. 166, p. 55-72, 2016.

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, D. P. et al. Weathering and clay formation in semi-arid calcareous soils from Northeastern Brazil. **Catena**, v. 162, p. 325-332, 2018.

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.

OLIVEIRA, L. F. C.; ROQUE, C. G. Determinação da umidade do solo por micro-ondas e estufa em três texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 4, p. 60-64, 2016.

PARK, J.; BAIK, J.; CHOI, M. Satellite-based crop coefficient and evapotranspiration using surface soil moisture and vegetation indices in Northeast Asia. **Catena**, v. 156, p. 305-314, 2017.

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, 2018.

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**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

PEREIRA, P. C. et al. Evapotranspiração do girassol pelo método do tanque classe “A” na região do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 6, p. 1894-1903, 2017.

PEREIRA, P. C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 164-195, 2015.

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, 2017b.

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

PIZETTA, S. C. **Calibração de sensores de capacitância (fdr) para estimativa da umidade em diferentes solos**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG; 2015.

PIZETTA, S. C. et al. Calibração de um sensor capacitivo para estimativa da umidade em três classes de solos. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 458-468, 2017.

PROSDOCIMI, M.; TAROLLI, P.; CERDÀ, A. Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 161, n. 1, p. 191-203, 2016.

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

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

RAMOS, J. P. F. et al. Caracterização técnica dos sistemas de produção de palma forrageira em Soledade, PB. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 35, n. 1, p. 23-30, 2014.

RAMOS, J. P. F. et al. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 41-48, 2011.

RANA, G.; KATERJI, N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of agronomy**, v. 13, n. 2-3, p. 125-153, 2000.

REGO, M. M. T. et al. Morfologia e rendimento de biomassa da palma miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 16, n. 2, 2015.

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 17 de Jan. de 2018.

RODRIGUES CRUZ, A. C. et al. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 1-10, 2005.

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.

SAGLAM, M. et al. Modeling the effect of biodegradable paper and plastic mulch on soil moisture dynamics. **Agricultural Water Management**, v. 193, p. 240-250, 2017.

SANTANA NETO, J. A.; OLIVEIRA, V. S.; VALENÇA, R. L. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido – revisão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 14, n. 2, p. 191-200, 2015.

SANTANA, M. J. et al. Coeficientes de cultura para o tomateiro irrigado. **Irriga**, v. 16, n. 1, p. 11, 2011.

SANTOS, W. O. et al. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 559, 2014.

SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney: SentekPtyLtd, 2001.

SILVA, A. A. G.; OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; **Zoneamento agrícola de risco climático da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) para o estado de Sergipe**. Aracaju: EMBRAPA/CNPQA, 2015. 8 p. (EMBRAPA/CNPQA. Comunicado Técnico, 152).

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, 2014.

SILVA, M. F. A. et al. Avaliação da temperatura do solo, temperatura do ar e umidade relativa do ar em uma clareira de mata atlântica no município de São Cristóvão, Sergipe, Brasil. **Agroforestalis News**, Aracajú, v. 1, n. 1, p. 58-62, 2016.

SILVA, M. R. R. et al. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agrônômicas e produtividade de milho. **Irriga**, Edição Especial, p. 170-180, 2012.

SILVA, P. C. G. et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, cap. 1, p. 18-48, 2010.

SILVA, P. F. et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71-82, 2017c.

SILVA, T. G. F. et al. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, Altamira, v. 1, n. 2, p. 45-68, 2017a.

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

SILVA, T. G. F. et al. Soilwater 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, 2014.

SILVA, W. A. et al. Regionalização de coeficiente de cultivo aplicado no planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão–Brasil. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 5, p. 953-960, 2017b.

SOUZA FILHO, P. F. et al. Simultaneous saccharification and fermentation of cactus pear biomass-evaluation of using different pretreatments. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 425-433, 2016.

SOUZA, A. P. et al. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, 2011.

SOUZA, C. F. et al. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de tdr e fdr. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 26-42, 2016.

SOUZA, L. S. B. et al. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 8, p. 627-636, 2015.

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, 2015.

SOUZA, M. T. C. et al. Caracterização climática e o efeito do estresse hídrico sob as plantas nativas da caatinga. **PUBVET**, Londrina, v. 8, n. 1, 2014.

SOUZA, T. M. A. et al. Crescimento e trocas gasosas do feijão caupi cv. BRS Pujante sob níveis de água disponível no solo e cobertura morta. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 796-805, 2016.

TAGLIAFERRE, C. et al. Influência dos elementos meteorológicos na evapotranspiração de referência estimada utilizando-se o irrigâmetro no município de guanambi-BA. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 251-260, 2015.

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.

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource technology**, v. 247, p. 310-318, 2018.

XIE, Y. et al. Uncertainty of groundwater recharge estimated from a water and energy balance model. **Journal of Hydrology**, v. 561, p. 1081-1093, 2018.

YANG, J. et al. Comprehensive drought characteristics analysis based on a nonlinear multivariate drought index. **Journal of Hydrology**, v. 557, p. 651-667, 2018a.

YANG, Y. et al. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 133-143, 2018b.

ZHANG, Y. et al. Effects of film mulching on evapotranspiration, yield and water use efficiency of a maize field with drip irrigation in Northeastern China. **Agricultural Water Management**, v. 205, p. 90-99, 2018.

ZRIBI, W. et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 40-45, 2015.