ISSN: 1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco

Silvio André de Freitas Bezerra[1]; Thieres George Freire da Silva[2], Luciana Sandra Bastos de Souza[3], Magna Soelma Beserra de Moura[4], José Edson Florentino de Morais[1], Wellington Jairo da Silva Diniz[1], Maria Gabriela de Queiroz[5]

[1]Mestrandos em Produção Vegetal, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada - PE, silviobezerra89@hotmail.com, joseedson50@hotmil.com, wellingtonjairo@hotmail.com [2]Professor Adjunto III, Agrometeorologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada - PE, Autor correspondente, e-mail: thigeoprofissional@hotmail.com [3]Professora Assistente, Bioclimatologia, Meteorologia e Hidrologia Aplicada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada - PE, sanddrabastos@hotmail.com [4]Engenheiro-Agrônoma, Pesquisadora, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, Zona Rural, CP 23, CEP 56310-000, Petrolina, PE, magna.moura@embrapa.br [5]Doutoranda em Meteorologia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, mg.gabi@hotmail.com

Artigo recebido em 10/10/2015 e aceito em 28/12/2015.

RESUMO

Objetivou-se avaliar a demanda de água de irrigação da palma forrageira em cenários futuros B2 e A2 de temperatura do ar, projeções dos níveis de precipitação pluviométrica e de dióxido de carbono (CO_2) em Pernambuco. Foram utilizados 292 postos de observação de Pernambuco e Estados circunvizinhos com dados observados e estimados. Consideraram-se projeções de aumento e redução de 10 e 20% da precipitação pluviométrica em relação a normal climatológica local, associadas a dois cenários de mudanças climáticas (B2 e A2) das variáveis meteorológicas (temperatura máxima e mínima do ar), influenciando na duração do ciclo da cultura e a demanda atmosférica. Além disso, assumiu-se o efeito da concentração de CO_2 na atmosfera, afetando em 22% a resistência estomática e 4% no índice de área de foliar da superfície de referência (gramada), e os seus efeitos foram extrapolados para a palma, por meio do coeficiente de cultura. O aumento da temperatura do ar em função dos cenários futuros de mudanças climáticas reduziu a duração do ciclo da palma forrageira (12,03% e 17,89% para os cenários B2 e A2, respectivamente). O aumento do déficit de pressão de vapor e da concentração de CO_2 promoveram diminuição da evapotranspiração da palma (entre 2,44% e 4,67% e entre 2,88% a 4,90% nos cenários B2 e A2, respectivamente). Os cenários futuros de mudanças climáticas, B2 e A2, sob o efeito das diferentes simulações de precipitações pluviométricas, promoveram redução na necessidade hídrica bruta da palma forrageira em 20% dos cenários avaliados, com maior intensificação para o cenário A2.

Palavras-chave: Cenários futuros B2 e A2. Concentração de dióxido de carbono. Evapotranspiração. Irrigação.

Gross water demand of forage cactus on future scenarios of climate change in the State of Pernambuco

ABSTRACT

Objective to evaluate the water demand for irrigation of forage cactos in future scenarios B2 and A2 of air temperature, rainfall and carbon dioxide levels (CO_2) in State of Pernambuco. 292 observation posts of Pernambuco and surrounding States with observed and estimated data were used. Increased projections were considered and reduction of 10 and 20% of the rainfall about local normal climatological, associated with two climate change scenarios (B2 and A2) of the meteorological variables (maximum and minimum air temperature), influencing the duration of the crop cycle and atmospheric demand. In addition, it was assumed the effect of concentration of CO_2 in the atmosphere, affecting in stomatal resistance 22% and 4% on leaf area index of the reference surface (grass), and their effects were extrapolated to the forage cactus, through the crop coefficient. The increase of air temperature in the light of the future scenarios of

climate change has reduced the duration of the cycle of forage cactus (12.03% and 17.89% for the scenarios B2 and A2, respectively). The increase in vapour pressure deficit and CO_2 concentration promoted decreased forage cactos evapotranspiration (2.44% and 4.67% among and between 2.88% 4.90% in the scenarios B2 and A2, respectively). The climate change future scenarios, B2 and A2, under the effect of the different simulations of rainfall promoted reduction in gross water need of forage cactos in 20% of the scenarios assessed, with greater intensification for scenario A2.

Key-words: A2 and B2 future scenarios. Carbon dioxide concentration. Evapotranspiration. Irrigation.

Introdução

As espécies que utilizam o processo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) representam em torno de 6% da vegetação global. Dentre elas uma de maior relevância em várias regiões do planeta é a palma, que possui ampla adaptação devido as suas modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas (Nobel e Bobich, 2002). Essas adaptações permitem que essa espécie assimile dióxido de carbono durante longo período de estiagem e atinja níveis de rendimento aceitáveis em condições de baixa disponibilidade hídrica (Nefzaoui e Ben Salem, 2002).

A palma é uma espécie que se sobressai no Semiárido brasileiro em relação às outras forrageiras. Contém em média 90% de água nos seus cladódios, o que representa uma valiosa contribuição no suprimento hídrico dos animais. Constitui relevante recurso forrageiro, colaborando para atender a demanda de alimentos no período de estiagem, devido a sua rusticidade e elevado potencial de produção e alto valor energético, quando comparada a muitas espécies da vegetação nativa.

Apesar de sua importância, não há registro na literatura mundial de estudos publicados contendo informações micrometeorológicas da palma forrageira e suas inter-relações com as condições do ambiente de cultivo. Essas informações são utilizadas para melhorar a compreensão da interação de uma superfície com a atmosfera (Cabral et al., 2003; Baldocchi et al., 2004; Qin et al., 2008), e permitir definir um padrão de resposta do seu crescimento (Singels et al., 2005; Gilbert et al., 2006; Tejera et al., 2007).

É uma espécie bastante eficiente do ponto de vista do uso de água, a qual permite adaptar-se às condições de climas áridos e semiáridos (Sampaio, 2005). As células estomáticas da palma são abertas durante a noite para captar CO_2, característica das plantas MAC, que possibilita menor transferência de água para o ambiente.

A sua fisiologia e morfologia demonstram que a disponibilidade de água no solo interfere nas relações hídricas, de tal forma que dependendo do grau de estresse hídrico, a produtividade da cultura pode ser alterada (Araújo, 2008). É uma das espécies forrageiras mais plantadas na região Agreste e Sertão do estado de Pernambuco. Apresenta boa produção em anos de ocorrências de secas em relação às outras forrageiras, sendo fonte energética para a pecuária leiteira, além de ser rica em água e oferecer boa palatabilidade.

Atualmente, a palma é cultivada em regime de sequeiro, ou seja, sem o uso de irrigação. A colheita é realizada, geralmente, a cada dois anos, caracterizando seu ciclo bienal. Para que a palma possa exteriorizar todo seu potencial de crescimento e altas eficiências de uso da água merecem destaque outras práticas, tais como: a adubação e o controle de plantas invasoras.

Nos últimos anos, o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera ([CO_2]) e da temperatura do ar, associadas às alterações dos padrões do ciclo hidrológico, têm sido consequências evidentes das mudanças climáticas (IPCC, 2007). Estudos têm verificado a redução da evapotranspiração das plantas por causa da alta [CO_2] que induz a diminuição da transpiração, como consequência do fechamento estomático. Além desses efeitos, a [CO_2] pode influenciar diretamente os aspectos fisiológicos, produtivos, hídricos e a eficiência do uso de água das plantas e, consequentemente, na necessidade de água das culturas agrícolas. Entretanto, estas respostas não estão bem definidas, logo que as mesmas podem variar a depender do efeito conjunto entre o nível de CO_2 e outros fatores ambientais, do tipo de processo fotossintético das plantas, bem como das alterações da arquitetura e dos mecanismos das plantas nas novas condições de cultivo (Ainsworth e Rogers, 2007).

No Relatório Especial Sobre Cenários de Emissões (SREs) Nakicenovic et al. (2000) definiram um conjunto de cenários futuros que foram classificados da seguinte forma: A1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB muito elevado, elevado consumo de energia, baixa mudança no uso da terra, alta a média disponibilidade de recursos, rápido desenvolvimento tecnológico, energia fóssil e balanceada; A2: alto crescimento populacional, médio crescimento do PIB, elevado consumo de energia, média a alta mudança no uso da terra, baixa disponibilidade de recursos, lento desenvolvimento tecnológico, energia regional;

B1: baixo crescimento populacional, elevado crescimento do PIB, baixo consumo de energia, alta mudança no uso da terra, baixa disponibilidade de recursos, médio desenvolvimento tecnológico, eficiência e introdução de tecnologias limpas; B2: médio crescimento populacional, médio crescimento do PIB, médio consumo de energia, média mudança no uso da terra, média disponibilidade de recursos, médio desenvolvimento tecnológico, dinâmica energética como a usual.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas sofrem elevada influência dos fatores climáticos. Conforme o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas houve um aumento de 0,65ºC na média da temperatura global, no século XX, sendo este mais pronunciado a partir da década de 1990 (IPCC, 2007).

Uma consideração importante a se fazer é que a duração das fases fenológicas das culturas é determinada em função dos Graus-dias acumulados (GDA), e com o aumento médio das temperaturas do ar, a duração das fases tenderá a diminuir, ocasionando ao longo do ciclo menor abertura estomática, captação de CO_2 e transpiração.

O ciclo produtivo das plantas depende dos Graus-dias acumulados, assim, com o aumento da temperatura do ar acredita-se que as mesmas completem seu ciclo de maneira mais rápida, havendo consequentemente diminuição da evapotranspiração acumulada da cultura e da necessidade hídrica bruta. Outro efeito das mudanças climáticas tem sido o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera ([CO_2]), que de acordo Fleisher e Timlin (2006), promove ampliação da taxa fotossintética e decréscimo da taxa de transpiração por unidade de área foliar, logo, melhora a eficiência de uso da água, favorecendo maior produção de fotoassimilados.

Com isso, as hipóteses deste trabalho são: (1) o aumento da temperatura do ar em função dos cenários futuros de mudanças climáticas ocasionará redução da duração do ciclo da palma forrageira, devido atender mais rapidamente a exigência térmica para o seu desenvolvimento, resultando em uma redução da evapotranspiração acumulada da cultura; e, (2) o incremento do déficit de pressão de vapor ocasionado pelo aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar, bem como aumento da [CO_2], em conjunto com a redução do ciclo da cultura, promoverá uma redução da necessidade hídrica bruta da palma forrageira.

Estimar os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura é uma preocupação de pesquisadores, com o intuito de subsidiar a elaboração de políticas públicas de mitigação e adaptação das atividades humanas aos cenários futuros dos fatores climáticos, que afetam a produção das culturas de importância socioeconômica. Nesse contexto, enquadra-se a palma que tem destaque como importante suprimento forrageiro do estado de Pernambuco, durante o período de estiagem.

Assim, objetivou-se avaliar a demanda de água de irrigação da palma forrageira em cenários A2 e B2 (SREs) de temperatura do ar, e projeções dos níveis de precipitação pluviométrica e de dióxido de carbono no estado de Pernambuco. Especificamente, pretendeu-se analisar os efeitos dos cenários futuros de mudanças climáticas sobre a duração do ciclo da palma forrageira; estimar a demanda hídrica da palma forrageira em função dos efeitos das variáveis meteorológicas e do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera com base em cenários futuros de mudanças climáticas; e, quantificar a necessidade hídrica bruta da palma forrageira de acordo com os diferentes cenários futuros de mudanças climáticas no estado de Pernambuco.

Material e métodos

Descrição da região de estudo

O estado de Pernambuco está localizado na região Nordeste do Brasil e ocupa uma área de 98.148,323 km^2 (IBGE, 2014). Existem, pelo menos, três mesorregiões com regimes pluviais distintos no estado: Sertão, Agreste e Zona da Mata. No Sertão, as chuvas máximas ocorrem nos meses de janeiro a abril (60 a 70% do total anual), sendo março frequentemente o mês mais chuvoso, enquanto o Agreste se caracteriza como região intermediária entre as áreas de climas úmidos e secos, com o setor ocidental tendo o seu principal período chuvoso de fevereiro a junho e o setor oriental de março a julho. A Zona da Mata apresenta um período chuvoso mais longo que as demais mesorregiões, ou seja, seis meses (março a agosto), com 75 a 80% do total anual (Silva et al., 2010).

Elaboração do banco de dados climáticos e da evapotranspiração de referência

Foram utilizados 292 postos de observação do estado de Pernambuco com dados observados e estimados no BHGEOclima (Balanço Hídrico Climatológico para Georreferenciamento na Região Nordeste do Brasil), referente as médias do período 1961-

1990, que representa o cenário atual em estudos de impactos de mudanças climáticas.

Os dados pluviométricos são do banco de dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCA, 2014).

As temperaturas máxima, média e mínima do ar foram utilizadas, empregando-se a metodologia proposta por Alvares et al. (2013):

$$Ti = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3h + a_4\varphi\lambda + a_5\varphi h + a_6\lambda h + a_7\varphi^2 + a_8\lambda^2 + a_9h^2 \quad (1)$$

em que, Ti é a máxima, média ou mínima, mensal (i = 1, 2,..., 12) ou anual (i = 13) temperatura em graus; φ é a latitude em graus decimais (valores positivos no hemisfério norte e negativos no hemisfério sul); λ é a longitude em graus decimais (valores negativos); h a altitude em metros; e a_0 a a_9, os coeficientes da equação de regressão multivariada.

Esses valores de temperatura foram usados para o cálculo da radiação solar global, conforme modelo proposto por Bristow e Campbell (1984):

$$R_s = [1 - \exp(-b\,\Delta T_2^C)]R_a \quad (2)$$

em que, R_s = radiação solar incidente na superfície (MJ m^{-2} dia^{-1}); R_a = radiação solar incidente extraterrestre (MJ m^{-2} dia^{-1}); ΔT_2^c = diferença entre a temperatura máxima e a média da mínima dos dois dias consecutivos (°C); a, b, c = coeficientes de calibração dos modelos empíricos (adimensionais).

A umidade relativa do ar foi obtida conforme a metodologia de Silva et al. (2007):

$$\mathrm{UR} = \mathrm{a}\exp\{-\exp[\frac{-(I_m - b)}{c}]\}[d + e(t_m\lambda)] \quad (3)$$

Em que, UR = umidade relativa do ar (%); I_m = Índice efetivo de umidade (adimensional); t_m = temperatura média do ar (ºC); λ = longitude do local que, neste caso, corresponde aos postos de observação pluviométrica (em graus); e os parâmetros a, b, c, d, e, são ajustados regionalmente (adimensionais). Os valores de I_m foram calculados assumindo a relação Im = [(P - ETP) - 1] x 100, em que a ETP (a evapotranspiração potencial) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948), considerando a estimativa da temperatura efetiva para compensação da subestimativa dos valores de ETP.

Os dados de temperatura, radiação solar global e umidade relativa do ar foram usados no cálculo da evapotranspiração de referência por meio do modelo original de Penman Monteith (Allen et al., 1998):

$$\lambda\mathrm{ET} = \frac{\Delta(\mathrm{Rn} - G) + \frac{\mathrm{t}\,\rho_a c_p(e_s - e_s)}{r_a}}{\Delta + \gamma\,(1 + \frac{r_s}{r_a})} \quad (4)$$

em que, λET = evapotranspiração de referência; Δ = declividade da curva da relação entre a pressão de saturação do vapor e a temperatura média do ar (kPa $°C^{-1}$); Rn = radiação líquida (MJ m^{-2} dia^{-1}); G = fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1}); t = fator de integração para escala mensal; ρ_a = densidade média do ar a pressão constante (Kgm^{-3}), que é dependente da pressão atmosférica local, calculada conforme sugerido por Allen et al. (1998); c_p= calor específico do ar (MJ Kg^{-1} $°C^{-1}$); (e_s - e_a) = déficit de pressão do vapor do ar (kPa); γ = constante psicrométrica (kPa $°C^{-1}$); r_a = resistência aerodinâmica (s m^{-1}); r_s = resistência da superfície (s m^{-1}); r_a foi estimada pela relação $208/u_2$, de acordo com Allen et al. (1998), assumindo os valores de velocidade do vento (u_2) a dois metros de altura constantes e iguais a 2 m s^{-1} para os 292 postos de observação. r_s da superfície de referência (gramada) foi calculada usando a expressão:

$$r_s = \frac{r_1}{0{,}5\,IAF_{ativo}} \quad (5)$$

Em que, r_s = resistência da superfície (s m^{-1}); r_1 = resistência dos estômatos da folha bem iluminada (s m^{-1}), assumindo o valor de 100 sm^{-1}; IAF_{ativo} = índice de área foliar, calculada em função da altura da grama (h = 0,12 m), usando-se a equação:

$$IAF = 24\,h \quad (6)$$

Evapotranspiração, duração do ciclo e necessidade hídrica bruta da cultura em cenários futuros

Os valores de referência das alterações climáticas são do modelo acoplado do 'Hadley Centre for Climate Prediction and Research' (HadCM3) da Inglaterra. A projeção da resistência estomática foi a citada por Lovelli et al. (2010), informando redução na condutância

estomática da folha bem iluminada (r_1) e um aumento do IAF_{ativo} da superfície gramada. Após a determinação da evapotranspiração de referência, foi determinada a ETc, pela multiplicação da ETo pelo coeficiente de cultivo (Kc) médio da palma (0,52) (Queiroz, 2014).

$$ETc = ETo\ x\ kc \quad (7)$$

A Necessidade Hídrica Bruta (NHB), que representa a quantidade total de água em milímetros (mm), que deverá ser reposta foi determinada considerando uma eficiência média de 67% para sistemas de irrigação (Gondim et al., 2008).

$$NHB = \frac{\{[(\lambda ET\ x\ Kc) - (P - 0{,}25\ x\ P)]\ x\ fc\}}{Ef} \quad (8)$$

em que, NHB = necessidade hídrica bruta (mm); λET = evapotranspiração de referência (mm); Kc = coeficiente de cultivo (adimensional); P - 0,25 x P = precipitação efetiva (mm); fc = fator de cobertura da cultura (adimensional); Ef = eficiência do sistema de irrigação (decimal).

A NHB foi calculada para dois anos de cultivo, considerando o ciclo bienal da palma forrageira.

A duração do ciclo da cultura foi calculada com base em Graus-dias acumulados (GDA) que para a palma forrageira (*Opuntia stricta*), clone Orelha-de-elefante-mexicana, IPA-200016 é de 16.830,1ºC dia^{-1} necessários para se realizar a primeira colheita, sendo utilizada temperatura base de 3ºC (Araújo Primo, 2013).

Projeções climáticas futuras

Foram consideradas projeções de aumento e redução de 10 e 20% da precipitação pluviométrica em relação a normal climatológica local, e associada a dois cenários de mudanças climáticas (B2 e A2) das variáveis meteorológicas (temperatura máxima e mínima do ar), esses últimos referentes às simulações do Modelo 'Providing Regional Climates for Impact Studies' (PRECIS) para os anos de 2071-2100, que podem influenciar na duração do ciclo da cultura e a demanda atmosférica, e da [CO_2], afetando em 22% a resistência estomática e 4% no índice de área foliar de uma vegetação gramada, que foram convertidos para a palma forrageira, por meio do coeficiente de cultura e pelo modelo original de Penman-Monteith, conforme anteriormente descrito.

Cenários futuros de mudanças climáticas e precipitação pluviométrica

Os cenários futuros de mudanças climáticas analisados neste trabalho foram A2 e B2. Simularam-se dez cenários futuros de precipitação pluviométrica, sendo eles: Cenário A2 +20 = aumento de 20% na precipitação pluviométrica; Cenário A2 +10 = aumento de 10% na precipitação pluviométrica; A2 P Normal = precipitação pluviométrica como a atual; A2 -10 = redução de 10% na precipitação pluviométrica; A2 -20 = redução de 20% na precipitação pluviométrica; Cenário B2 +20 = aumento de 20% na precipitação pluviométrica; Cenário B2 +10 = aumento de 10% na precipitação pluviométrica; B2 P Normal = precipitação pluviométrica como a atual; B2 -10 = redução de 10% na precipitação pluviométrica; B2 -20 = redução de 20% na precipitação pluviométrica.

Valores atuais das principais variáveis meteorológicas

No cenário atual (1961-1990), a temperatura média do ar é compreendida entre 18 e 28ºC, sendo a maior frequência entre 24 e 26ºC em 51,03% dos postos observados. Neste mesmo cenário, a temperatura máxima do ar está compreendida entre 28 e 32ºC, contudo 75,68% dos postos observados possuem valores entre 30 e 32ºC. A temperatura mínima do ar concentra-se entre < 18 e 24ºC, apresentando maior frequência entre 20 e 24ºC em 54,45% dos postos observados. A radiação solar global compreende valores desde < 20 a > 24 MJ m^{-2} dia^{-1}, sendo a maior frequência entre 23 e 24 MJ m^{-2} dia^{-1}, em 66,44% dos postos observados. A precipitação pluviométrica apresenta resultados desde < 500 a > 2300 mm, com maior frequência entre 500 e 800 mm, em 53,08% dos postos observados. A umidade relativa do ar varia entre valores menores a 50 e superiores a 70%, e em 30,48% dos postos observados fica entre 50 e 55% (Figura 1).

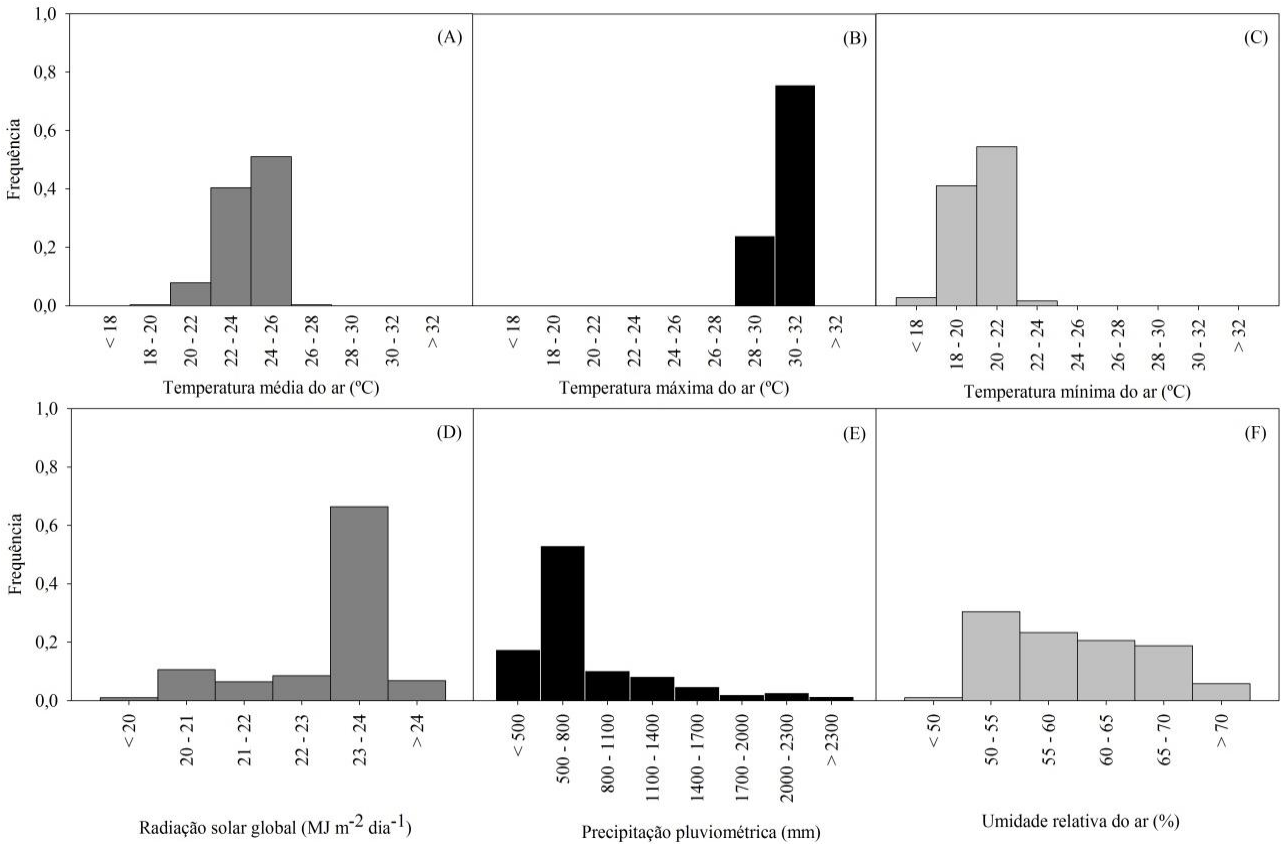


Figura 1. Frequência atual de temperatura máxima, média e mínima do ar, radiação solar global, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar no estado de Pernambuco.

Anomalias de temperatura do ar

No presente estudo, que considerou as simulações do modelo PRECIS, prevê-se para os anos de 2071-2100 aumento entre 3 e 7ºC na temperatura média do ar, e entre 1 a 6ºC nos Cenários Futuros A2 e B2, respectivamente, nas diferentes regiões do estado de Pernambuco. Para a temperatura máxima do ar, os acréscimos são entre 5 e 8ºC e entre 3 e 7ºC, e temperatura mínima do ar entre 1 e 6ºC e entre 0 e 5ºC nos Cenários Futuros, A2 e B2, respectivamente (Figura 2).

Análises

Por fim, a ferramenta 'Análise de Dados' do programa computacional Microsoft Excel 2010 foi utilizada para submeter os resultados à análise de estatística descritiva, na qual foram quantificadas as variáveis como média, erro padrão, mediana, moda, desvio padrão, variância da amostra, curtose, assimetria, intervalo, mínimo, máximo, soma e contagem, sob o nível de confiança de 95%. As Figuras e mapas de distribuição dos valores de NHB para o estado de Pernambuco foram geradas usando o programa computacional SigmaPlot v.10.0, por meio da ferramenta "Create Graph".

Resultados

A duração do ciclo da palma forrageira simulada para o Cenário Atual foi de 755,12 dias. Todavia, considerando mudanças climáticas mais otimistas, Cenário B2, ocorreu uma redução de 12,03% na duração do ciclo que passou a ser de 664,29 dias. Para o cenário mais pessimista, A2, o ciclo passou a ser ainda mais reduzido (620,05 dias), representando -17,89% em relação ao Cenário Atual (Figura 2).

A evapotranspiração anual da cultura simulada para o Cenário Atual foi de 874,24 mm ano^{-1} (Figuras 3A e 3B). Para o Cenário B2, a evapotranspiração anual da cultura diminuiu entre 2,44 e 4,67% (Figura 3A).

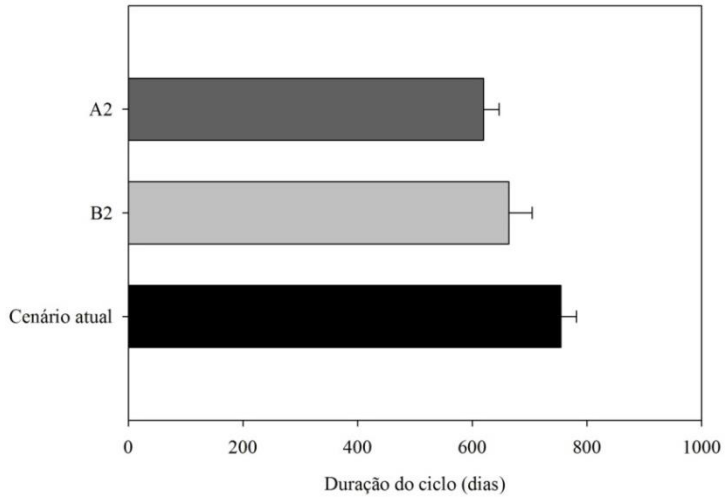
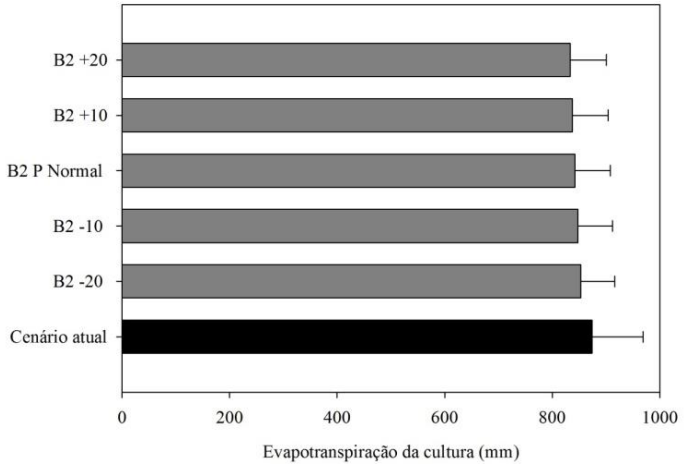
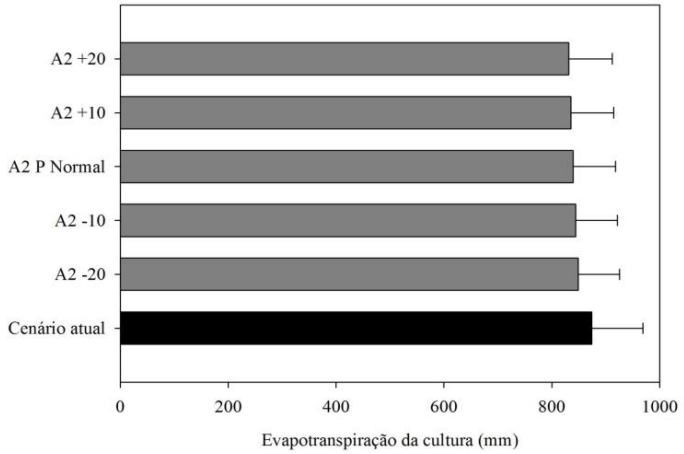


Figura 2. Duração do ciclo da palma forrageira em cenários A2 e B2 de mudanças climáticas no estado de Pernambuco.



(A)



(B)

Figura 3. Evapotranspiração anual da palma forrageira para o Cenário B2 (A) e Cenário A2 (B) de mudanças climáticas no estado de Pernambuco.

No Cenário A2, a evapotranspiração anual da palma forrageira reduziu entre 2,88 e 4,90% (Figura 3B).

Para todos os Cenários Futuros analisados (Figuras 3A e 3B), a evapotranspiração anual da palma forrageira mostrou-se inferior ao Cenário Atual, comprovando o efeito da redução do ciclo da cultura, sobretudo do cenário A2.

A necessidade hídrica bruta para atender a demanda de água da palma forrageira, assumindo a precipitação pluviométrica efetiva no Cenário Atual, foi de 230,15 mm (Figura 4). Assim, em média, esse valor é àquele que deve ser reposto via irrigação no estado de Pernambuco.

Na Figura 4 é destacada a influência isolada dos cenários das variáveis meteorológicas, os seus efeitos em conjunto com a redução da

duração do ciclo da cultura, e incorporando o incremento da [CO_2] atmosférico. De modo geral, apesar da intensificação do déficit de pressão de vapor d'água ter aumentado a demanda atmosférica, o incremento ou não da precipitação pluviométrica no cenário B2 em conjunto com a redução do ciclo e o aumento da [CO_2] diminuiu a lâmina de água a ser reposta para cultura via irrigação. Porém, esse resultado e suas magnitudes dependem do cenário da precipitação pluviométrica, conforme descrito a seguir.

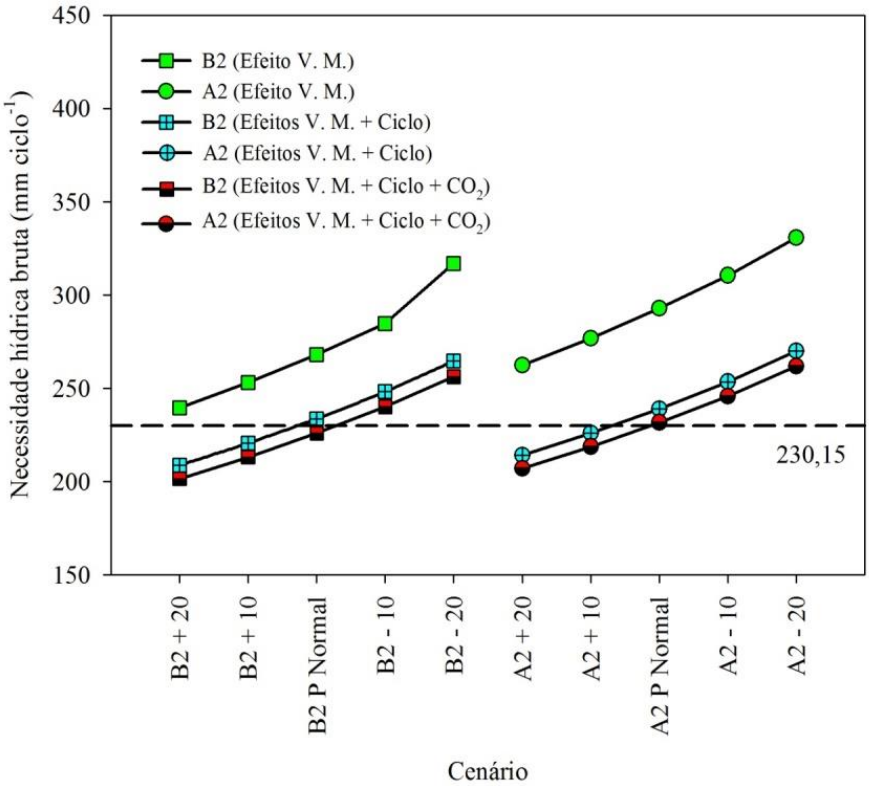


Figura 4. Necessidade hídrica bruta da palma forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no estado de Pernambuco em função dos efeitos das variáveis meteorológicas, redução da duração do ciclo e da concentração de CO_2 atmosférico.

No Cenário B2, mesmo considerando um aumento de 20% na precipitação pluviométrica, o efeito das Variáveis Meteorológicas ainda induziu a um incremento de 3,95% a necessidade hídrica bruta da cultura, quando comparado ao cenário atual (230,15 mm). Mas, quando se incorporou a redução do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta diminuiu em 9,29%, enquanto que, com a adição do efeito da [CO_2] a redução a necessidade hídrica bruta foi ainda maior (12,44%) (Figura 4). Para o Cenário A2, o efeito das Variáveis Meteorológicas aumentou em 12,26% a necessidade hídrica bruta da cultura; ao passo que com o efeito da redução do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta diminuiu em 7,01%, e foi de 10,2%, ou seja, ainda menor quando adicionado o efeito da [CO_2] (Figura 4).

Levando em consideração um aumento menor na precipitação pluviométrica (apenas 10%) no Cenário B2, o efeito das Variáveis Meteorológicas aumentou mais, em 9,09%, a necessidade hídrica bruta da palma forrageira. Todavia, com o efeito da redução do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta diminuiu em 4,13%, compensando ainda mais com a influência do efeito da [CO_2], onde a necessidade hídrica bruta diminuiu em 7,40% (Figura 4). Tendência semelhante ainda foi observada mesmo para o Cenário A2, em que o efeito das Variáveis Meteorológicas aumentou em 16,88% a necessidade hídrica bruta da palma forrageira. Mas, adicionando o efeito da redução do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta apresentou uma diminuição brusca, para 1,82%, sendo mais intensificada quando se somou o efeito da [CO_2], em que a necessidade hídrica bruta diminuiu em 4,95% (Figura 4).

No Cenário B2 sem modificação da precipitação pluviométrica do cenário atual (P Normal), as Variáveis Meteorológicas aumentaram em 14,16% a necessidade hídrica bruta da cultura. Entretanto, o efeito da redução

do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta aumentou apenas 1,54%. Com o efeito da [CO_2], a necessidade hídrica bruta diminuiu em 1,83% (Figura 4). Entretanto, para o Cenário A2 P Normal, mesmo a redução do ciclo da cultura e o efeito da [CO_2], não foi suficiente para redução da lâmina de irrigação em relação ao cenário atual, mas o incremento foi mais atenuado. Nesse cenário, o efeito isolado das Variáveis Meteorológicas aumentou em 21,42% a necessidade hídrica bruta da cultura. Incluindo o efeito da redução do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta esse aumento foi de 3,73%, e sendo apenas de 0,68%, quando se adicionou o efeito da [CO_2] (Figura 4).

Esses cenários de aumento da necessidade de irrigação para a palma forrageira são intensificados quando se assumem a redução da precipitação pluviométrica. No Cenário B2, uma redução de 10% na precipitação, as Variáveis Meteorológicas aumentaram em 19,16% a necessidade hídrica bruta da cultura, sendo de 7,29% quando se considerou o efeito conjugado com a redução do ciclo da cultura, e de 4,16%, inserindo o efeito da [CO_2] (Figura 4). Para o Cenário A2, uma redução de 10% na precipitação pluviométrica, o efeito das Variáveis Meteorológicas aumentou em 25,90% a necessidade hídrica bruta da cultura. Somando-se o efeito da redução do ciclo da cultura a necessidade hídrica bruta aumentou em 9,23%. E uma pequena atenuação foi obtida com o efeito da [CO_2], quando a necessidade hídrica bruta aumentou em 6,37% (Figura 4).

As maiores intensificações foram obtidas com uma redução de 20% na precipitação pluviométrica para ambos os Cenários B2 e A2, quando o efeito das Variáveis Meteorológicas aumentou em 27,37 e 30,42%, nessa ordem, a necessidade hídrica bruta da palma forrageira. O efeito da redução do ciclo da cultura promoveu aumento da necessidade hídrica bruta em 13,04 e 14,78%, e somando o efeito da [CO_2], a necessidade hídrica bruta diminuiu em 10,14 e 12,14%, respectivamente (Figura 4).

No Cenário Atual, a necessidade hídrica bruta da palma forrageira para o estado de Pernambuco, concentrou-se mais na faixa de 250 e 300 mm (Figura 5A e 5B).

A diminuição ou aumento da precipitação afetou diretamente a magnitude da necessidade hídrica bruta da palma forrageira. Os resultados apresentaram as mesmas tendências tanto no Cenário B2, quanto no Cenário A2 (Figuras 5A e 5B).

Com o Cenário B2, considerando os aumentos de 20 e 10% na precipitação pluviométrica a necessidade hídrica bruta da palma forrageira foi de 200 - 250 mm e 250 - 300 mm, respectivamente. O Cenário B2 P Normal manteve a necessidade hídrica bruta da palma forrageira semelhante ao atual (250 - 300 mm). Por outro lado, reduções de 20 e 10% na precipitação pluviométrica, a necessidade hídrica bruta da palma forrageira foi de 300 - 350 mm e 250 - 300 mm, respectivamente, ou seja, a maior diminuição da precipitação pluviométrica aumentou a quantidade de municípios com maior necessidade de reposição de água via irrigação para atender a demanda da cultura (Figura 5B). Considerando acréscimos de 20 e 10% na precipitação pluviométrica no Cenário A2, a necessidade hídrica bruta da cultura passou a se concentrar mais na faixa de 200 - 250 mm e 250 - 300 mm, respectivamente. O Cenário A2 P Normal, a maior concentração da necessidade hídrica bruta da palma forrageira foi semelhante ao Cenário a atual (250 - 300 mm), mas quando se considerou diminuições de 20 e 10% na precipitação pluviométrica, a mesma aumentou a concentração na faixa de 300 - 350 mm, para ambas as condições de disponibilidade hídrica (Figura 5A).

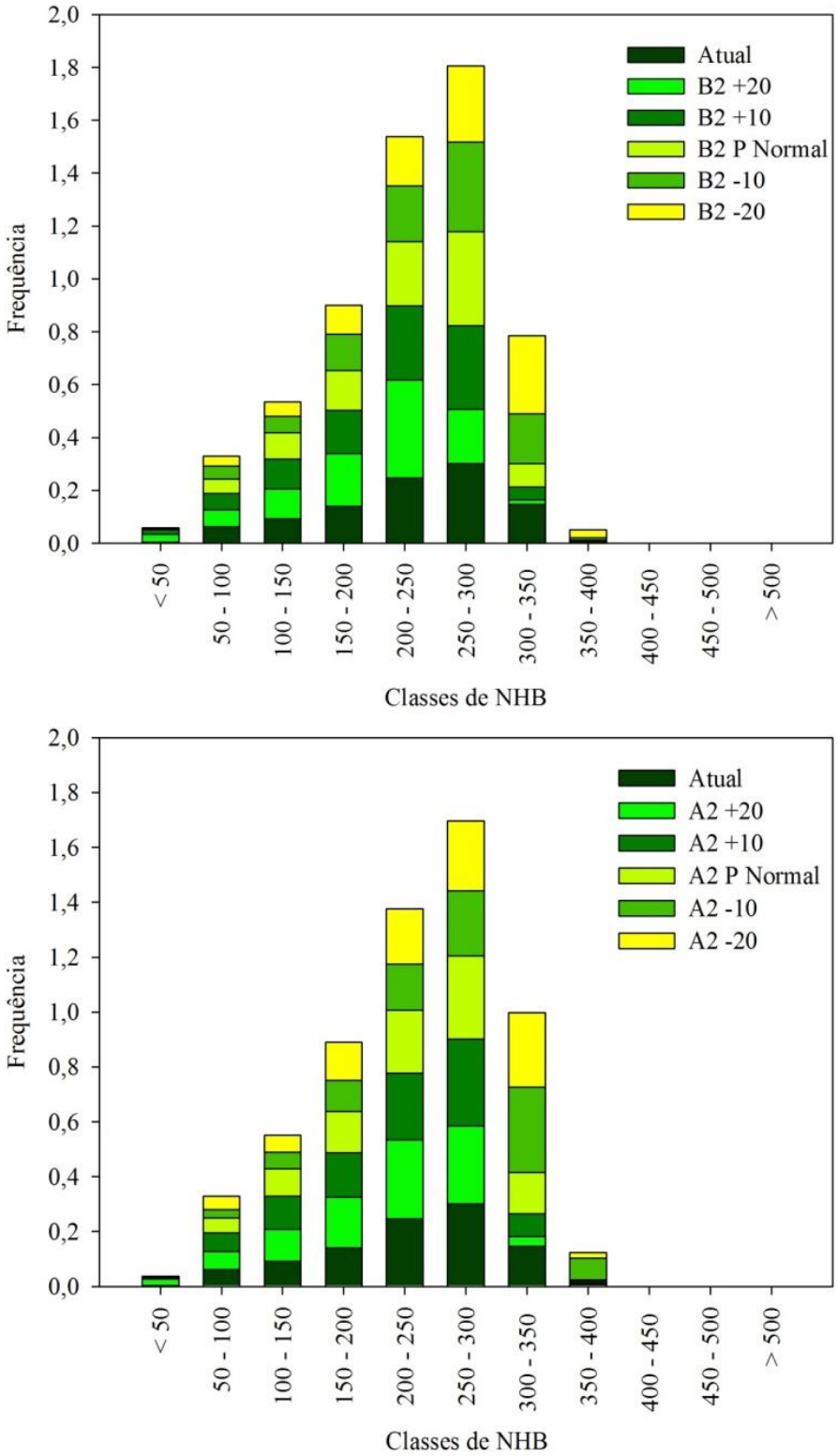


Figura 5. Necessidade hídrica bruta da palma forrageira para o Cenário B2 (A) e Cenário A2 (B) de mudanças climáticas no estado de Pernambuco.

Espacialmente, esses resultados são demonstrados nas Figuras 6 e 7. O estado de Pernambuco apresentou para os postos de observação limites geográficos de -7,37º de latitude na extremidade Norte, -9,42º de latitude na extremidade Sul, -34,88º de longitude na extremidade Leste e -41,15º de longitude na extremidade Oeste. A necessidade hídrica bruta variou conforme a latitude e a longitude do local apresentando resultados entre 21,22 e 397,96 mm. Para todos os cenários futuros avaliados a necessidade hídrica bruta exibiu valores próximos

a 0 mm na extremidade leste do estado, região litorânea. Os resultados de maior necessidade hídrica bruta foram obtidos na região Centro-Sul do estado (Figuras 6 e 7).

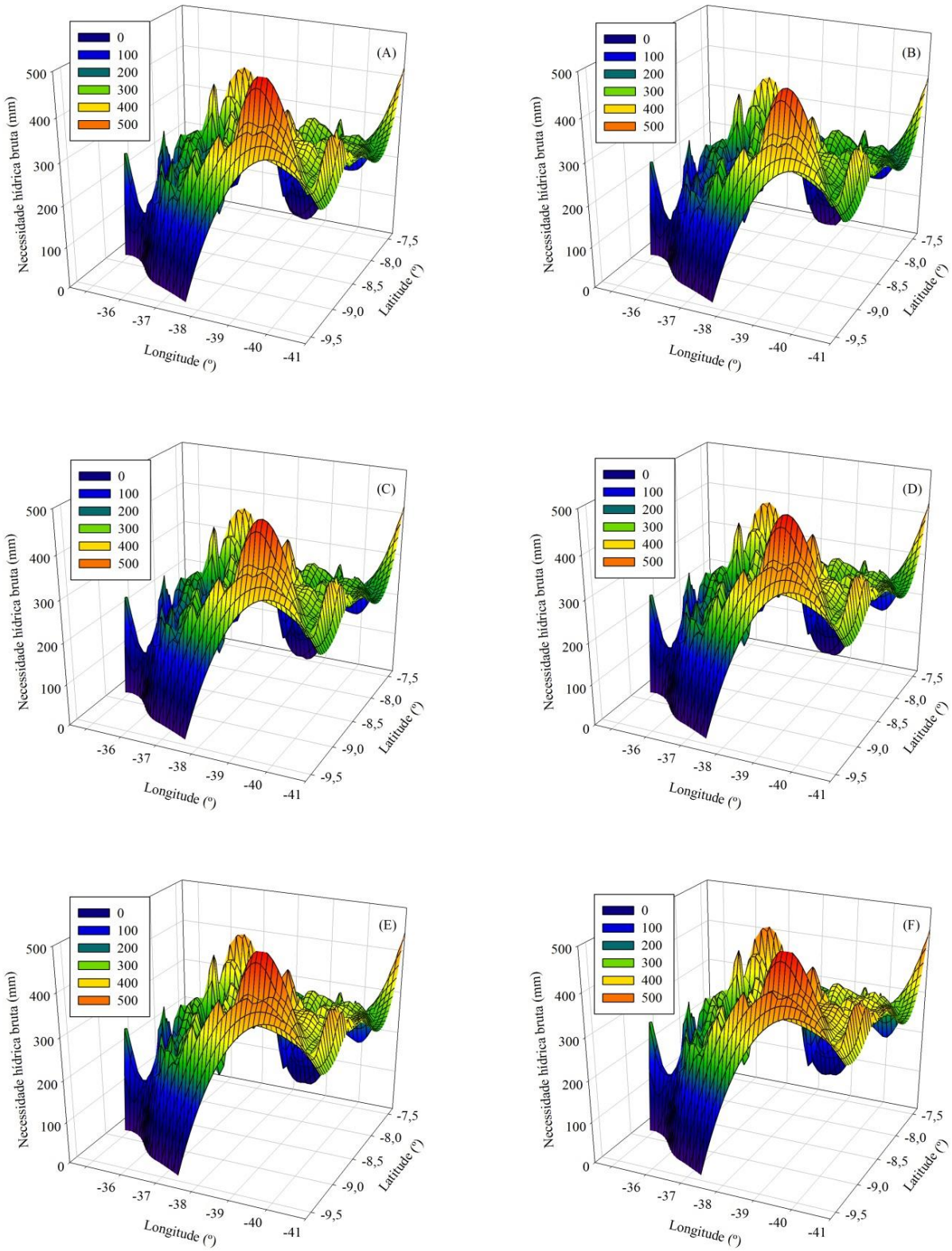


Figura 6. Mapas de mudanças climáticas no estado de Pernambuco: Cenário Atual (A); Cenário A2 +20 (B); Cenário A2 +10 (C); Cenário A2 P Normal (D); Cenário A2 -10 (E); Cenário A2 -20 (F).

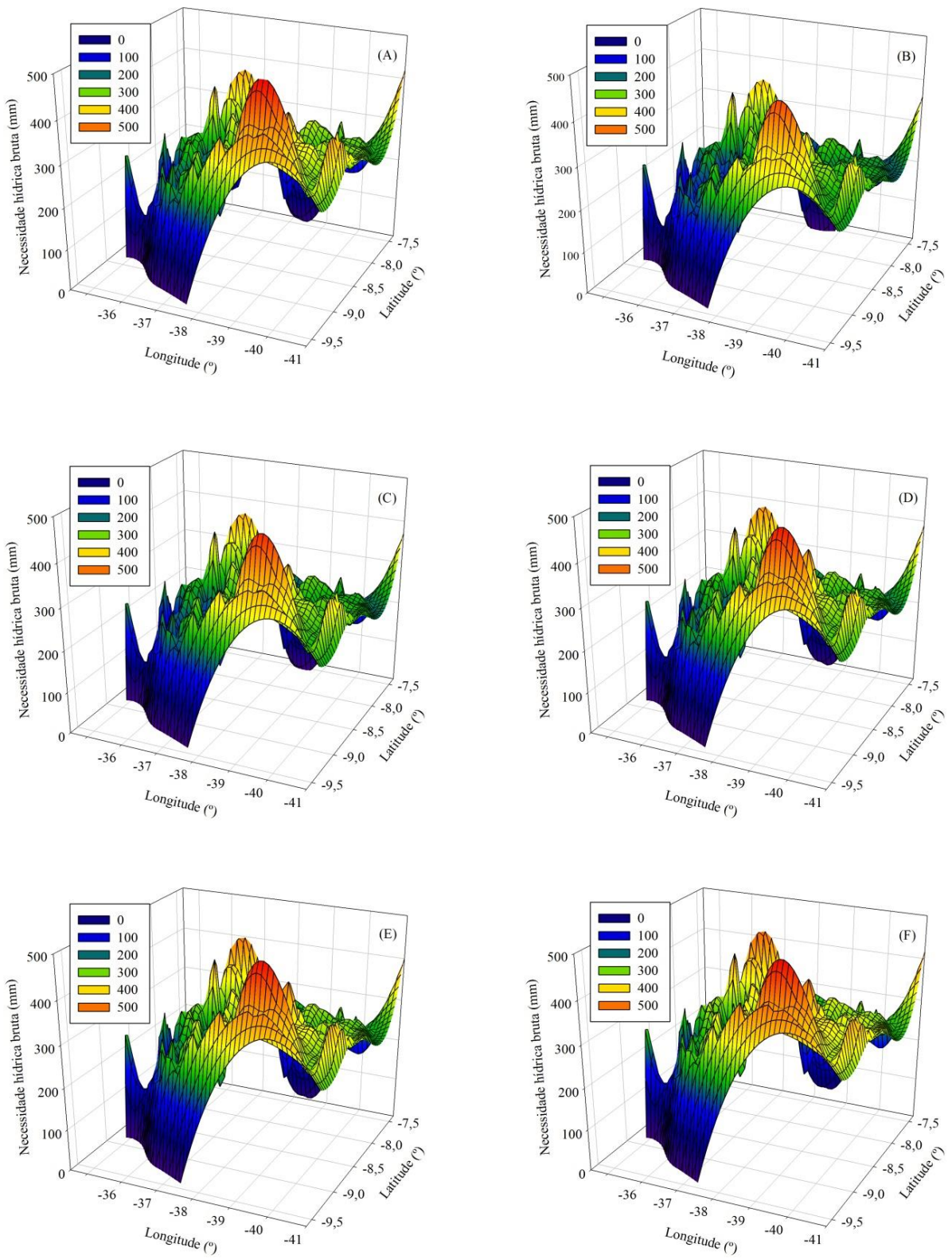


Figura 7. Mapas de mudanças climáticas no estado de Pernambuco: Cenário Atual (A); Cenário B2 +20 (B); Cenário B2 +10 (C); Cenário B2 P Normal (D); Cenário B2 -10 (E); Cenário B2 -20 (F).

A necessidade hídrica bruta apresentou variações para as diferentes regiões do estado de Pernambuco, conforme a latitude e a longitude do local exibindo resultados de mesma tendência da normal climatológica. A região litorânea estadual para todos os cenários futuros avaliados não

apresentou necessidade de irrigação. Os resultados de maior necessidade hídrica bruta foram obtidos na região Centro-Sul do estado, que conforme a normal climatológica é a que apresenta os menores índices pluviométricos, caracterizando a variável que exerceu maior influencia nos resultados obtidos nestes cenários (Figuras 6 e 7).

O cenário A2 em comparação ao cenário B2 sob as mesmas condições de maneira geral apresentou as maiores reduções hídricas.

Discussão

A redução da duração do ciclo da cultura ocorreu devido ao aumento da temperatura do ar (Figura 2), a qual permitiu que a exigência térmica fosse atendida mais rapidamente, resultando também em uma diminuição da evapotranspiração acumulada da cultura (Figura 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Fagundes et al. (2010), estudando os possíveis efeitos do aumento da temperatura do ar e da [CO_2] no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade da cultura da batata, concluíram que o aumento da [CO_2], seguido de aumento na temperatura do ar, de maneira geral, resultará em redução na duração do ciclo, no entanto implicará também em menor crescimento da batata.

As plantas podem ser classificadas, em relação ao mecanismo fotossintético, como C3, C4 e MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas). Plantas de mecanismos C_3 e C_4 abrem os estômatos para a absorção do dióxido de carbono (CO_2) durante o período diurno, enquanto que nas plantas MAC os estômatos são abertos à noite. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), as plantas MAC, ao abrirem os estômatos à noite reduzem a perda de água para o ambiente, ao mesmo tempo em que permitem a entrada de CO_2, que será convertido e armazenado em ácido málico no vacúolo da célula, e posteriormente utilizado nas reações fotossintéticas no dia seguinte. Assim, o aumento da [CO_2] poderá ser benéfico para as plantas MAC, a exemplo da palma forrageira. Porém, as informações quanto os efeitos das mudanças climáticas sobre a demanda de água pelas culturas, ainda são bastante contraditórias.

Por exemplo, além do efeito direto do incremento de CO_2 atmosférico, o mesmo também pode reduzir a condutância estomática das folhas, e induzir um aumento ainda mais expressivo da temperatura do dossel das plantas (Ts). Porém a sua magnitude depende da intensidade de radiação a qual a cultura é exposta. Triggs et al. (2004), em experimento conduzido em FACE, constataram efeito desprezível do enriquecimento de CO_2 sobre a Ts durante o período noturno, tanto para condições de alta quanto baixa disponibilidade de água no solo. Estes resultados se devem ao fato que, durante esse período as plantas C4 não estão fotossintetizando. Por outro lado, durante o período diurno, a maior [CO_2] sob condições de disponibilidade de água no solo aumenta a temperatura foliar ao longo do dia. Os autores observaram para o sorgo que, a diferença máxima variou de 1,47± 0,09ºC a 1,85±0,20ºC.

Para a palma, quando se considerou o aumento da [CO_2], a diminuição da necessidade hídrica bruta foi mais acentuada (Figura 4). Vários estudos têm constatado a redução da evapotranspiração das culturas por causa do aumento das concentrações de CO_2 tenderam a reduzir a transpiração das plantas. Contudo, ainda existem incertezas devido o aumento de produtividade induzir ao incremento da área foliar, que pode favorecer para um aumento da transpiração e evapotranspiração das culturas, contrariando as possibilidades de redução da condutância estomática (Magliulo et al., 2003). Por outro lado, ainda tem-se que essas respostas dependem da existência ou não de fatores estressantes no ambiente de cultivo.

Gondim et al. (2008) que avaliaram os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação de culturas perenes, na Bacia do Jaguaribe, no estado do Ceará, concluíram que, as mudanças climáticas projetadas aumentaram a demanda de água para irrigação, porque a evapotranspiração foi estimada para aumentos de 3,1 a 2,2% e a precipitação pluvial foi estimada para diminuições de 30,9 a 37,3%. Walter et al. (2010) obtiveram a mesma tendência dos resultados obtidos neste trabalho simulando rendimento de grãos em cultivares de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas, com o dobro da quantidade de CO_2 na atmosfera e com aumentos de temperatura do ar de 1, 2, 3, 4 e 5°C. E assim, verificaram uma tendência de aumento do rendimento de grãos em todos os cenários de mudanças climáticas considerados, em relação ao cenário atual, sendo que os maiores incrementos relativos no rendimento de grãos foram observados no cenário 2xCO_2 na cultivar de maior precocidade, que apresentou aumentos de até 100%, em relação ao cenário atual.

A demanda hídrica da palma forrageira frente aos cenários de mudanças climáticas era desconhecida, não existindo na literatura trabalhos abordando esta temática, o que induziu a necessidade desse estudo pioneiro que demonstrou a sua resposta diante das novas condições ambientais.

Para Pernambuco, verificou-se uma ampla variação espacial da necessidade hídrica futuro para a palma forrageira, sendo mais pronunciada no centro-sul e menor no litoral. Resultados similares foram obtidos por Morais et al. (2015), concluindo que a magnitude das reduções da duração do ciclo e a demanda de água simulada para as culturas do sorgo forrageiro e do feijão-caupi variaram espaço-temporalmente no Estado de Pernambuco, a depender dos cenários futuros de mudanças climáticas. Esses resultados indicam a necessidade de adaptação do manejo para as culturas, como relatado por Moura et al. (2015), que destacaram a necessidade de modificação do manejo da cultura da manga para tornar possível obter produção satisfatória em cenários de baixa disponibilidade hídrica e aumento da temperatura.

Conclusões

O presente estudo possibilitou avaliar a necessidade hídrica bruta para a irrigação da palma forrageira frente aos cenários futuros de mudanças climáticas, B2 e A2, por meio da definição das relações entre as variáveis meteorológicas e o desenvolvimento da cultura, com a sua demanda de água. Pesquisas dessa natureza visam à estimativa dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura em regiões semiáridas, de tal modo que possa ser usada como uma ferramenta de previsão agroclimática de minimização dos efeitos das alterações do clima sobre a atividade agrícola. Esse tipo de estudo é escasso, logo, o presente trabalho procurou contribuir com a comunidade científica, visando estimular o uso deste método de pesquisa para realização de novos trabalhos que avaliem os efeitos das mudanças do clima para outras culturas de importância agrícola.

Assim, conclui-se: 1. O aumento da temperatura do ar em função dos cenários futuros de mudanças climáticas reduziu a duração do ciclo da palma forrageira em 12,03% e 17,89% para os cenários B2 e A2, respectivamente. 2. Por sua vez, o incremento do déficit de pressão de vapor ocasionado pelo aumento da temperatura, em conjunto com a elevação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a redução do ciclo da cultura, promoveu diminuição da evapotranspiração da palma forrageira (entre 2,44% e 4,67% e entre 2,88% e 4,90% nos cenários B2 e A2, respectivamente). 3. Todavia, a redução da demanda hídrica bruta ocorreu apenas para as projeções da precipitação pluviométrica em que não houve alteração da normal climatológica dessa variável ou quando se considerou um incremento de 10% e 20% nas suas magnitudes. As reduções de 10% e 20% da precipitação pluviométrica promoveram aumento da necessidade de reposição de água para a palma forrageira, porém as intensidades do déficit de pressão de vapor d'água foram atenuadas, devido os efeitos da redução do ciclo da cultura e do incremento da [CO_2]. O cenário A2 em comparação ao B2, sob os mesmos cenários, resultou as maiores necessidades de irrigação.

Referências

Ainsworth, E.A., Rogers, A., 2007. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO_2]: mechanisms and environmental interactions. Plant, Cell and Environment [online] 3. Disponível: http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x. Acesso: 18 ago. 2015.

Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO, 1998, Rome. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., 2013. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. Theoretical and Applied Climatology [online] 113. Disponível: http://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0796-6. Acesso: 18 ago. 2015.

Araújo, L.C, 2008. Influência da disponibilidade de água no desenvolvimento de plantas de capim-marandu e milho: cultivo solteiro e consorciado. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Universidade de São Paulo.

Baldocchi, D.D., Xu, L.K., Nancy, K., 2004. How plant functional type, weather, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy fluxes of an oak-grass savanna and an annual grassland. Agricultural Forest Meteorology [online] 123. Disponível: http://dx.doi.org/ 10.1016/j.agrformet.2003.11.006. Acesso: 18 ago. 2015.

Bristow, K.L., Campbell, G.S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and Forest Meteorology 31:159-166.

Cabral, O.M.R., Rocha, H.R., Ligo, M.A.V., Brunini, O., Dias, M.A.F.S., 2003. Fluxos turbulentos de calor sensível, vapor d'água e CO_2 sobre plantação de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) em Sertãozinho-SP. Revista Brasileira de Meteorologia [online] 18. Disponível: h http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_

artigo.php?id_artigo=22. Acesso: 18 ago. 2015.

Fagundes, J.D., Paula, G.M. de., Lago, I., Streck, N.A., Bisognin, D.A., 2010. Aquecimento global: efeitos no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade de batata. Ciência Rural [online] 40. Disponível: http://www.scielo.br/pdf/cr/ v40n6/a609cr2829.pdf. Acesso: 18 ago. 2015.

Fisher, R.A., Turner, N.C., 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Annual Review of Plant Physiology 29:277-397.

Fleisher, D.H., Timlin, D., 2006. Modeling expansion of individual leaves in the potato canopy. Agricultural and Forest Meteorology [online] 139. Disponível: http://dx.doi.org/ 10.1016/j.agrformet. 2006.06.002. Acesso: 18 ago. 2015.

Gilbert, R.A.; Shine Júnior, J.M.; Miller, J.D.; Rainbolt, C.R., 2006. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. Field Crops Research [online] 95. Disponível: http://dx.doi.org/ 10.1016/j.fcr.2005.02.006. Acesso: 18 ago. 2015.

Gondim, R.S.; Castro, M.A.H.; Evangelista, S.R.M.; Teixeira, A.S.; Fuck Junior, S.C.F., 2008. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. Pesquisa Agropecuária Brasileira [online] 43. Disponível: http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n12/v43n12 a03.pdf. Acesso: 18 ago. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pernambuco. 2014. Disponível em: http://www. ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pe>. Acesso em: 10 jul. 2015.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University, Cambridge, 996p.

Lovelli, S., Perniola, M., Tommasoa, T. Di, Ventrellab, D., Moriondoc, M., Amatoa, M., 2010. Effects of rising atmospheric CO_2 on crop evapotranspiration in a Mediterranean area. Agricultural Water Management [online] 97. Disponível: http://dx.doi.org/ 10.1016/j.agwat. 2010.03.005. Acesso: 18 ago. 2015.

Magliulo, V., Bindi, M., Rana, G., 2003. Water use of irrigated potato (Solanum tuberosum L.) grown under free air carbon dioxide enrichment in central Italy. Agriculture, Ecosystems and Environmental [online] 97. Disponível: http://dx.doi.org/ 10.1016/S0167-8809(03)00135-X. Acesso: 18 ago. 2015.

Morais, J. E. F. de et al, 2015. 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 [online] 8. Disponível: http://www.revista. ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1 466/752. Acesso: 12 dez. 2015.

Moura, M. S. B. de et al., 2015. Aptidão climática da mangueira frente ao clima atual e aos cenários futuros. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 8. Disponível: http://www.revista.ufpe.br/ rbgfe/index.php/revista/article/view/1467/749. Acesso: 12 dez. 2015.

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Gr, A., Jung, T. Y., Kram, T., La Rovere, E. L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., Van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2014. Special report on emission scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. Disponível em: http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/ index.htm. Acesso em: 18 fev 2015.

Nefzaoui, A., Ben Salem, H., 2000. Opuntiae: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. FAO International Cactus Pear Network Newsletter. p.2-30.

Nobel, P.S., Bobich, E.G., 2002. Environmental biology. In: P. Nobel (ed.) Cacti: Biology and Uses. University of California Press, Berkeley, California.

Primo, J.T. de. A., 2013. Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano. Dissertação (Mestrado). Serra Talhada - PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada.

Qin, Z.; Ouyang, Y.; Su, G.; Yu, Q.; Li, J.; Zhang, J.; Wu, Z. 2008. Characterization of CO_2 and water vapor fluxes in a summer maize field with wavelet analysis. Ecological Informatics [online] 3. Disponível:

http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2008.09.002. Acesso: 18 ago. 2015.

Queiroz, M.G. de., 2014. Desempenho produtivo e parâmetros agrometeorológicos da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no semiárido brasileiro. Dissertação (Mestrado). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Sampaio, E.V.S.B., 2005. Fisiologia da palma. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Org.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Editora Universitária da UFPE, Recife, pp.43-55.

Silva, B.B. da, Ferreira, M.A.F., Silva, V.P.R., Ferreira, R.C., 2010. Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluviométrica do Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online] 14. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-3662010000400007. Acesso: 18 ago. 2015.

Silva, T.G.F., Moura, M.S.B., Sá, I.I.S., Zolnier, S., Turco, S.H.N., Souza, L.S.B. de, 2010. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online] 14. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800011. Acesso: 18 ago. 2015.

Silva, T.G.F; Zolnier, S.; Moura, M.S.B.; Sediyama, G.C., 2007. Estimativa e espacialização da umidade relativa do ar para os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe. Revista Brasileira de Agrometeorologia 15:14-28.

Singels, A., Smit, M.A., Redshaw, K.A., Donaldson, R.A., 2005. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. Field Crops Research [online] 124. Disponível: http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.028. Acesso: 18 ago. 2015., v.92, p.249-260.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. Fisiologia Vegetal. 3. ed. Artmed, Porto Alegre.

Tejera, N.A., Rodés, R., Ortega, E., Campos, R., Lluch, C., 2007. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. Field Crops Research [online] 102. Disponível: http://dx.doi.org/ 10.1016/j.fcr.2007.02.002. Acesso: 18 ago. 2015., v.92, p.249-260.

Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38(1): 55-94.

Triggs, J.M. et al., 2004. Free-air CO_2 enrichment effects on the energy balance and evapotranspiration of sorghum. Agricultural and Forest Meteorology [online] 124. Disponível: http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.005. Acesso: 18 ago. 2015.

UFCG. Universidade Federal de Campina Grande, 2014. Departamento de Ciências Atmosféricas. Disponível em: http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospe.htm. Acesso em: 31 mar. 2015.

Walter, L.C., Rosa, H.T., Streck, N.A., 2010. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira [online] 45. Disponível: http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n11 /02.pdf. Acesso: 12 dez. 2015.