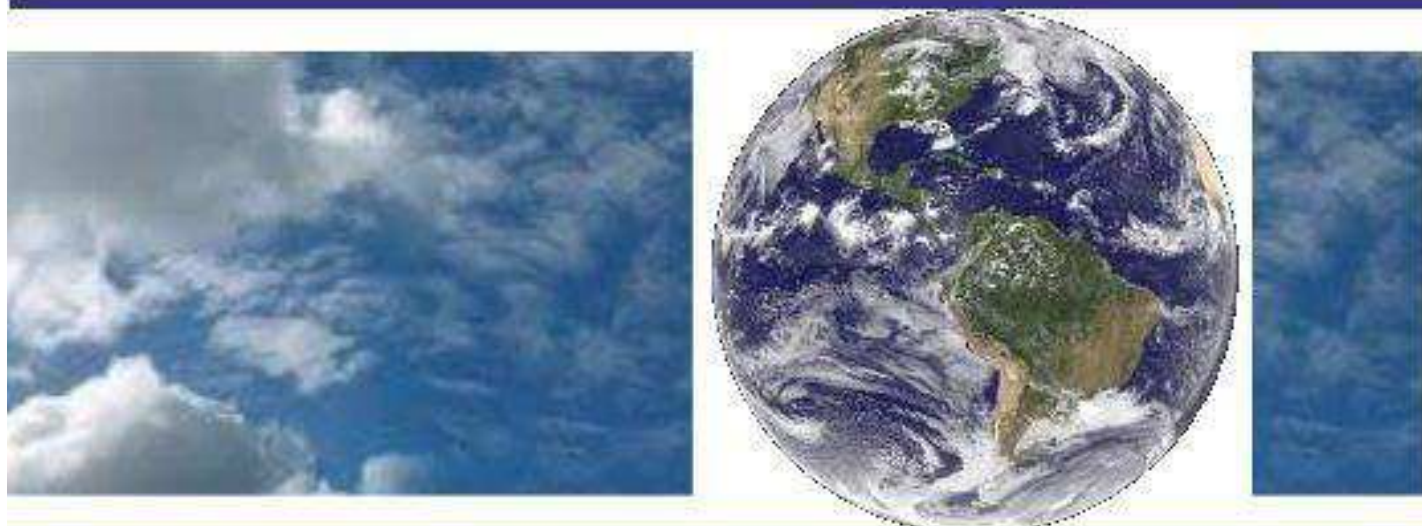


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

HUGO CARVALHO DE ALMEIDA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E
CALIBRAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO
RABANETE CULTIVADO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Campina Grande, Julho de 2020.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E CALIBRAÇÃO DO
MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO RABANETE CULTIVADO
NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

HUGO CARVALHO DE ALMEIDA

VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

Orientador

CAMPINA GRANDE – PB

Julho de 2020

HUGO CARVALHO DE ALMEIDA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E CALIBRAÇÃO DO
MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO RABANETE CULTIVADO
NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

AGROMETEOROLOGIA

SUBÁREA:

NECESSIDADES HÍDRICAS DE CULTURAS

ORIENTADOR:

DR. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

CAMPINA GRANDE – PB

Julho de 2020

A447e Almeida, Hugo Carvalho de.
Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e calibração do modelo AquaCrop para a cultura do rabanete cultivado no semiárido nordestino / Hugo Carvalho de Almeida. - Campina Grande, 2020.
51 f. : il. Color

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020. "Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva". Referências.

1. Agrometeorologia. 2. Evapotranspiração da Cultura. 3. AquaCrop. 4. Rabanete. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Título.

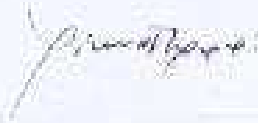
CDU 631:551.5(043)

HUGO CARVALHO DE ALMEIDA

EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E CALIBRAÇÃO DO
MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO RABANETE CULTIVADO NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10/06/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. FABRÍCIO DANIEL DOS SANTOS SILVA
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

DEDICATÓRIA

A Deus, porque sem ele eu nada seria. A minha mãe Maria Betânia e ao meu pai Everaldo Almeida por todo amor e carinho compartilhado; a minha irmã Milena Carvalho e a minha noiva Liliane Santos que sempre estiveram comigo nessa trajetória, dedico.

“Uma vida não questionada não merece ser vivida.”
- Platão

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me capacitado e por nunca me desamparar. A ele toda HONRA E A GLÓRIA!

Aos meus pais Everaldo Almeida e Maria Betânia por sempre me apoiarem e acreditarem no meu potencial. Sou eternamente grato!

À minha irmã Milena Carvalho pelos incentivos e por todo amor compartilhado.

À minha noiva Liliane Santos pela paciência, companheirismo e por não medir esforços para sempre me fazer feliz. Te amo!

À minha família que torce pelas minhas conquistas.

Aos colegas do curso de pós-graduação pela troca de experiência, pelas alegrias vividas e por sempre estarmos juntos ajudando uns aos outros.

Aos meus amigos dos grupos “Vemk” e dos “Velhos Estudiosos” agradeço por cada risada, brincadeira e descontração nos momentos de estresse.

Aos amigos Matheus Lyra, Ismael Guidson, Dimas Santiago e Lucas Carvalho por toda colaboração no decorrer do processo de desenvolvimento dessa dissertação.

Ao professor e orientador Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva pela orientação durante o curso.

À Universidade Federal de Campina Grande e os professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas por suas contribuições ao longo do curso.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

A todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVO	17
2.1. Geral.....	17
2.2. Específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Aspectos gerais da cultura do rabanete	18
3.1.1. Clima.....	19
3.1.2. Semeadura.....	19
3.2. Consumo hídrico	20
3.1.3. Eficiência do uso da água	20
3.3. Coeficiente de cultura.....	21
3.4. Modelagem agrícola.....	22
3.4.1. Aqua Crop.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1. Localização e características da área de estudo	24
4.1.1. Área experimental.....	25
4.2. Análise do solo e adubação	26
4.3. Tipo de cultura	27
4.4. Semeadura	28
4.5. Irrigação	29
4.6. Variáveis fenométricas analisadas no experimento	29
4.7. Delineamento experimental.....	29
4.8. Necessidade hídrica.....	30
4.9. Balanço hídrico e evapotranspiração da cultura (ETc)	31
4.10. Coeficiente de cultivo (Kc).....	32
4.11. Modelo AquaCrop	33

4.11.1.	Clima	34
4.11.2.	Cultura.....	34
4.11.3.	Solo.....	34
4.11.4.	Manejo.....	34
4.12.	Calibração e validação do modelo AquaCrop	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1.	Características climáticas da área de estudo	36
5.2.	Total de água aplicada.....	37
5.3.	Umidade do solo.....	38
5.4.	Variáveis fenométricas	39
5.5.	Evapotranspiração e Coeficiente de Cultivo (Kc).....	42
5.6.	Modelagem com o AquaCrop	43
5.6.1.	Calibração do modelo	44
5.6.2.	Validação do modelo	45
6.	CONCLUSÕES	47
7.	REFERÊNCIAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica do município de Campina Grande-PB	24
Figura 2. Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro) da UFCG.	25
Figura 3. Monitoramento da umidade do solo: (a) disposição dos tubos de acesso, (b) sonda Diviner 2000 para o monitoramento da umidade.....	26
Figura 4. Sementes de rabanete da variação "Crimson Gigante"	27
Figura 5. Espaçamento entre plantas utilizado para o experimento.	28
Figura 6. Espacialização aleatória dos tratamentos: T: representa os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5. R: representa as repetições 1, 2, 3 e 4. C: representa cada um dos dez canteiros. 30	
Figura 7. Fluxograma do conjunto de componentes do software AquaCrop.	33
Figura 8. Dados meteorológicos: A) Temperatura máxima e mínima (°C), B) umidade relativa (%), C) velocidade do vento (m/s), D) saldo de radiação (W/m ²), E) precipitação (mm), F) ET ₀ (mm).	37
Figura 9. Umidade média do solo por tratamento: a) T1, b) T2, c) T3, d) T4 e e) T5. 38	
Figura 10. Médias das variáveis fenométricas: a) Altura da planta (cm), b) Diâmetro do bulbo (mm), c) Peso verde (g) e d) Peso seco (g), para os tratamentos de 100, 80, 60, 40 e 20% da reposição da necessidade hídrica da cultura	39
Figura 11. Equações de regressão para os valores médios das variáveis fenométricas: (a) Altura da Planta (cm), (b) Diâmetro do Bulbo (mm), (c) Peso Verde (g) e (d) Peso Seco (g) em função dos tratamentos de 100, 80, 60, 40 e 20% da necessidade hídrica. 41	
Figura 12. Evapotranspiração da cultura (ET _c) do rabanete para a região de estudo 42	
Figura 13. Valores observados e valores simulados pelo AquaCrop no processo de calibração para a cultura do rabanete durante o experimento.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados climáticos de Campina Grande – PB no período de 1977 a 2017.	25
Tabela 2. Resumo das propriedades químicas do solo na área experimental.	26
Tabela 3. Resumo das propriedades físicas do solo na área experimental.	27
Tabela 4. Identificação dos tratamentos utilizados no experimento.	29
Tabela 5. Valores de Kc do rabanete propostos pela FAO utilizados no experimento.	31
Tabela 6. Total de água aplicada no experimento.	37
Tabela 7. Evapotranspiração para cada estágio de desenvolvimento da cultura	43
Tabela 8. Determinação do coeficiente de cultivo para a região estudada.....	43
Tabela 9. Parâmetros conservativos e não conservativos do rabanete utilizados na parametrização do AquaCrop.	45
Tabela 10. Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop para os tratamentos de 80, 60, 40 e 20% de reposição da necessidade hídrica da cultura	45
Tabela 11. Estatísticas utilizadas na validação do modelo AquaCrop para biomassa total (ton/ha) e produtividade (ton/ha) do rabanete	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Grau
B	Biomassa
°C	Grau Celsius
CO ₂	Dióxido de Carbono
d	Índice de Concordância de Willmott
DAP	Dias Após Plantio
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
EF	Coefficiente de Eficiência do Modelo Nash-Sutcliffe
EstAgro	Estação Agrometeorológica Experimental
ET	Evapotranspiração
ETc	Evapotranspiração da Cultura
ET0	Evapotranspiração de Referência
FAO	Food and Agriculture Organization
g	Gramas
h	Hora
ha	Hectare
HI	Índice de Colheita
hPa	Hectopascal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
K	Potássio
Kc	Coefficiente de Cultura
Kg	Quilo
Km	Quilômetro
L	Litro
m	Metro
mg	Miligrama
ml	Mililitro
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
n _o	Número de observações

NRMSE	Raiz do erro quadrático médio normalizado
\bar{O}	Média dos valores observados
O_i	Valores observados em campo
PB	Paraíba
PE	Erro de Predição
pH	Potencial de Hidrogênio
P_i	Valores simulados pelo AquaCrop
R^2	Coefficiente de Determinação
RMSE	Erro quadrático médio
R_s	Radiação Solar
s	Segundos
t	Tempo
T1, T2, T3, T4, T5	Tratamentos
TempMax	Temperatura Máxima
TempMin	Temperatura Mínima
Ton	Tonelada
Tr	Transpiração da Cultura
UACA	Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UR	Umidade Relativa
Y	Produtividade
w	Watts
WP	Produtividade da Água

EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E CALIBRAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO RABANETE CULTIVADO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

RESUMO

O presente estudo buscou determinar o consumo hídrico e o coeficiente de cultivo além de calibrar o modelo AquaCrop para a cultura do rabanete com a finalidade de simular a produtividade para o semiárido nordestino. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Campina Grande, a EstAgro, localizada no município de Campina Grande/PB entre os meses de outubro e novembro do ano de 2019 utilizando a variedade “Crimson Gigante”. O delineamento experimental utilizado no estudo foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos que consistiram em 100, 80, 60, 40 e 20% da reposição hídrica da cultura com 4 repetições cada, totalizando 20 parcelas experimentais. A evapotranspiração da cultura média e total, obtida através do balanço hídrico, apresentaram valores de 3,13 mm e 96,72 mm, respectivamente. Os valores do Kc encontrados para os estágios I, II, III e IV foram 0,29; 0,55; 0,82 e 0,72, respectivamente. Quanto a modelagem, foram utilizados dados obtidos no tratamento de 100% de reposição para calibração do modelo AquaCrop e a sua validação deu-se através da comparação dos valores encontrados pelo modelo com os observados em campo em condições de deficiência hídrica. Diante disso, essa proposta de validação do modelo AquaCrop foi satisfatória sob o ponto de vista estatístico por apresentar bons resultados para a biomassa e a produtividade, indicando a aplicabilidade do modelo.

Palavras-chave: AquaCrop; Evapotranspiração da Cultura; Rabanete

**EVAPOTRANSPIRATION, CULTURE AND MODEL CALIBRATION
COEFFICIENT AQUACROP FOR CULTURE OF RADISH GROWING IN
NORTHEASTERN SEMIARID**

ABSTRACT

The present study sought to determine water consumption and crop coefficient, in addition to calibrating the AquaCrop model for the culture of radish in order to simulate productivity for the Northeastern semi-arid region. The experiment was carried out in the experimental area of the Federal University of Campina Grande, EstAgro, located in the municipality of Campina Grande / PB between the months of October and November of the year 2019 using the variety “Crimson Gigante”. The experimental design used in the study was completely randomized, with 5 treatments that consisted of 100, 80, 60, 40 and 20% of the water replacement of the culture with 4 replicates each, totaling 20 experimental plots. The evapotranspiration of the average and total culture, obtained through the water balance, presented values of 3.13 mm and 96.72 mm, respectively. The Kc values found for stages I, II, III and IV were 0.29; 0.55; 0.82 and 0.72, respectively. As for modeling, data obtained in the treatment of 100% replacement for the calibration of the AquaCrop model were used and validated by comparing the values found by the model with those observed in the field under water deficiency conditions. Therefore, this proposal for validating the AquaCrop model was satisfactory from the statistical point of view because it presented good results for biomass and productivity, indicating the applicability of the model.

Keywords: AquaCrop; Crop Evapotranspiration; Radish

1. INTRODUÇÃO

Considerada uma das hortaliças que possuem o tempo de colheita relativamente pequeno, o rabanete dispõe de uma produção mundial estimada em sete milhões de toneladas por ano, sendo o Japão um dos grandes produtores (ITO & HORIE, 2008). É uma importante cultura para diversificação dos cultivos em pequenas propriedades, onde apresenta vantagens de se cultivar entre duas outras de ciclo mais longo, aumentando assim, a gama de produtos comercializados. No entanto, é considerada uma cultura altamente rentável, pois apresenta um ciclo de aproximadamente 30 dias, que proporciona um rápido retorno econômico (CARDOSO & HIRAKI, 2001). Mesmo sendo considerada de ciclo curto, é necessário que se tenha um solo rico em nutrientes, que desempenharão um papel importante no crescimento, desenvolvimento e produção.

No Brasil, a produção de rabanete não é realizada em grande escala, talvez pelo desconhecimento da população, por ser um alimento funcional rico em vitaminas A e B. Estima-se que a produção brasileira gira em torno de nove mil toneladas, cultivadas em aproximadamente seis mil estabelecimentos agropecuários, concentrados nas regiões sul e sudeste do país, sendo o estado de São Paulo como o principal produtor (IBGE, 2017). Já a comercialização de sementes está em torno de 15,5 ton/ano sendo cultivados 1.107 ha/ano (ABCSEM, 2010). Na região Nordeste, os estados que vêm ganhando destaque na produção dessa hortaliça são Bahia e Pernambuco.

De fato, o planejamento de cultivos agrícolas é uma questão estratégica importante. Quanto mais precisa e antecipada for a previsão de produtividade, maior a capacidade de identificação de possíveis riscos e benefícios para aumentar a produção agrícola e para avaliar incertezas (LITTELL et al., 2011). Dessa forma, o uso de modelos computacionais tem se tornado uma ferramenta imprescindível na agricultura nas últimas décadas, pois, são capazes de auxiliar nas tomadas de decisões e no planejamento de lavouras, prevendo o potencial de produção das culturas em cenários distintos (BASSO et al., 2013; MORELL et al., 2016). O desenvolvimento agrícola necessita de novos artifícios, no sentido de potencializar a produtividade e minimizar os riscos na produção.

A vantagem de simular a produtividade de culturas agrícolas está na possibilidade de prever o desenvolvimento da cultura no decorrer da safra, ou até mesmo antes de implantá-la. Assim, decisões sobre o manejo da cultura e o uso de técnicas mais adequadas, devem ser tomadas continuamente desde o período de pré-plantio até o

período de pós-colheita, considerando a complexa interação entre a planta e o ambiente (ANDRIOLO, 1999). Além disso, os modelos de simulação de produtividade são importantes e muito difundidos na área da pesquisa, pois permitem a realização de experimentos em diversos cenários, simulando o balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera (WHISLER et al., 1986; SENTELHAS et al., 2001; TOJO-SOLER et al., 2001; MELLO & CAIMI, 2008). Associado ao uso dos bancos de dados climáticos, esses modelos são capazes de estimar o aporte e perda de água e nutrientes do sistema, no decorrer do tempo e, com isso, estimar a produtividade de diversas culturas agrícolas.

Nesse contexto, a Food and Agriculture Organization (FAO) desenvolveu o AquaCrop, um software de simulação agrícola considerado simples e preciso, com o intuito de aumentar a aplicabilidade e uso de modelos de simulação de produção (PIEKARSKI, 2016). O modelo foi gerado a partir do estudo e simplificações das relações que regem os processos e fluxo de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera. Desta forma, o modelo necessita de menor número de variáveis facilmente medidas, facilitando sua utilização (RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009). Diante disso, é de extrema importância a calibração de um modelo que seja capaz de prever com antecedência colheitas, bem como determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo do rabanete cultivado sob irrigação em condições climáticas semiáridas.

2. OBJETIVO

2.1. Geral

Determinar o coeficiente de cultivo e o consumo hídrico, bem como calibrar e validar o modelo AquaCrop para a cultura do rabanete cultivada na região do agreste paraibano.

2.2. Específicos

- a) Estudar as variáveis fenométricas do rabanete, cultivados em regiões semiáridas, em função das reposições de 100, 80, 60, 40 e 20% da necessidade hídrica da cultura;
- b) Determinar evapotranspiração e produtividade de biomassa do rabanete para a região de estudo;
- c) Realizar simulações da produtividade da cultura através do modelo AquaCrop com intuito de saber as repostas dos diferentes níveis de irrigação;
- d) Realizar a parametrização do modelo AquaCrop para o cultivo em questão, bem como realizar a sua validação para a cultura do rabanete.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aspectos gerais da cultura do rabanete

O rabanete (*Raphanus sativus L.*) é uma das plantas hortícolas mais antigas que se tem notícia, havendo registros de que ele seja cultivado há mais de três mil anos (MAIA et al., 2011). Com relação a sua origem, há uma grande contradição. Existem autores que afirmam que o rabanete é proveniente da China, enquanto outros consideram sua origem no sul da Europa, na região do Mediterrâneo. Mas o que parece certo é que já era cultivado no Egito antigo, onde até suas folhas eram consumidas.

Apesar de não se encontrar entre as olerícolas de grande importância em termos de área plantada, o rabanete é usado na diversificação entre culturas de ciclo mais longo, devido ao seu ciclo curto e sua rusticidade (MINAMI et al., 1998). Em condições favoráveis de fertilidade e umidade do solo, não leva mais do que 30 dias, da semeadura à colheita (MINAMI; TESSARIOLI NETO, 1994). É uma planta de pequeno porte que pertence à família das Brassicáceas, e geralmente não ultrapassa 30 centímetros de altura. Suas folhas são bem recortadas, e nas cultivares de maior aceitação, produz raízes globulares, de coloração avermelhada e sabor picante (FILGUEIRA, 2008). Em geral, o rabanete apresenta quatro fases distintas, segundo MAROUELLI et al. (2010), o ciclo pode ser dividido em quatro fases de desenvolvimento: inicial – do plantio até a emergência; vegetativa – da emergência até 80% do máximo desenvolvimento vegetativo; produção – do início do engrossamento da raiz até o início da senescência da parte aérea; maturação – do final da fase de produção até a colheita.

Apresenta propriedades medicinais, como expectorante natural e estimulante do sistema digestivo, contendo vitaminas A, C, B1, B2, B6, ácido fólico, potássio, cálcio, fósforo e enxofre, elevada quantidade de fibras alimentares, atividade antioxidante e baixa quantidade de calorias (CAMARGO et al., 2007; MELLO et al., 2013). Cada 100 gramas de raiz in natura apresentam 15,9 calorias; 96,2% de água; 30 µg de vitamina B1 (tiamina); 30 µg de vitamina B2 (riboflavina); 0,3 µg de vitamina B3 (niacina); 18,3 mg de vitamina C (ácido ascórbico); 0,5 mg de cobre; 10 mg de magnésio; 3,7 mg de zinco; 382,9 mg de potássio; 86,5 mg de sódio; 138 mg de cálcio; 1,71 mg de ferro e 64 mg de fósforo (CORTEZ, 2009).

Segundo PEREIRA et al. (1999) o rabanete exige um elevado teor de água disponível no solo, próximo a 100%, ao longo de todo o ciclo. Entretanto, variações na umidade e na temperatura do solo durante o seu ciclo, podem provocar rachaduras nas

raízes (FILGUEIRA, 1982) como também alterar seu desenvolvimento, modificando a fisiologia, morfologia e, principalmente, afetando as relações bioquímicas da planta (KRAMER, 1969). A necessidade de saber a quantidade e o momento correto de se fazer a reposição hídrica para o rabanete, assim como para demais culturas, é de suma importância, já que diversos fatores estão envolvidos, como as condições climáticas da região, balanço hídrico do solo e as características fisiológicas da planta (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012).

3.1.1. Clima

Embora possa ser cultivado o ano todo, o rabanete possui sua melhor época de plantio no outono-inverno, porém nas demais regiões do Brasil, onde o verão é sempre quente e chuvoso, recomenda-se que o plantio seja feito de abril a junho. É uma cultura que tolera bem ao frio e as geadas leves, apresentando melhor desenvolvimento do sistema radicular em solos bem drenados, com dias curtos e temperaturas de 10 a 20 °C (STEINER et al., 2009). Entretanto, altas temperaturas afetam negativamente o crescimento das raízes, por promover a deterioração das sementes. Já em condições de temperaturas amenas, o ciclo do rabanete é mais longo, da semeadura até a colheita.

3.1.2. Semeadura

Por ser intolerante ao transplantio, o cultivo do rabanete é comumente realizado em canteiros definitivos. Suas sementes são semeadas em sulcos de 10 a 15 mm de profundidade, espaçamento entre fileiras variável de 15 a 25 cm combinados com distâncias de 8 a 10 cm na fileira, sendo que os maiores espaçamentos são usados para cultivares de parte aérea maior. O desbaste do excesso de plantas é feito quando estas atingem 5 cm de altura (FILGUEIRA, 1982; 2003).

O rabanete é uma cultura que não exige muito quanto ao tipo de solo, desde que seja um solo leve, rico em húmus e, em condições ideais, com o pH entre 5,5 a 6,8 (FILGUEIRA, 2008). Como o rabanete se desenvolve em camadas de menor profundidade, o seu rendimento pode ser diretamente influenciado pelas condições do solo, assim como a quantidade de oxigênio (SILVA et al., 2012), desordens fisiológicas (CECÍLIO FILHO et al., 1998) e, em menores proporções, a presença de fungos. Apesar de se apresentar como uma cultura bastante resistente, e não sofrer muito com infestações de doenças ou pragas, é importante manter a atenção com relação à presença de grilos e pulgões.

Contudo, o rabanete é considerado exigente sob o aspecto nutricional, pois necessita de grandes quantidades de nutrientes em um curto período de tempo. Dessa forma, se faz necessário um solo rico em substâncias nutritivas, que serão essenciais para o pleno desenvolvimento da parte aérea e principalmente do produto final. Em função disso, deficiências nutricionais dificilmente podem ser corrigidas durante o ciclo, principalmente deficiências de N e K, sendo estes, os dois nutrientes requeridos em maiores quantidades (COUTINHO NETO et al., 2010).

3.2. Consumo hídrico

Todas as plantas consomem água para sua sobrevivência e crescimento. Esse consumo hídrico por parte das culturas é um processo de fundamental importância, pois envolve diretamente quase todas as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas. De acordo com FERNANDES & TURCO (2003), a aplicação de água insuficiente repõe água somente nas camadas superficiais do solo, não umedecendo a zona das raízes, o que acarreta danos na fisiologia do vegetal. No caso do rabanete, a qualidade decresce se houver estresse hídrico no solo, ocorrendo a isoporização das raízes que tomam aspecto esponjoso e pouco palatáveis (FILGUEIRA, 2008), além de apresentar distúrbios fisiológicos que interferem na produtividade e no diâmetro da raiz, principalmente pelas rachaduras que causa no tubérculo (AZEVEDO, 2008).

Segundo LOPES (2010), para fornecer água necessária para o pleno desenvolvimento das culturas em muitos casos se utiliza da irrigação, fornecendo assim as quantidades adequadas em cada fase de desenvolvimento da cultura. DILLON (2011) afirma que projetos de irrigação de pequena escala podem gerar diversos benefícios, particularmente em termos de eficiência, baixos custos de participação e mais influência sobre a gestão dos recursos hídricos. De acordo com FIGUEIREDO et al. (2008) a irrigação quando feita adequadamente permite a maximização da produção agrícola, racionalizando o uso de mão-de-obra, energia e água, fazendo com que os problemas referentes à fitossanidade, que sejam oriundos de irrigações excessivas ou escassas sejam inexistentes.

3.1.3. Eficiência do uso da água

A água é necessária para o provimento das diversas atividades humanas, e um dos principais fatores na produção agrícola. Com o aumento da população, principalmente em países pobres e em desenvolvimento, existe uma grande necessidade

de melhorar a eficiência do uso da água na produção agrícola (HSIAO et al., 2009). Segundo CHRISTOFIDIS (1997) a nível mundial, a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos) e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico. No Brasil, em particular, a área irrigada corresponde a 18 % da área cultivada, mas contribui com 42% da produção total (CHRISTOFIDIS, 2002). Entretanto, a irrigação é muitas vezes realizada sem o devido conhecimento das reais necessidades hídricas e dos parâmetros necessários ao manejo de irrigação da cultura.

De acordo com COELHO et al. (2005) a agricultura irrigada, para que se mantenha sustentável, em termos ambientais, é preciso ser eficiente no uso da água na irrigação, bem como no uso dos agroquímicos que aplicados às plantas ou ao solo podem causar contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. O uso eficiente da água de irrigação pode ser alcançado atuando-se: a) na estrutura de irrigação então existente, em termos de tipos de cultivo, sistemas de irrigação e gestão do uso de água; b) nos métodos de manejo da irrigação e c) nas técnicas que permitem aumento da eficiência do uso da água.

3.3. Coeficiente de cultura

A evapotranspiração é um processo simultâneo de transferência da água para a atmosfera por evaporação da água do solo e pela transpiração das plantas (MIRANDA & PIRES, 2001). Esse fator combinado com a determinação das necessidades hídricas da cultura, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, são as principais informações para o manejo racional da irrigação, e para fins de planejamento do uso da água. Dentre as técnicas disponíveis para estimar o consumo de água pelas plantas, se destaca o uso dos coeficientes de cultura associados a estimativas da evapotranspiração de referência. ALLEN et al. (1998) salientam que a evapotranspiração de uma cultura (ET_c) pode ser facilmente obtida através da multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o) por um coeficiente de cultura (K_c).

O K_c é um parâmetro adimensional que está diretamente ligado às fases fenológicas e fisiológicas das culturas e suas respectivas demandas hídricas. Os valores do coeficiente de cultura variam com a cultura e com seu estágio de desenvolvimento, sendo apresentados em tabelas por DOORENBOS & PRUITT (1977) e descritos para diferentes culturas por DOORENBOS & KASSAM (1979). Além disso, esses diferentes valores para K_c são influenciados pelas características da cultura, datas de

semeadura e plantio, ritmo de desenvolvimento, duração do período vegetativo, condições edafoclimáticas e variedade utilizada. SEDIYAMA et al. (1998) afirmam ainda que o Kc pode variar com a textura e o teor de água do solo e com a profundidade e a densidade do sistema radicular.

O coeficiente de cultura deve ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado. Não é possível manejar a irrigação com eficiência utilizando os Kcs existentes sem calibrar. DOORENBOS & PRUITT (1977) destacam a necessidade de calibrar os coeficientes de cultura sob as específicas condições climáticas. Por sua vez, ALLEN et al., (1998) indicam que os valores de Kc, como a duração dos estádios fenológicos da cultura, sejam adaptados por meio de pesquisa para cada região, levando em consideração as diversas variedades existentes e características do clima.

De acordo com DOORENBOS & KASSAM (1979) o coeficiente de cultura do rabanete varia em torno de 0,3 a 0,4 durante o estágio inicial (0 a 5 dias), 0,55 a 0,65 durante o estágio de desenvolvimento da cultura (6 a 13 dias), 0,8 a 0,9 durante a fase de formação do fruto (14 a 22 dias) e de 0,75 a 0,85 durante a maturação (23 a 30 dias).

3.4. Modelagem agrícola

Um modelo agrícola especificamente pode ser explicado como um sistema quantitativo para avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a produção de determinada cultura, dado o conjunto de características genéticas e variáveis ambientais relevantes (MONTEITH, 1996). Esse tipo de modelo foi elaborado buscando uma representação simplificada das respostas das culturas às variáveis ambientais, e o seu uso tem se tornado imprescindível na agricultura, especialmente em países que possuem agricultura altamente tecnificada. Esses modelos são capazes de pressupor situações futuras, embasando decisões que podem diminuir os custos e atingir maiores produtividades, podendo assim orientar épocas para plantio, estimar perdas de produção, usando sempre como referência parâmetros de clima, solo, cultivar e manejo, tomando o plantio de determinada cultura economicamente viável para o produtor (HAMID & ABDULLAH, 2008; SALES et al., 2016).

A modelagem agrícola tem se mostrado uma ferramenta poderosa nas últimas décadas, pois é considerada por muitos como o melhor mecanismo para transferência de conhecimento da pesquisa para o produtor rural ou o pesquisador da área. CORRÊA et al., (2011) afirmam que a utilização desses modelos na agricultura serve como auxílio aos experimentos de campo, por sua facilidade, velocidade e redução dos custos de

execução. ITTERSUM et al., (2003) afirmam ainda que esse tipo de modelagem serve para facilitar o entendimento quanto ao comportamento da cultura dentro do seu contexto ambiental, podendo ser usados em escalas regional e global, para prever ou explorar o potencial produtivo sob certas condições.

3.4.1. Aqua Crop

Há uma gama de modelos com a finalidade de prever a produtividade das culturas agrícolas. Entretanto, o modelo AquaCrop desenvolvido pela FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) tem se mostrado eficiente, se destacando pelo seu equilíbrio entre precisão, simplicidade e robustez. De acordo com RAES et al., (2009) este modelo incorpora os conhecimentos atuais das respostas fisiológicas das culturas em uma ferramenta que pode prever a biomassa e a produtividade das plantas cultiváveis em resposta a água disponível, sendo assim, a água possui uma função substancial no modelo, no qual é denominado “water - driven model” (ALENCAR, 2014). Adota-se ainda a equação original proposta por DOORENBOS & KASSAM (1979) como princípio, se desenvolvendo a partir dela por meio do cálculo da biomassa, baseando-se na quantidade de água que é transpirada.

Segundo JUNIOR (2019) o AquaCrop possui, relativamente, poucos parâmetros conservativos da cultura que são os valores *default* do modelo, de modo que simula o rendimento da safra final em quatro etapas, o que torna o enfoque da modelagem transparente. As etapas consistem na simulação do desenvolvimento da cobertura do dossel da cultura, da transpiração da cultura, da biomassa acima do solo e do rendimento final da colheita (VANUYTRECHT et al., 2014). Além disso, alguns aspectos de manejo são apresentados, com ênfase na irrigação, níveis de fertilidade do solo que afetam o desenvolvimento das culturas, ajustes das culturas ao estresse hídrico e, portanto, o rendimento final. Pragas e doenças não são consideradas. Para melhor aproveitamento dos benefícios do modelo, é imprescindível que o usuário compreenda todas as etapas da simulação (FOSTER et al., 2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Localização e características da área de estudo

O presente estudo foi conduzido no município de Campina Grande - PB, que conta com uma área de aproximadamente de 620 km² (com cerca de 96 km² de área urbana) e está inserido na Mesorregião Geográfica do Agreste Paraibano, na Zona Centro Oriental da Paraíba no Planalto da Borborema (OLIVEIRA, 2007). Está localizado em 7° 13' de latitude Sul, 35° 52' de longitude Oeste e possui um relevo forte e ondulado com curvas de nível variando entre 325 m e 670 m acima do nível médio do mar. Encontra-se 124 km distante da capital do estado (Figura 1).

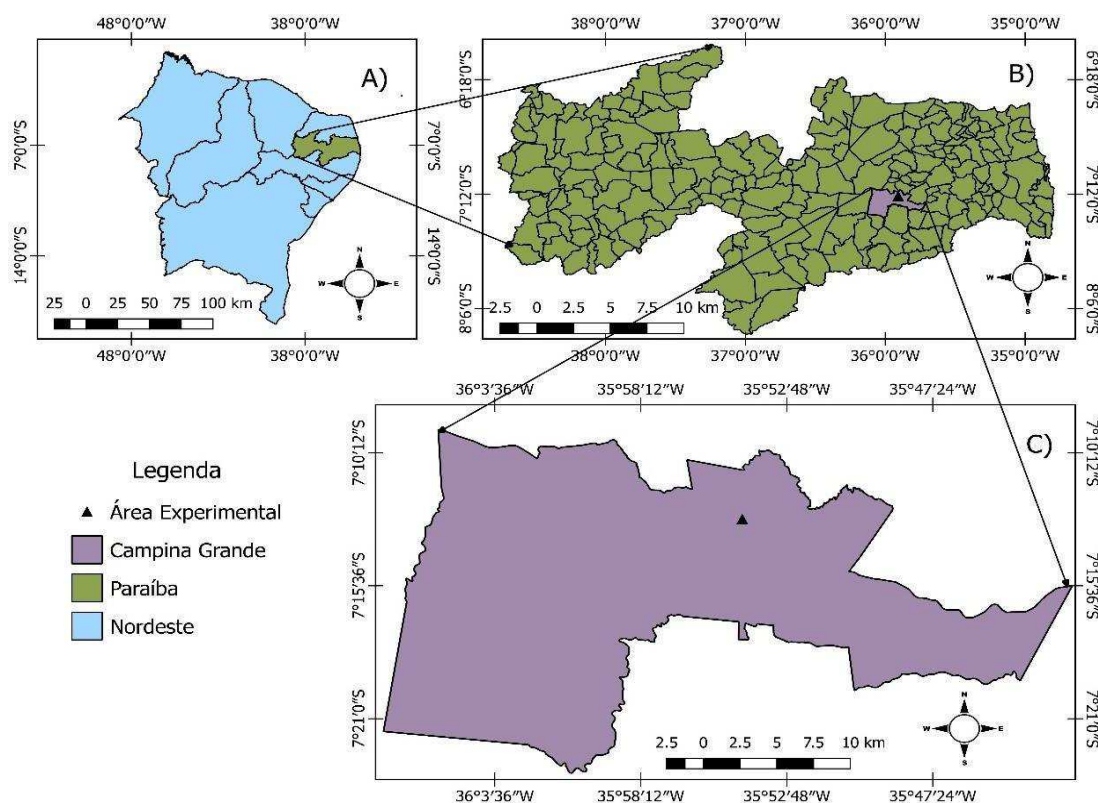


Figura 1. Localização geográfica do município de Campina Grande-PB.

Situa-se na fronteira entre microrregiões de clima e vegetação bastante diversos. A vegetação local é tipicamente do agreste nordestino, zona de transição entre o semiárido e a vegetação litorânea. De acordo com a classificação climática de Köppen, Campina Grande é caracterizada por ser quente e úmida com chuva de outono-inverno (As'). Além disso, apresenta um período de estiagem de cerca de cinco a seis meses. As temperaturas do ar variam entre a máxima anual de 28,6 °C e a mínima 19,5 °C e a umidade relativa é bastante uniforme em toda a região, com médias em torno de 78%.

A tabela 1 exibe as características climáticas do município de Campina Grande – PB no período de 1977 a 2017.

Tabela 1. Dados climáticos de Campina Grande – PB no período de 1977 a 2017.

Dados meteorológicos	Média anual
Pressão atmosférica (hPa)	951,9
Temperatura máxima do ar (°C)	28,6
Temperatura mínima do ar (°C)	19,5
Precipitação total (mm)	754,3
Umidade relativa do ar (%)	77,8
Insolação total (h)	2543

4.1.1. Área experimental

O experimento foi desenvolvido na Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro) (7°12'52" S e 35°54'26" O) do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Foram utilizados 10 canteiros separados em torno de 0,38 m, com as dimensões internas de 1 m de largura, 7,6 m de comprimento e altura de aproximadamente 0,15 m cada (Figura 2). Na área útil total de 7,6 m², foram semeadas 144 plantas.

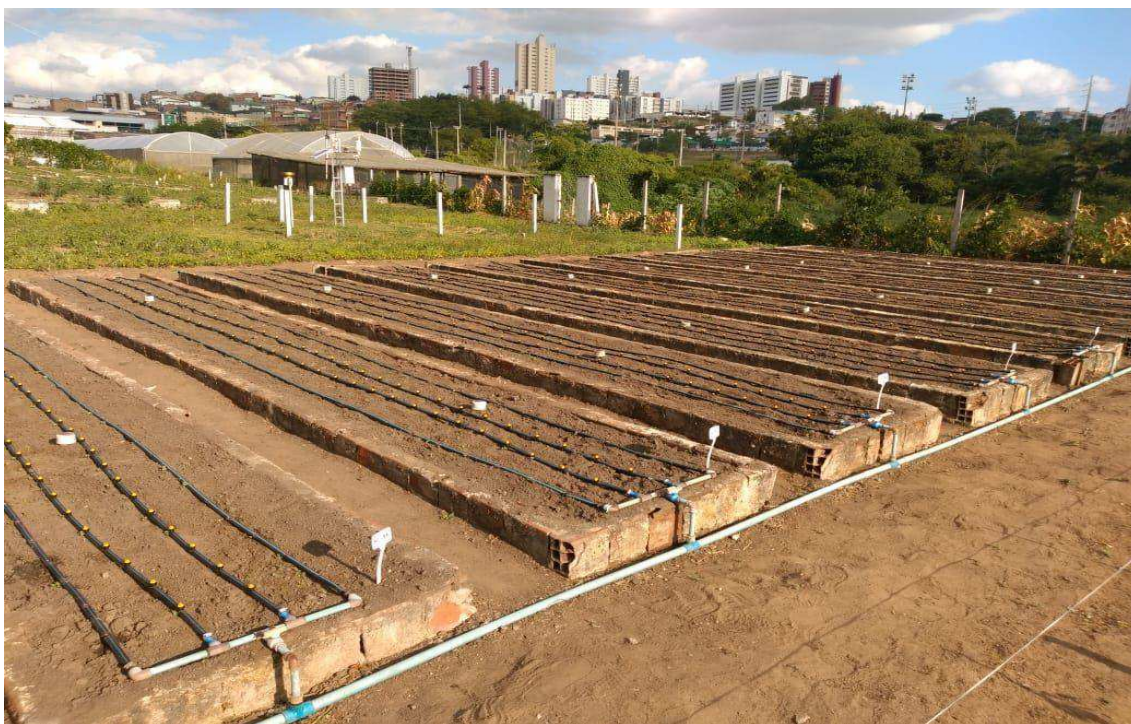


Figura 2. Estação Agrometeorológica Experimental (EstAgro) da UFCG.

Em cada canteiro foram instalados dois tubos de acesso (Figura 3a) em cano PVC com 1 m de comprimento, diâmetro externo de 56,5 mm e interno de 51 mm, devidamente vedados no fundo, para monitorar a variação da umidade no solo através da sonda de capacitância Diviner (Figura 3b) durante o período estudado. As medições foram feitas três vezes por semana.

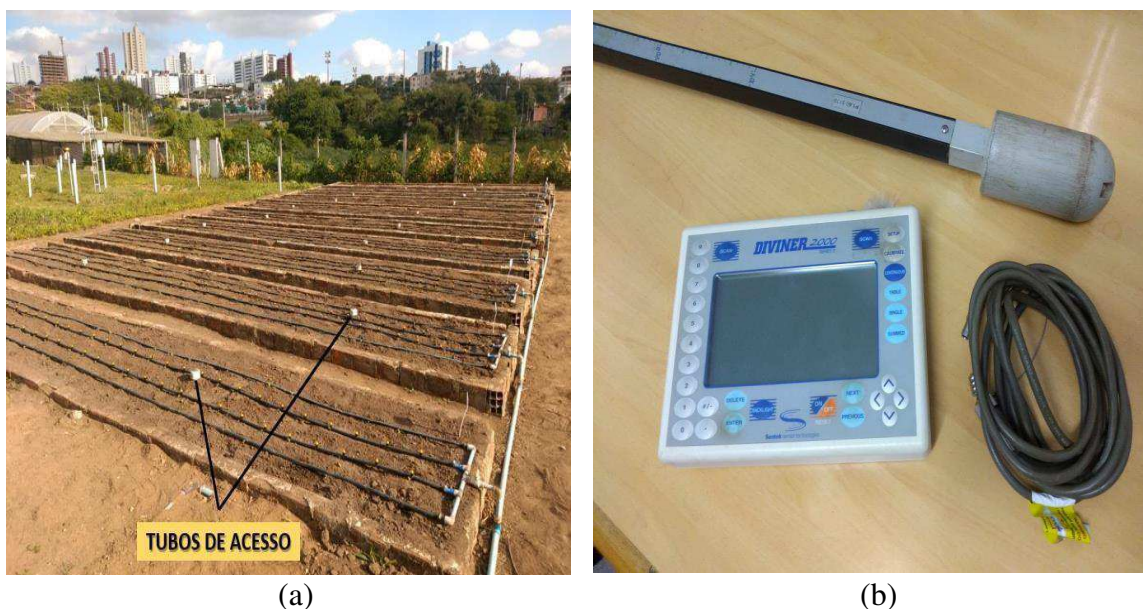


Figura 3. Monitoramento da umidade do solo: (a) disposição dos tubos de acesso, (b) sonda Diviner 2000 para o monitoramento da umidade.

4.2. Análise do solo e adubação

As análises das características químicas e físicas do solo na área do experimento foram possíveis através da retirada de amostras no interior dos canteiros, a uma profundidade de 40 cm, e enviadas ao setor de ciência do solo da UFPB. Os resultados das análises química e física podem ser vistos nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Resumo das propriedades químicas do solo na área experimental.

Química e Fertilidade										
pH	P	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	M.O.
H ₂ O	-	mg/dm ³	-	-	-	cmol _c /dm ³	-	-	-	g/kg
(1:2,5)										
6,2	30,95	142,51	0,04	2,00	0	2,27	1,72	4,4	6,4	11,12

P, K, Na: Extrator Mehlich 1

H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5, M, Ph 7,0

Al, Ca, Mg: Extrator KCl 1M

SB: Soma das Bases Trocáveis

CTC: Capacidade de Troca Catiônica

M.O.: Matéria Orgânica – Walkley-Black

Tabela 3. Resumo das propriedades físicas do solo na área experimental.

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Classificação Textural	Densidade do Solo (g/cm ³)	Densidade de Partículas (g/cm ³)	Porosidade (%)
	Areia	Silte	Argila				
10	79,9	14,0	6,0	Areia Franca	1,29	2,73	52,68
20	81,9	11,0	7,0	Areia Franca	1,26	2,71	53,41
30	83,4	10,5	6,0	Areia Franca	1,34	2,73	51,13
40	82,0	10,5	7,5	Areia Franca	1,33	2,73	51,3

A adubação foi realizada com base no resultado das propriedades químicas do solo, utilizando-se da adubação orgânica, como o esterco de gado, assim como um tipo de defensivo agrícola para a eliminação das formigas e não foi necessário fazer calagem. De acordo com a análise física, a classe textural do solo foi do tipo areia franca, que foi importante para a determinação da irrigação diária, visto que esse tipo de solo possui dificuldade em reter água por um longo intervalo de tempo, pela sua alta concentração de areia em todas as camadas.

4.3. Tipo de cultura

A cultivar utilizada foi a variedade “Crimson Gigante”. É um tipo de variedade muito comum entre os produtores do nordeste brasileiro, que se caracteriza por ser uma cultura precoce de folhagem vigorosa, que produz raízes grandes, redondas e de coloração externa vermelha brilhante. A sua polpa é branca e firme. Prefere solos leves e arenosos e a sua temperatura ideal para germinação está entre 20 e 30 °C.

**Figura 4.** Sementes de rabanete da variação "Crimson Gigante".

4.4. Semeadura

A semeadura do rabanete foi feita manualmente, colocando cerca de quatro sementes por cova a uma profundidade de 2-3 cm. Nesse processo, com o auxílio de uma pá e de uma enxada, a área de dentro e de fora dos canteiros foram aradas e capinadas com o intuito de eliminar as plantas invasoras.

O experimento teve início no dia 02 de outubro, com o plantio, e finalizado no dia 01 de novembro, com a colheita, totalizando um ciclo de 30 dias. Para que o canteiro ficasse mais homogêneo e a competição por nutrientes fosse menor, por volta do décimo dia foi realizado o desbaste, retirando as menores plantas e deixando apenas a planta mais vigorosa. O espaçamento entre plantas utilizado no estudo foi de 20 x 20 cm, como pode ser observado na Figura 5.

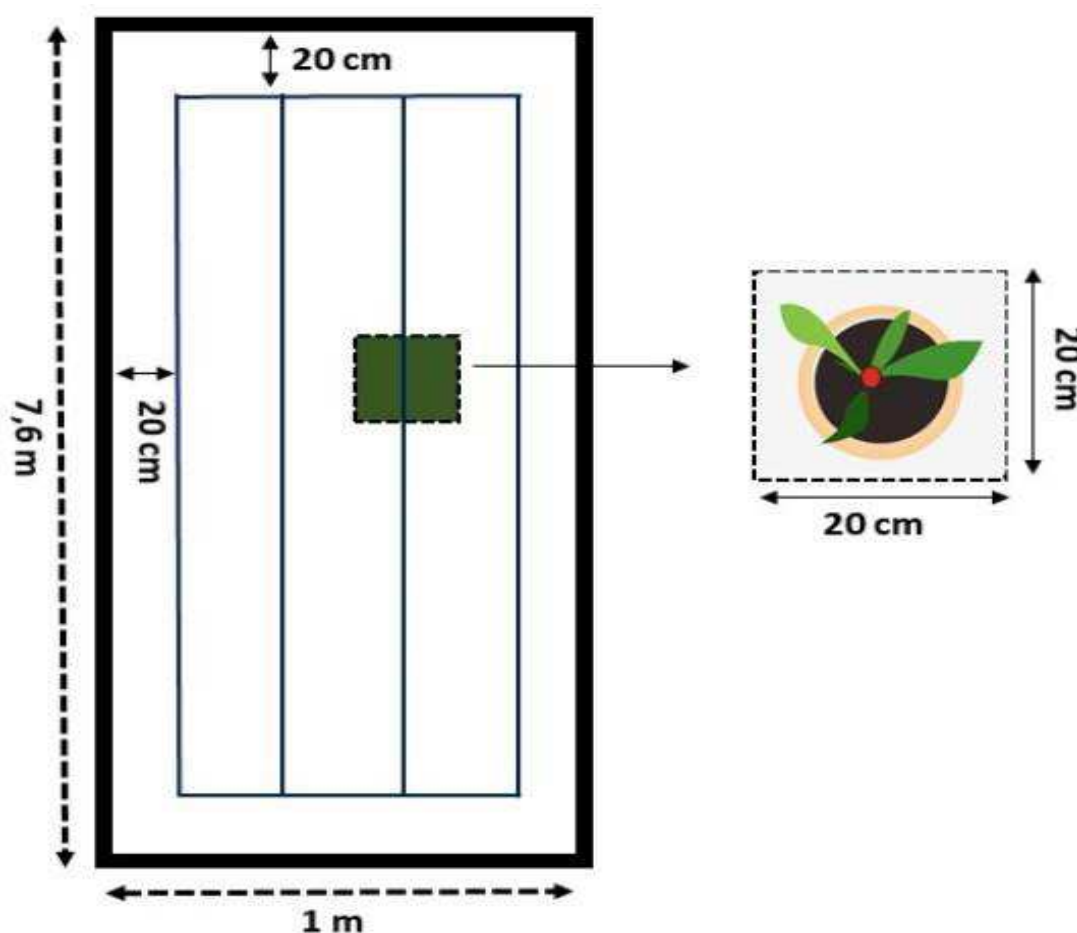


Figura 5. Espaçamento entre plantas utilizado para o experimento.

Devido ao efeito de bordadura, ficaram apenas 72 plantas por canteiro disponíveis para análise, com um total de 144 plantas por tratamento, de modo a evitar a influência externa do ambiente e plantas que menos sofreram com a competição por nutrientes.

4.5. Irrigação

O tipo de irrigação utilizado no estudo foi o por gotejamento, que é um método de irrigação localizada que fornece água de forma pontual por meio de gotas, diretamente na zona das raízes. No experimento em questão, cada canteiro dispõe de quatro linhas de mangueiras com 36 gotejadores cada. A irrigação foi feita uma vez por dia com base na evapotranspiração diária.

Inicialmente, cada parcela foi irrigada com a mesma lâmina de água para que a cultura pudesse germinar uniformemente. Por volta do décimo quinto dia que as parcelas foram submetidas à diferenciação dos 5 tratamentos. Para o teste de vazão média foram coletadas amostragens aleatórias nos gotejadores, contabilizando a quantidade de água por minuto (ml/min) em uma proveta, que posteriormente foi ajustado para L/h. O valor da vazão observado contabilizando as quatro linhas de mangueira foi de 568,8 L/h.

4.6. Variáveis fenométricas analisadas no experimento

Após a colheita do rabanete, avaliaram-se as seguintes características em uma amostra de 40 plantas: Altura da planta, obtida através de uma régua a partir do nível do solo até a extremidade da folha mais alta, diâmetro da raiz, determinado através de um paquímetro digital expresso em cm, massa verde, obtida através de uma balança de precisão expressa em g, massa seca, determinada após a secagem em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura regulada a 65 °C, e posteriormente pesada através de uma balança de precisão. O número de amostras foi estabelecido afim de descartar aquelas que apresentaram rachaduras, bifurcações ou danos mecânicos.

4.7. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado no estudo foi o inteiramente casualizado, onde foram usados 5 tratamentos de irrigação com 4 repetições por tratamento, que totalizaram 20 parcelas experimentais. Os tratamentos estão apresentados na Tabela 4. Os canteiros estão espacializados de forma aleatória, conforme mostrado na Figura 6.

Tabela 4. Identificação dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Necessidade Hídrica
T1	100% da ET0
T2	80% da ET0

T3	60% da ET0
T4	40% da ET0
T5	20% da ET0

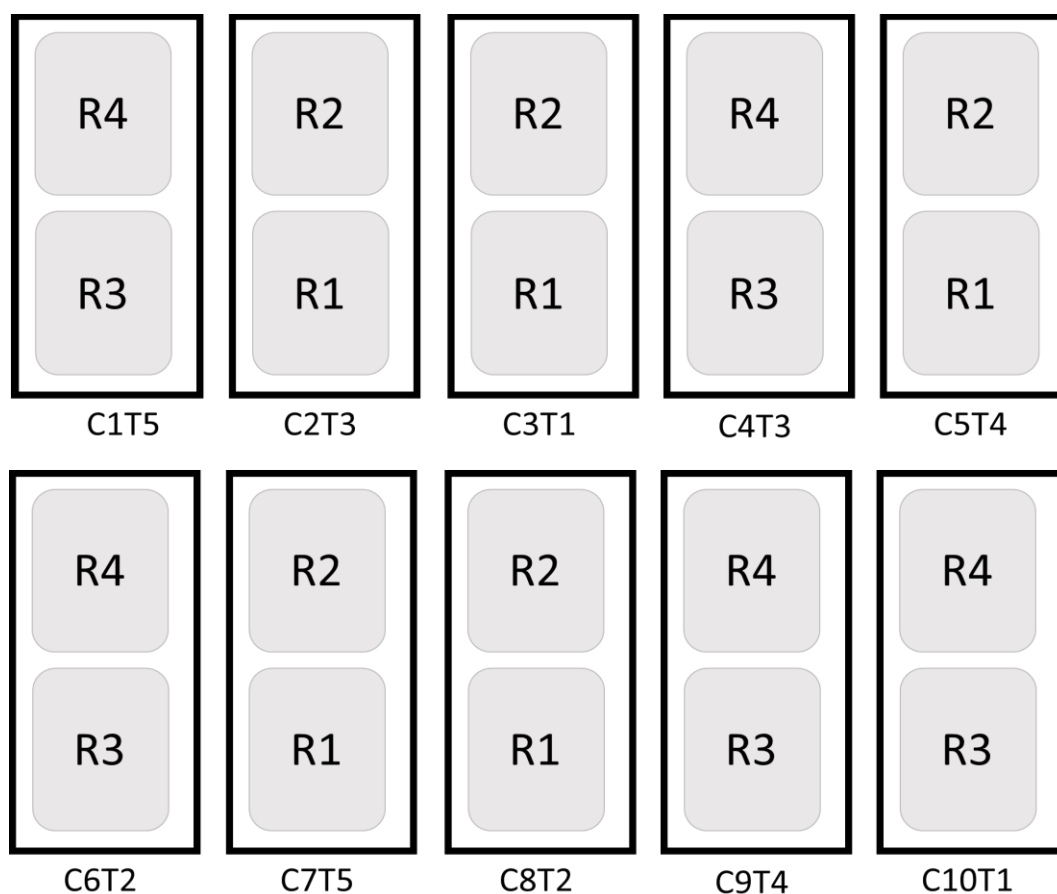


Figura 6. Espacialização aleatória dos tratamentos: T: representa os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5. R: representa as repetições 1, 2, 3 e 4. C: representa cada um dos dez canteiros.

4.8. Necessidade hídrica

A reposição de água foi feita com base no que foi evapotranspirado, sendo determinada através da multiplicação da evapotranspiração de referência pelo coeficiente de cultura, conforme a equação 1:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

ET_c: Evapotranspiração da cultura (mm/dia);

ET₀: Evapotranspiração de referência (mm/dia);

K_c: Coeficiente de cultura (adimensional).

É importante salientar que os valores do coeficiente de cultura (Kc) do rabanete que foram utilizados para irrigação são os propostos pela FAO-56, em função da duração de dias de cada estágio da cultura, como demonstrado na tabela 5.

Tabela 5. Valores de Kc do rabanete propostos pela FAO utilizados no experimento.

Estádios da Cultura	Duração (dias)	Kc
Semeadura à germinação	0 a 7	0,3
Desenvolvimento	8 a 15	0,55
Formação do fruto	16 a 24	0,8
Maturação	25 a 31	0,75

A evapotranspiração de referência foi calculada com auxílio do software ET0 Calculator, desenvolvido pela FAO. O software determina a ET0 seguindo o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), através da equação 2:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

ET0: Evapotranspiração de referência (mm/dia);

Rn: Saldo de radiação na superfície da cultura (MJ/m²dia);

G: Densidade do fluxo de calor no solo (MJ/m²dia);

T: Temperatura diária do ar a 2 m de altura (°C);

u: Velocidade do vento a 2 m de altura (°C);

e_s: Pressão de vapor saturada (kPa);

e_a: Pressão de vapor real (kPa);

e_s-e_a: Déficit de pressão de vapor de saturação (kPa);

Δ: Declinação da curva de pressão de vapor (kPa/°C);

γ: Valor psicrométrico (kPa/°C).

Os dados de entrada do software para a estimativa da ET0 foram disponibilizados no site do INMET através da Estação Meteorológica Convencional de Campina Grande – PB. As variáveis utilizadas foram os dados diários de temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e insolação (h).

4.9. Balanço hídrico e evapotranspiração da cultura (ETc)

O balanço hídrico no solo foi realizado para o tratamento de 100% por meio dos

dados meteorológicos da estação convencional de Campina Grande - PB e pelo monitoramento da umidade do solo feita pela sonda Diviner 2000. Através desse método, foi possível calcular a evapotranspiração da cultura (ET_c) com base na equação 3 (LIBARDI, 1995):

$$ET_c = P + I + A - D \pm \Delta W \pm R$$

ET_c: Evapotranspiração da cultura (mm/dia);

P: Precipitação pluviométrica (mm);

I: Lâmina de irrigação (mm);

A: Ascensão capilar (mm);

D: Drenagem profunda (mm);

ΔW : Variação da lâmina de água disponível no solo (mm);

R: Escoamento superficial (mm).

Vale ressaltar que P foi adquirida junto a Estação Meteorológica Convencional de Campina Grande - PB, I através do monitoramento da irrigação, A foi desconsiderada pois o lençol freático da região é superior a 1 m e o volume de controle do rabanete foi até 0,2 m, D também foi desconsiderada pela não ocorrência de chuvas extremas no período de estudo e uso da irrigação controlada, ΔW determinado com base no perfil de umidade do solo, através da sonda Diviner 2000, que faz automaticamente leituras a cada 10 cm de profundidade e armazena seus dados no datalogger do equipamento e, por fim, R foi considerado nulo, visto que a topografia do terreno é plana.

4.10. Coeficiente de cultivo (K_c)

O coeficiente de cultivo do rabanete foi calculado através da divisão da evapotranspiração da cultura (ET_c), utilizando-se do método de LIBARDI, 1995, pela evapotranspiração de referência (ET₀), calculada com o auxílio do software ET₀ Calculator, de acordo com a equação 4 (ALLEN et al., 1998):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

K_c: Coeficiente de cultura (adimensional);

ET_c: Evapotranspiração da cultura (mm/dia);

ET₀: Evapotranspiração de referência (mm/dia).

4.11. Modelo AquaCrop

As equações estruturais do modelo AquaCrop focaram principalmente em estimar a produção de biomassa, diretamente da transpiração das culturas, e a produtividade das plantas, em resposta da água disponível. De acordo com STEDUTO et al., (2009), o modelo AquaCrop evoluiu a partir da abordagem de DOORENBOS & KASSAM (1979), separando o modelo de evapotranspiração da cultura (ET_c) da transpiração da cultura (Tr) e da evaporação de água no solo (E), para que não se confunda o efeito do uso improdutivo do consumo de água pela evaporação. Outro aspecto importante refere-se à estimativa da produtividade (Y) a partir da produção de biomassa (B) e do índice de colheita (HI), permitindo a distinção entre fatores ambientais que influem na produção e eficiência como característica da própria cultura na conversão da biomassa. Dessa forma, foram desenvolvidas as equações 5 e 6:

$$B = WP \cdot \sum T_r$$

$$Y = B \cdot HI$$

B: Biomassa seca (kg);

WP: Produtividade da água (kg/m²mm);

Tr: Transpiração da cultura (mm);

Y: Produtividade final (kg);

HI: Índice de colheita (%).

Como em outros modelos, o AquaCrop é estruturado em cima do contínuo solo-cultura-atmosfera, como é demonstrado no fluxograma na Figura 7.

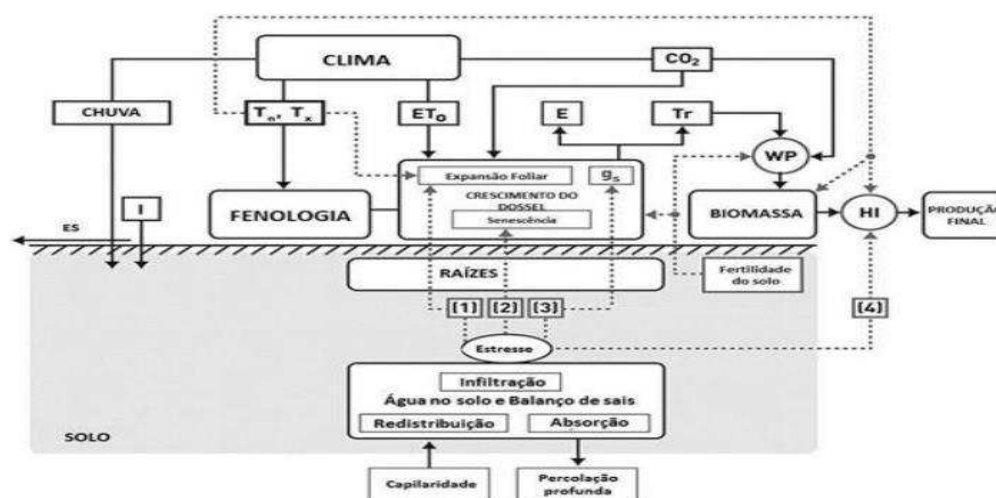


Figura 7. Fluxograma do conjunto de componentes do software AquaCrop.

4.11.1. Clima

Nesse módulo as variáveis inseridas foram: dados diários de temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s), radiação solar (W/m^2), evapotranspiração de referência (ET_0) e a concentração de dióxido de carbono (CO_2) anual média da atmosfera. É importante salientar que as cinco primeiras variáveis meteorológicas serão obtidas através da estação meteorológica e a concentração de CO_2 é a média anual, medida pelo Observatório Mauna Loa, no Havaí. A ET_0 foi calculada por meio do software ET_0 Calculator.

4.11.2. Cultura

No módulo da cultura, avaliou-se o espaçamento entre plantas (m), datas de altura máxima do dossel, cobertura máxima, expansão e declínio do dossel, profundidade máxima das raízes (m), número de dias de semeadura a até a floração, data da maturidade da cultura, data da senescência, número de dias da floração até a senescência, a produção de biomassa e por fim, índice de colheita da cultura.

4.11.3. Solo

Para o solo, o modelo admitiu até cinco diferentes horizontes sendo cada um com suas características físicas. Já para as características hidráulicas do solo foram necessários dados de capacidade de campo, ponto de murcha permanente, coeficiente de drenagem e a condutividade hidráulica à saturação.

4.11.4. Manejo

Este módulo é dividido em duas categorias: manejo de campo e manejo de irrigação. No manejo de campo foi considerada a fertilidade do solo e as práticas de superfície. No manejo de irrigação foram oferecidas opções para avaliar e analisar a produção agrícola e o manejo e uso da água, em condições de chuva ou irrigação.

4.12. Calibração e validação do modelo AquaCrop

A calibração foi possível ao rodar o modelo com os dados que foram coletados de cada tratamento de irrigação, ocasionando em produtividades simuladas, que foram comparadas com as produtividades observadas no experimento. Posteriormente foram efetuados ajustes nos parâmetros. Já a validação do modelo, foi possível através da comparação dos valores reais observados em condição de campo com aqueles simulados pelo modelo já calibrado, tanto na biomassa quanto na produtividade.

O desempenho do modelo foi avaliado usando os seguintes parâmetros estatísticos:

O erro quadrático médio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n_o}}$$

O erro médio quadrático normalizado (NRMSE):

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n_o}} * 100$$

Coefficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe:

$$EF = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$$

O índice de concordância de Willmott:

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

em que:

P_i: Valores simulados pelo AquaCrop;

O_i: Valores observados em campo;

\bar{O} : Média dos valores observados;

n_o: Número de observações.

O RMSE é um indicador que exhibe valores de 0 a ∞ , considerando bom ajuste para o primeiro valor e desempenho fraco ao se afastar deste valor. No NRMSE, a simulação pode ser considerada excelente em caso de o valor ser menor que 10%, bom se estiver entre 10 e 20%, justo entre 20 e 30% e pobre se for acima de 30%. O Coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (EF) varia de $-\infty$ a 1, com este último sendo considerado a combinação perfeita dos valores observados e simulados pelo modelo. E por último, o índice de concordância de Willmott (d), que tem variação de 0 a 1, zero indica nenhuma concordância, ao passo que o valor 1 é considerado concordância perfeita.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características climáticas da área de estudo

O experimento foi conduzido em condições de campo durante os meses de outubro e novembro, no período seco da região. Na figura 8 estão apresentados os resultados do comportamento das variáveis meteorológicas: Temperaturas mínima e máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s), radiação solar (w/m^2), precipitação (mm) e ET_0 (mm).

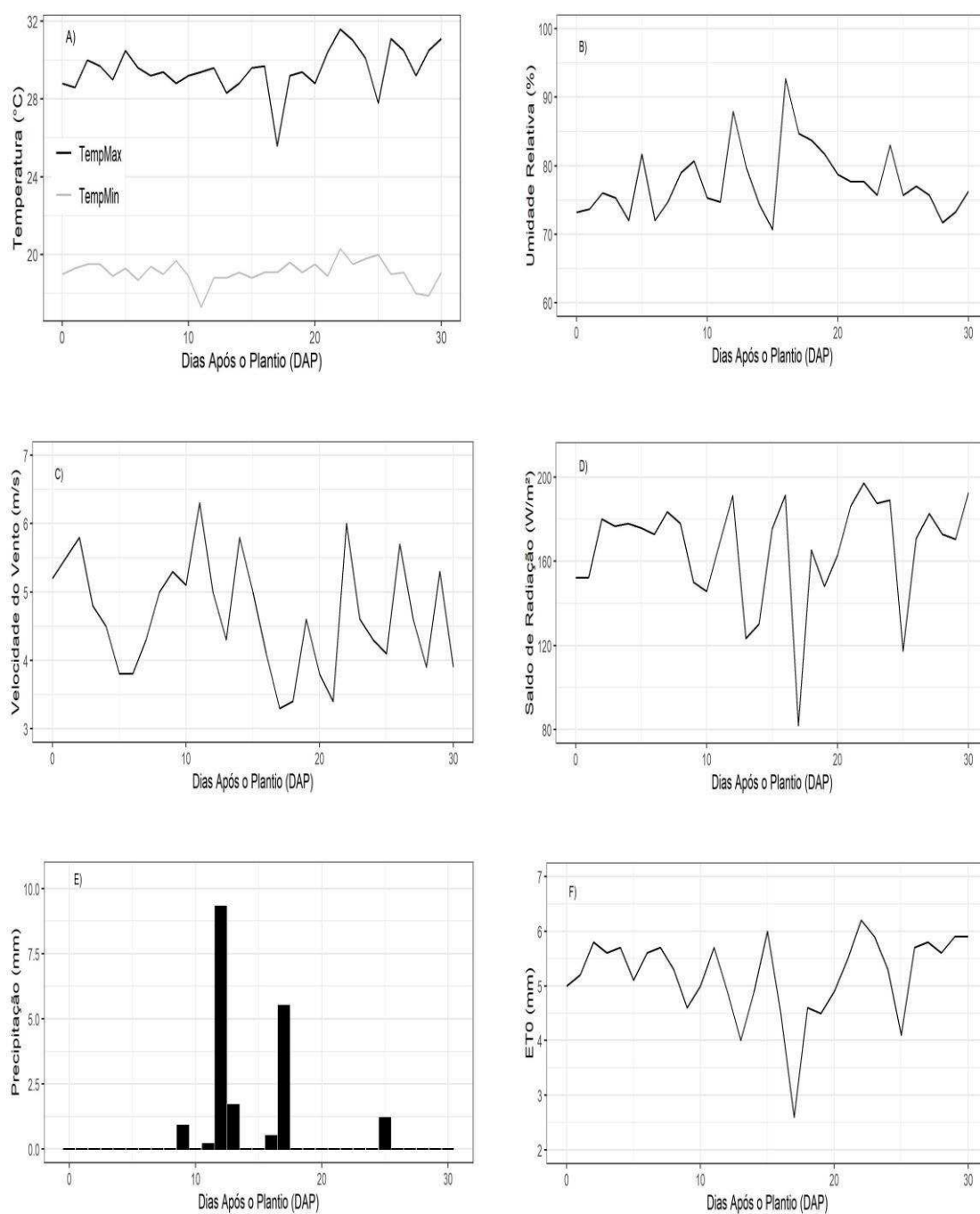


Figura 8. Dados meteorológicos: A) Temperatura máxima e mínima (°C), B) umidade relativa (%), C) velocidade do vento (m/s), D) saldo de radiação (W/m²), E) precipitação (mm), F) ET0 (mm).

Na figura 8a pode-se observar que não houveram variações no comportamento destas temperaturas, ou seja, mantiveram-se sem grandes alterações, como era esperado, pois é uma característica da região de estudo nesta época, apresentando média de 29,5 e 19,1 para as máximas e mínimas. A umidade relativa, apresentada na figura 8b, apresentou variação de 70,7 e 92,7%, com média de 77,8%, o que também era esperado de acordo com a climatologia da região. A precipitação pluvial (figura 8e) apresentou um total de 19,3 mm, ficando predominantemente concentrada na metade do ciclo, entre 9 DAP e 17 DAP, atingindo máximo valor de 9,3 mm. Após esse período, observa-se precipitação apenas em 25 DAP, com um valor de 1,2 mm. As demais variáveis apresentaram comportamentos semelhantes, ou seja, não foi observado nenhuma tendência, apresentando média de 4,6 m/s para a velocidade do vento e 166,64 W/m² para a radiação solar (figuras 8c e 8d). Já a ET0 (figura 8f) apresentou média de 5,2 mm/dia com valor mínimo de 2,6 mm/dia, ao qual se justifica pela diminuição da radiação solar em dias nublados, e máximo de 6,2 mm/dia, para os 19 e 24 DAP.

5.2. Total de água aplicada

Inicialmente os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação, de modo a garantir o desenvolvimento uniforme das plantas. Após a estabilização da cultura foi que houve a diferenciação nos tratamentos. A tabela 6 mostra o total de água aplicada para atender à necessidade hídrica do rabanete, desde o primeiro dia após o plantio até o fim do experimento, para os tratamentos de 100%, 80%, 60%, 40% e 20%.

Tabela 6. Total de água aplicada no experimento.

Tratamento	Água aplicada (mm)	Precipitação (mm)	Total (mm)
100%	156,10		175,40
80%	124,88		144,18
60%	93,66	19,3	112,96
40%	62,44		81,74
20%	31,22		50,52

5.3. Umidade do solo

Na figura 9 é exibido o curso diário da umidade do solo entre 0 e 0,2 m de profundidade, obtida através da sonda de capacitância Diviner 2000. Observa-se que há um comportamento de decréscimo da umidade ao se aproximar da fase final do experimento que pode ser explicado pelo fato da precipitação está concentrada na metade do ciclo no qual o solo manteve-se mais úmido, diminuindo no período sem precipitação, chegando a valores inferiores a 10% na fase final do ciclo.

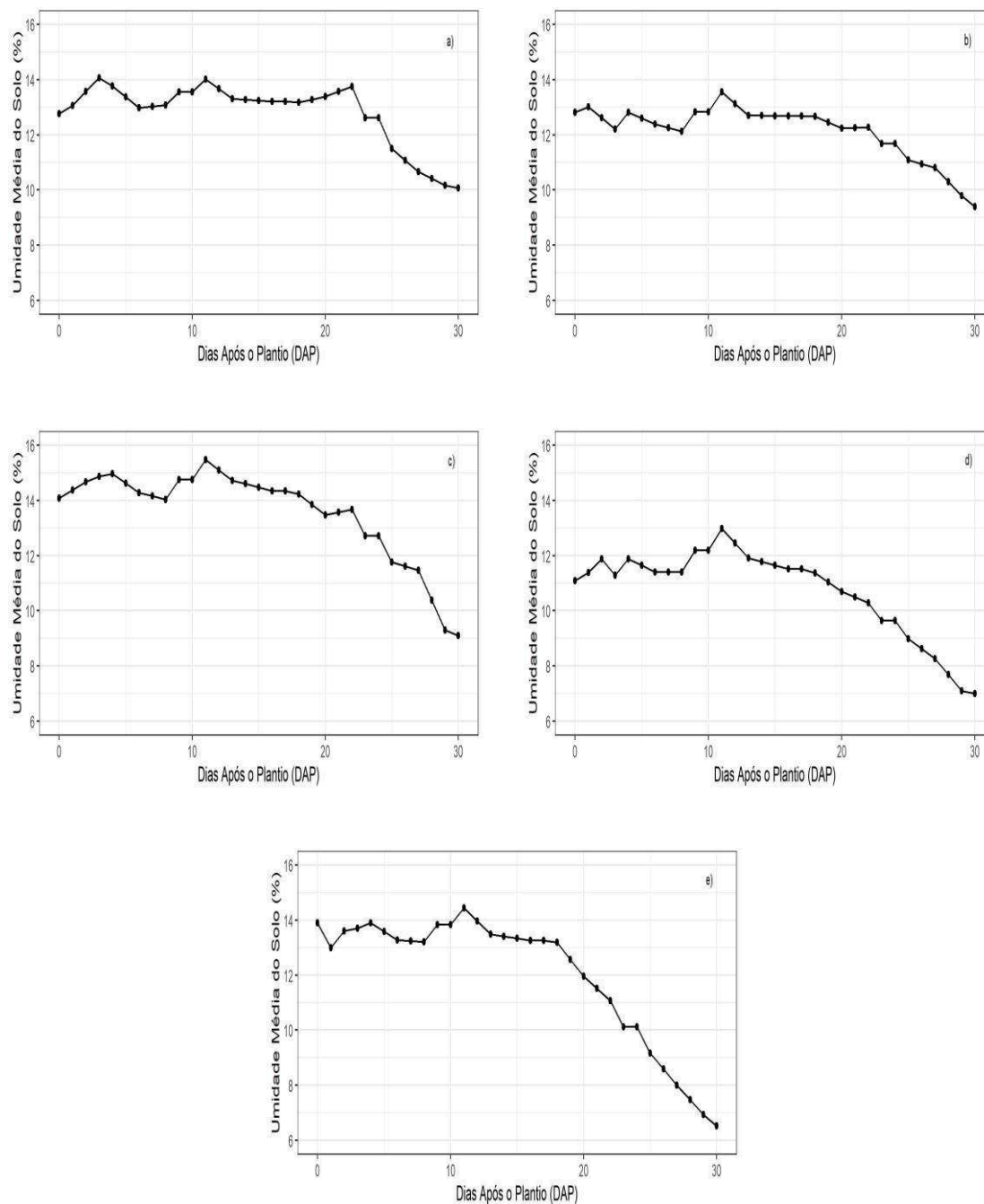


Figura 9. Umidade média do solo por tratamento: a) T1, b) T2, c) T3, d) T4 e e) T5.

5.4. Variáveis fenométricas

Na figura 10 avaliou-se os valores médios das variáveis fenométricas: a) Altura da planta (cm), b) diâmetro do bulbo (mm), c) peso verde (g) e d) peso seco (g) quando submetidos às diferentes aplicações das lâminas de água.

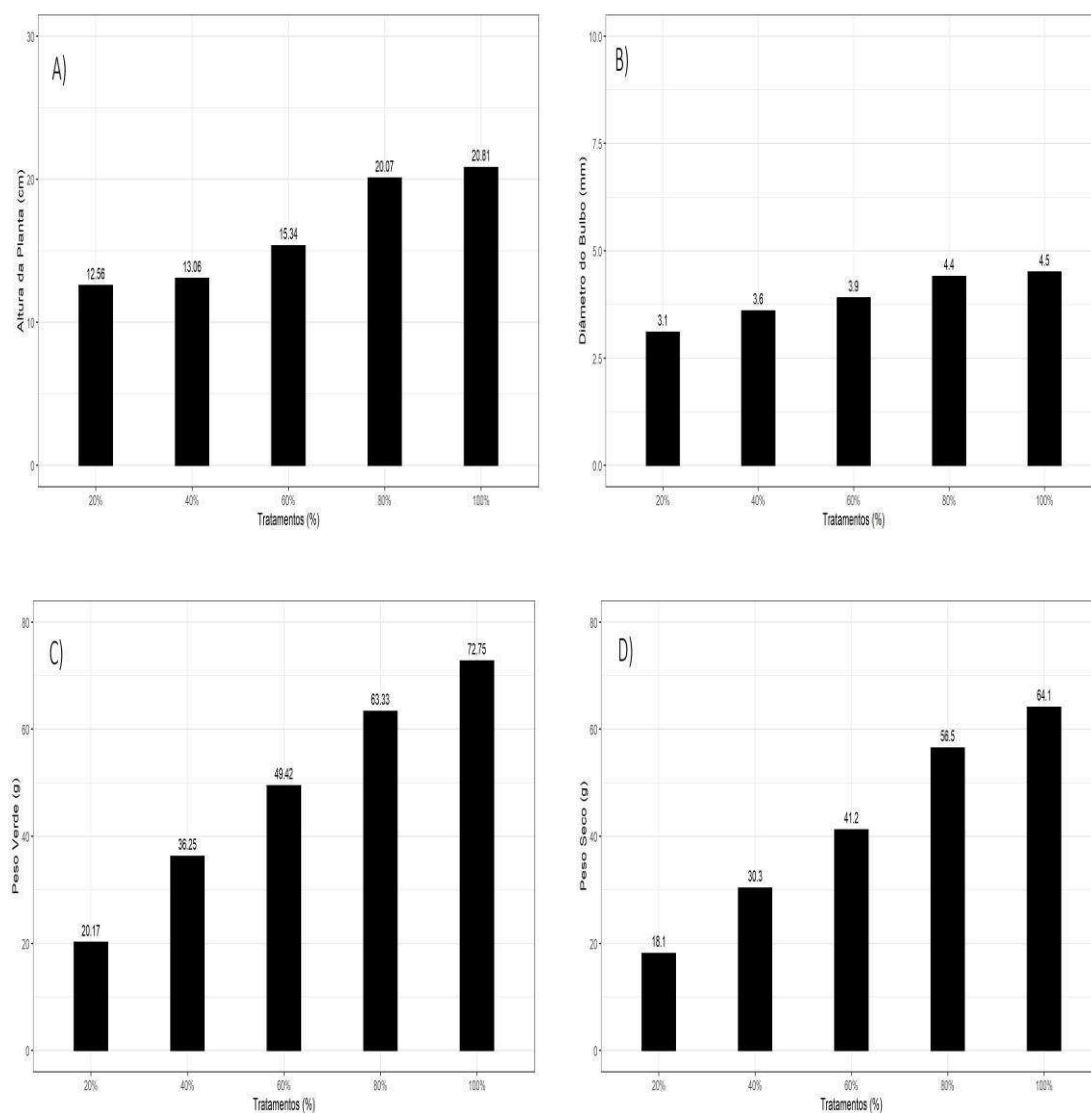
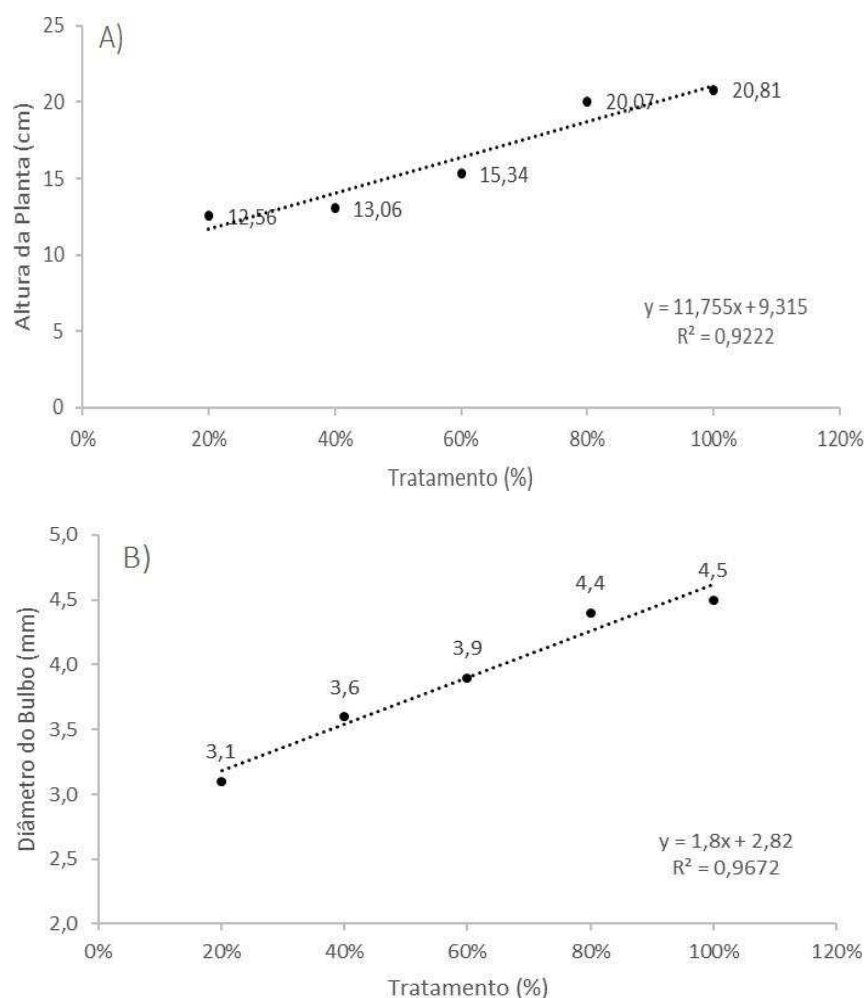


Figura 10. Médias das variáveis fenométricas: a) Altura da planta (cm), b) Diâmetro do bulbo (mm), c) Peso verde (g) e d) Peso seco (g), para os tratamentos de 100, 80, 60, 40 e 20% da reposição da necessidade hídrica da cultura.

A figura 10a evidencia que o resultado encontrado em relação à altura da planta foi maior para o tratamento de 100% com o valor de 20,81 cm e o menor valor foi para o tratamento de 20% com um valor de 12,56 cm. Ainda de acordo com a figura 10a, os tratamentos de 100 e 80% apresentaram alturas semelhantes e maiores que os demais. A

figura 10b demonstra a média do diâmetro do bulbo para todos os tratamentos, onde é possível destacar o tratamento de 100%, que apresentou o diâmetro médio de 4,5 mm, sendo este o maior, e o de 20% apresentando o diâmetro médio de 3,1 mm, o menor. As figuras 10c e 10b apresentam o peso verde e o peso seco, respectivamente, demonstrando um padrão onde os maiores valores estão no tratamento de 100% com valores de 72,75 e 64,1 g e os menores valores no tratamento de 20%, por conta do estresse hídrico, de 20,17 e 18,1 g. Os resultados corroboram com aqueles descritos por Pereira (1999), estudando o efeito dos níveis de reposição e frequência de irrigação sobre a produção e qualidade do rabanete, concluindo que as melhores produções médias das variáveis fenométricas foram obtidas quando se aplicou o maior nível de reposição da capacidade de campo, independentemente da frequência de irrigação.

As características citadas anteriormente também foram analisadas por meio da regressão linear visando obter respostas sobre possíveis relações em função do comportamento das lâminas de água, onde os ajustes são exibidos na figura 11.



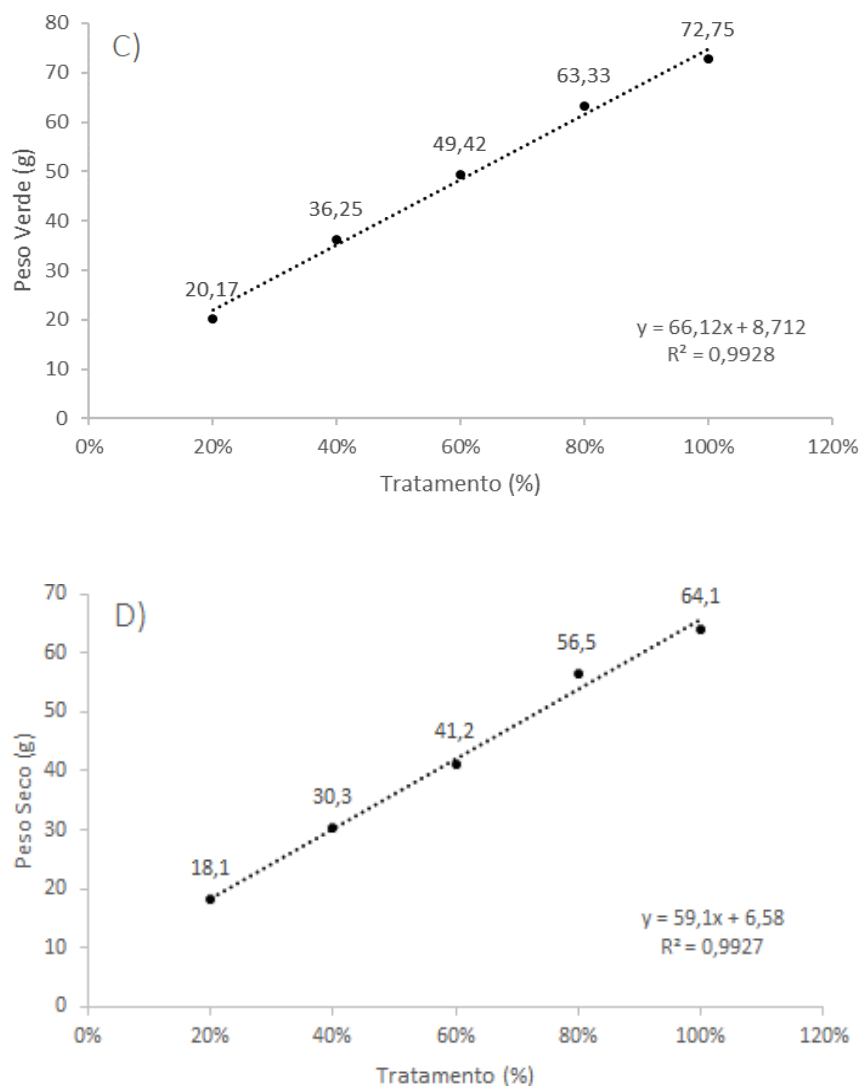


Figura 11. Equações de regressão para os valores médios das variáveis fenométricas: (a) Altura da Planta (cm), (b) Diâmetro do Bulbo (mm), (c) Peso Verde (g) e (d) Peso Seco (g) em função dos tratamentos de 100, 80, 60, 40 e 20% da necessidade hídrica.

É possível verificar nas figuras 11a, 11b, 11c e 11d que as médias das variáveis analisadas apresentaram um bom ajuste linear, mostrando uma relação positiva, ou seja, à medida que aumentaram as reposições da necessidade hídrica, também aumentaram as médias da altura da planta (cm), diâmetro do bulbo (mm), peso verde e seco (g). Resultados congruentes com aqueles desenvolvidos por Lacerda et. al. (2017) estudando as características morfológicas e produtivas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação, apontou que a lâmina de 100% é a que proporciona o maior peso e altura da planta. Santos et al. (2014) também analisando o crescimento do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação no agreste alagoano obteve a lâmina de 100% como a mais viável, pois foi a que possibilitou o maior diâmetro do bulbo.

5.5. Evapotranspiração e Coeficiente de Cultivo (Kc)

A figura 12 apresenta a evapotranspiração da cultura do rabanete obtida através do balanço hídrico no solo. Observa-se que durante o experimento a ET_c variou de 0,71 a 6,61 mm/dia, alcançando os menores valores no Estádio I, que vai da sementeira até a germinação, e os maiores valores durante o Estádio III, que compreende a fase de formação do fruto, comportamento também obtido por Matsunaga (2019), estudando o coeficiente de cultura e produtividade da cebola submetida a diferentes lâminas de irrigação. A ET_c média e a total do rabanete foi de 3,13 mm e 96,72 mm, respectivamente.

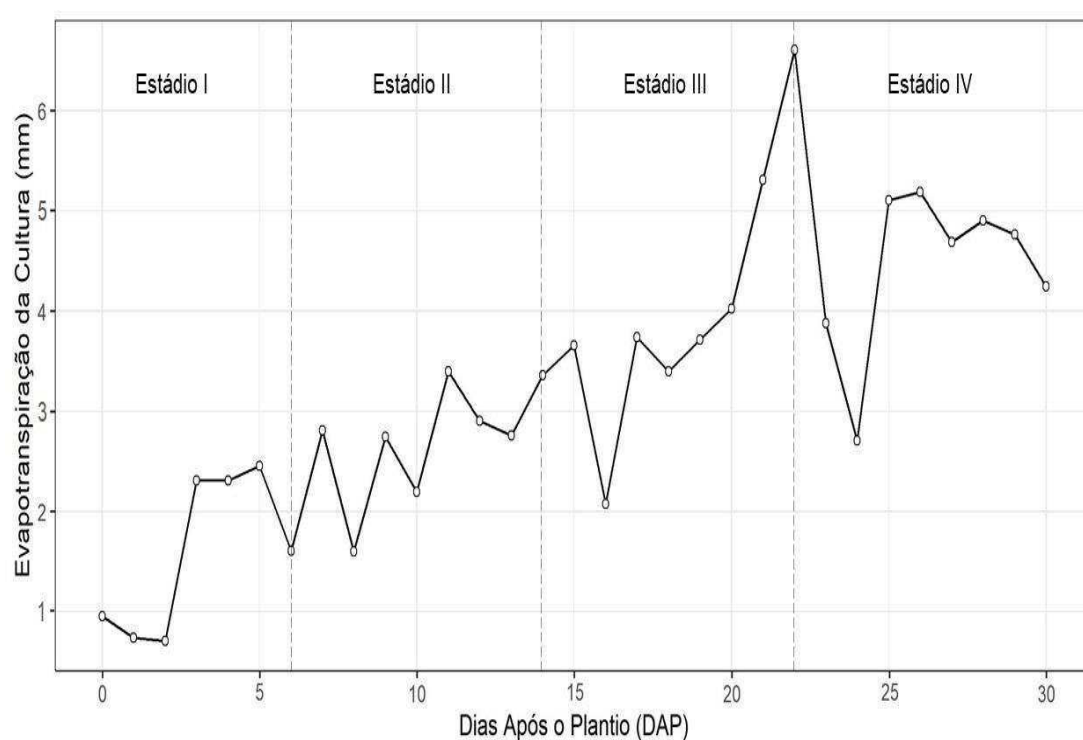


Figura 12. Evapotranspiração da cultura (ET_c) do rabanete para a região de estudo.

Geralmente, os valores de ET_c aumentam, atingem um máximo, e depois diminuem em função do ciclo da planta. Na fase inicial, compreendida pelo Estádio I, observou-se os menores valores de ET_c , por compreender a fase de germinação da planta, que por sua vez demora de 3 a 4 dias para surgirem os primeiros brotos, onde o consumo hídrico ainda é baixo, e o Estádio III apresentou os maiores valores de ET_c pois além de ser a maior fase do ciclo fenológico, ou seja, a fase que possui a maior quantidade de dias, é também a fase onde a cultura se encontra desenvolvida no período de formação dos frutos. Na tabela 7 encontram-se os valores de ET_c do rabanete para cada fase.

Tabela 7. Evapotranspiração para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Estádio	Períodos	ETc (mm)
I	Semeadura à germinação	11,10
II	Desenvolvimento	21,80
III	Formação do fruto	36,44
IV	Maturação	27,38

A tabela 8 mostra o Kc de cada fase fenológica da cultura do rabanete, determinado por Doorenbos & Kassam (1979) através da publicação da FAO-56, e os determinados nesse experimento, através do balanço hídrico.

Tabela 8. Determinação do coeficiente de cultivo para a região estudada.

Estádio	Kc (Doorenbos & Kassam, 1979)	Kc (Experimento)
I	0,3	0,29
II	0,55	0,55
III	0,8	0,82
IV	0,75	0,72

Observa-se que os valores de Kc encontrados nesse experimento aproximam-se daqueles propostos por Doorenbos & Kassam (1979), com destaque para o Estádio II, que o valor encontrado no estudo, foi exatamente igual ao de referência.

Os resultados determinados nessa pesquisa foram coerentes com os valores encontrados por Alves et al. (2017) que, na ocasião, determinou o consumo hídrico para o cálculo do coeficiente de cultura do rabanete, através da lisimetria de drenagem, definindo 0,45 para o Estádio I, 0,55 para o Estádio II, 0,95 para o Estádio III e 0,65 para o Estádio IV.

5.6. Modelagem com o AquaCrop

Para que o desempenho do modelo agrometeorológico fosse viável, fez-se necessário calibrar o modelo para as condições “ideais”, utilizando a reposição de 100% da necessidade hídrica (T1), visando encontrar uma boa representação entre valores observados em campo e aqueles estimados pelo modelo. Para o processo de validação foi testado se o modelo após calibrado, conseguiu simular adequadamente o que aconteceu com a cultura na região. Em resumo, o modelo foi calibrado através do ajuste

de dados observados nas condições “ideais” e validado através da comparação com os demais tratamentos aplicados, que foram: 80 (T2), 60 (T3), 40 (T4) e 20% (T5) da reposição da necessidade hídrica da cultura.

5.6.1. Calibração do modelo

A figura 13 compara os resultados observados no experimento de campo com os simulados pelo modelo do AquaCrop para a biomassa (B) e a produtividade (Y). Durante o processo de calibração, foram ajustados os parâmetros do modelo com aqueles determinados em condições reais de campo para o tratamento T1 (100% da ET0), através de um ajuste que proporcionasse uma maior aproximação entre os resultados medidos e os simulados.

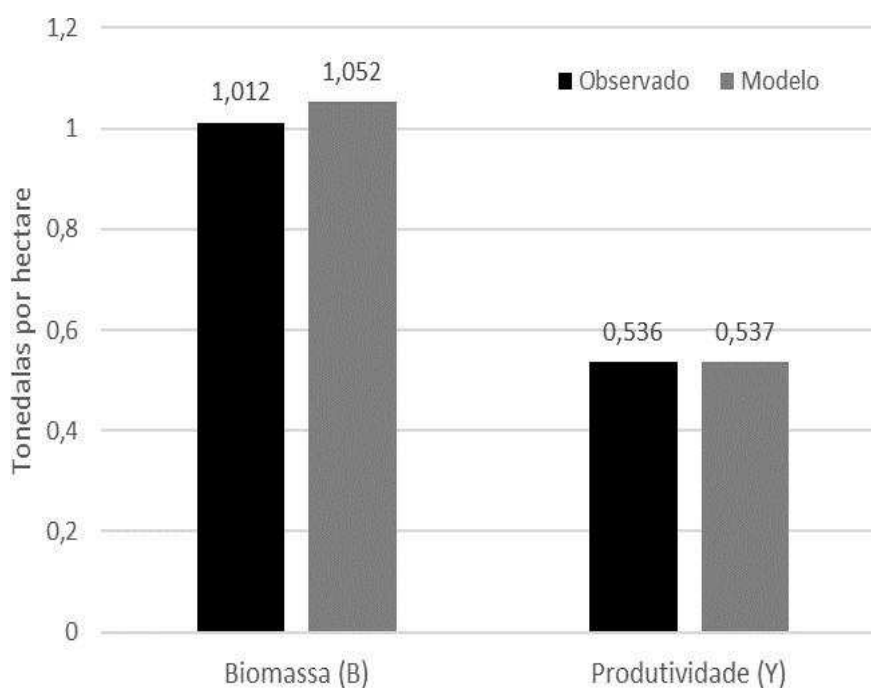


Figura 13. Valores observados e valores simulados pelo AquaCrop no processo de calibração para a cultura do rabanete durante o experimento.

Depois de ajustar os parâmetros do AquaCrop, comparou-se os resultados observados com os estimados pelo modelo, chegando a um conjunto de valores para os parâmetros conservativos e não conservativos utilizados para a calibração do modelo, apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Parâmetros conservativos e não conservativos do rabanete utilizados na parametrização do AquaCrop.

Parâmetros conservativos	Todos os tratamentos
Temperatura mínima basal (°C)	15
Temperatura máxima basal (°C)	30
Densidade de plantas (planta ha ⁻¹)	20 000
Cobertura do solo pelo dossel com 90% de emergência (cm ² planta ⁻¹)	5,0
Produtividade de água da cultura normalizada para ET ₀ e CO ₂ (g m ⁻²)	17
Não conservativos	T1 (100% ET ₀)
Tempo da semeadura até a emergência (dia)	5
Tempo da semeadura até a senescência (dia)	27
Tempo da semeadura até a maturação (dia)	29
Cobertura máxima do dossel (%)	30
Profundidade efetiva máxima das raízes (m)	0,30
Índice de colheita de referência (%)	51

5.6.2. Validação do modelo

A validação do AquaCrop foi possível através da comparação entre os valores observados em condições de campo com os simulados pelo modelo para a cultura do rabanete, comparando os resultados encontrados para os tratamentos de 80, 60, 40 e 20% de reposição da necessidade hídrica, com os valores simulados para as mesmas reposições. Foram comparadas a biomassa total (ton/ha) e produtividade da cultura (ton/ha), conforme a tabela 10.

Tabela 10. Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop para os tratamentos de 80, 60, 40 e 20% de reposição da necessidade hídrica da cultura.

Tratamentos	Biomassa (ton ha ⁻¹)			Produtividade (ton ha ⁻¹)		
	Observado	Modelo	Diferença (%)	Observado	Modelo	Diferença (%)
T2	0,885	0,871	1,607	0,457	0,461	-0,868
T3	0,727	0,730	-0,411	0,410	0,414	-0,966
T4	0,664	0,649	2,311	0,410	0,403	1,737

T5	0,317	0,309	2,589	0,173	0,184	-5,978
----	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Os resultados apresentados indicam a grande capacidade do modelo em simular condições de campo, porém a medida que os tratamentos recebem menos água a diferença entre os valores observados e estimados aumentam, indicando que a disponibilidade de água influencia no desempenho do modelo. O tratamento T5 apresentou a maior discordância entre os tratamentos, subestimando o valor da biomassa com 2,589% e superestimando o valor da produtividade com 5,978%, mas que de forma geral, foi considerado um bom ajuste e validação para a cultura do rabanete. Para comprovar a acurácia do modelo AquaCrop, a tabela 11 exibe as estatísticas necessárias para avaliar o desempenho.

Tabela 11. Estatísticas utilizadas na validação do modelo AquaCrop para biomassa total (ton/ha) e produtividade (ton/ha) do rabanete.

Estatísticas	Biomassa (B)	Produtividade (Y)
RMSE	0,0204	0,0063
NRMSE (%)	2,8383	1,6041
EF	0,9924	0,9972
D	0,9861	0,9813

De acordo com os índices estatísticos, a biomassa e a produtividade obtiveram um bom ajuste, comprovando a eficácia do modelo AquaCrop em estimar o rendimento do rabanete cultivado em regiões semiáridas. A raiz do erro quadrado médio (RMSE) foi de 0,0204 para a biomassa e 0,0063 para a produtividade. Já a raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE) foi 2,83% para a biomassa e 1,60% para a produtividade, indicando uma excelente simulação pois são valores abaixo de 10%.

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (EF) apresentou valores de 0,9924 para a biomassa e 0,9972 para a produtividade, o que é considerado um ótimo ajuste. Por fim, o Índice de Willmont (D), com valores próximos de 1, que caracteriza um desempenho excelente, o valor estimado para a biomassa e produtividade foram de 0,9861 e 0,9813, respectivamente.

Como mencionado anteriormente, as estatísticas aqui demonstradas avaliaram a aplicabilidade do modelo AquaCrop como uma ótima ferramenta no auxílio da previsão agrometeorológica, buscando o equilíbrio entre a produtividade e a demanda hídrica.

6. CONCLUSÕES

- i. A lâmina de irrigação recomendada para se obter a maior produtividade para a cultura do rabanete “Crimson Gigante” foi a de 100% da ET₀. Porém, a lâmina de 80% da ET₀ mostrou resultados próximos da recomendada, confirmando que a irrigação pode ser programada tanto com o uso de 100% e de 80% da ET₀.
- ii. Os valores obtidos do K_c para a cultura do rabanete foram 0,29, 0,55, 0,82 e 0,72 para os estádios semeadura à germinação, desenvolvimento, formação do fruto e maturação, respectivamente.
- iii. A evapotranspiração média e total da cultura do rabanete cultivada em condições semiáridas foi de 3,13 e 96,72 mm, respectivamente.
- iv. A validação do modelo AquaCrop mostrou excelentes resultados, sob o ponto de vista estatístico, para a biomassa e para a produtividade, confirmando a capacidade do modelo realizar boas estimativas em situações de déficit hídrico.

7. REFERÊNCIAS

- ABCSEM (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS). Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças: ano calendário 2009. Campinas, 2010. 5p. Disponível em: http://www.abcsem.com.br/docs/pesquisa_mercado_2009.pdf. Acesso em: 15 maio 2019.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; Smith. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Chapter 6, single crop coefficient (Kc). Rome: FAO, 1998.
- ALVES, É. S.; LIMA, D. F.; BARRETO, J. A. S.; SANTOS, D. P.; SANTOS, M. A. L. Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. Irriga (UNESP. CD-ROM), v. 12, p. 194-203, 2017.
- ALENCAR, L. P. D. Parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar. 117f. Tese (Doutorado em Eng. Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.
- ANDRIOLLO, J. L. Fisiologia das culturas protegidas. Santa Maria: ed. da UFSM. 1999. 142p.
- AZEVEDO, L. P. Uso de dois espaçamentos entre gotejadores na mesma linha lateral e seus efeitos sobre a formação do bulbo molhado, produtividade e qualidade de rabanete (*Raphanus sativus L.*). 65 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- BASSO, B.; CAMMARANO, D.; CARFAGNA, E. Review of crop yield forecasting methods and early warning systems. In: Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics, FAO Headquarters, Rome, Italy, p. 18–19, 2013.
- CAMARGO, G. A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I. C. S.; MIELI, J.; SASSAKI, E. K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v.1, p.181-195, 2007.
- CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 19, n 3, p. 328-331, 2001.
- CARVALHO, D. F de; OLIVEIRA, L. F. C de. Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. Viçosa, MG: UFRV. 68p. 2012.

- CECÍLIO FILHO, A. B.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; SOUZA, R. J. Deficiência nutricional e seu efeito na produção de rabanete. Científica. v. 26, p. 231-241, 1998.
- CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm. 1997. 14p
- CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.
- COELHO, E. F.; FILHO, M. A. C.; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. Bahia Agrícola, v. 7, n. 1, p. 58, 2005.
- CORRÊA, T. R. C.; LORENÇONI, R.; DOURADO NETO, D.; SACARPARE, F. V.; VIVIAN, R.; RUIZ, E. T. Aplicações e limitações da modelagem na agricultura – revisão. Revista de Agricultura, 86, p. 1-13, 2011.
- CORTEZ, J. W. M. Esterco de bovino e nitrogênio na cultura de rabanete. 62f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.
- COUTINHO NETO, A. M.; ORIOLI JÚNIOR, V.; CARDOSO, S. S.; COUTINHO, E. L. M. Produção de matéria seca e estado nutricional do rabanete em função da adubação nitrogenada e potássica. Nucleus, v.7, n.2, p.105-114, 2010.
- DILLON, A. Do differences in the scale of irrigation projects generate different impacts on poverty and production? Journal of Agricultural Economics, v. 62, n. 2, p. 474-492, 2011.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO, Irrigation and drainage paper, v. 24, p. 179, 1977.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. FAO, Irrigation and drainage paper, v. 33, p. 257, 1979.
- FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de Referência para Manejo da Irrigação em Cultura de Soja, Irriga, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2003.
- FIGUEIREDO, M. G. de; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v. 30, p. 81-87, 2008.
- FILGUEIRA, F. A. R. Manual de Olericultura. São Paulo: Ceres, v.2, 1982.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2 ed. rev. ampl. Viçosa: UFV, 2003.

- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV, 2008. 421p.
- FOSTER, T.; BROZOVIĆ, N.; BUTLER, A. P.; NEALE, C. M. U.; RAES, D.; STEDUTO, P.; FERERES, E.; HSIAO, T. C. AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. *Agricultural Water Management*, v. 181, p. 18-22, 2017.
- HAMID, M. N.; ABDULLAH, M. Y. Contribution of mathematical model for the development of sustainable agriculture. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*, Selangor, v. 2, n. 2, p. 83-91, 2008.
- HSIAO, T. C.; HENG, L. K.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E.; AquaCrop – The FAO Crop model to simulate yield response to water: III. Parametrization and testing for maize. *Agronomy Journal*, v. 101, ed. 3, p. 448-459, 2009.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Censo agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6619#resultado>>. Acesso em: 14 mai 2019.
- ITTEKUM, M. K. van; LEFFELAAR, P. A.; KEULEN, H. van; KROPFF, M. J.; BASTIAANS, L.; GOUDRIAAN, J. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy* 18, p. 201-234, 2003.
- ITO, H.; HORIE, H. A. A Chromatographic Method for Separating and Identifying Intact -Methylthio-3- Butenyl Glucosinolate in Japanese Radish (*Raphanus sativus L.*). *Japan Agricultural Research Quarterly*, v. 42, n.2, p. 109-114, 2008.
- JÚNIOR, C. A. C. Desempenho do modelo AquaCrop/FAO para cultivo do milho em Alagoas. 93f. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.
- KRAMER, P.J. Plant and soil water relationship: a modern synthesis. New York: McGraw Hill, 1969. 482p.
- LACERDA, V. R.; GONÇALVES, B. G.; OLIVEIRA, F. G.; SOUSA, Y. B. de; CASTRO, I. L. de; Características morfológicas e produtivas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação. *revista brasileira de agricultura irrigada*, v. 11, p. 1127-1134, 2017.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP), v. 1, p. 497, 1995.

- LITTELL, J.; MCKENZIE, D.; KERNS, B. K.; CUSHMAN, S.; SHAW, C. G. Managing uncertainty in climate-driven ecological models to inform adaptation to climate change. *Ecosphere*. v. 360, p.1–19. 2011.
- LOPES, O. D. Desenvolvimento e determinação de coeficiente de cultura (KC) e de eficiência do uso da água do Alecrim-pimenta (*Lippia sidoides Chem.*) na região de Montes Claros, MG. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Montes Claros, Monte Claros, 2010.
- MAIA, P. M. E. de; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, M. O. P. da; SILVA, R. C. P. da; OLIVEIRA, F. de A. de. Desenvolvimento e qualidade do rabanete sob diferentes fontes de potássio. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.6, n.1, p.148 - 153, 2011.
- MAROUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA, R. F. Eficiência do uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 369-375, 2010.
- MATSUNAGA, W. K. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no semiárido nordestino. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019.
- MELLO, A. & CAIMI, L. L. Simulação na validação de sistemas computacionais para agricultura de precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 666-675, 2008.
- MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J. Cultura do rabanete. Piracicaba: ESALQ, 1994. 32p.
- MINAMI, K.; CARDOSO, A. I.; COSTA, F.; DUARTE, F. R. Efeito do espaçamento sobre a produção em rabanete. *Bragantia*, Campinas, v. 57, p. 169-173, 1998.
- MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. Série Engenharia Agrícola Irrigação. Piracicaba: Ed. FUNEP, 2001. 410p.
- MONTEITH, J. L.; The quest for balance in crop modeling. *Agronomy Journal*, v. 88, p. 695-697, 1996.
- MORELL, F. J.; YANG, H. S.; CASSMAN, K. G.; WART, J. V.; ELMORE, R. W.; LICHT, M.; COULTER, J. A.; CIAMPITTI, I. A.; PITTELKOW, C. M.; BROUDER, S. M.; THOMISON, P.; LAUER, J.; GRAHAM, C.; MASSEY, R.; GRASSINI, P. Can

crop simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the U.S. Corn Belt? *Field Crops Research*, v. 192, p. 1-12, 2016.

OLIVEIRA, J. C. M. de. Campina Grande: A cidade se consolida no século XX. 41f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2007.

PEREIRA, A. J.; BLANK, A. F.; SOUZA, R. J.; OLIVEIRA, P. M.; LIMA, L. A. Efeitos de níveis de reposição e frequências de irrigação sobre a produção e qualidade do rabanete. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, p. 117-120, 1999.

PIEKARSKI, K. R. Produtividades de soja e milho estimadas com o modelo AquaCrop na região dos campos gerais. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. & FERERES, E.; AquaCrop – The FAO Crop model to simulate yield response to water: chapter 2. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, v. 101, ed. 3, p. 438-447, 2009.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. & FERERES, E. AquaCrop 4.0 – The FAO crop model to simulate yield response to water: chapter 3. Roma, FAO, 2012. 125p.

SALES, R. A.; LOUZADA, J. M.; OLIVEIRA, E. C.; PINHEIRO, M. A. B.; SALLES, R. A. Estimativa das necessidades hídricas do milho cultivado nas condições edafoclimáticas de São Matheus – ES. *Enciclopédia Biosfera*, v. 13, n. 23, p. 598-609, 2016.

SANTOS, J. C. C., DA SILVA, C. H., DOS SANTOS, C. S., SILVA, C. D. S., MELO, E. B., & BARROS, A. C. Análise de crescimento e evapotranspiração da cultura do rabanete submetido a diferentes lâminas de água. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9 n. 1, 151-156; 2014.

SEDYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relações clima-água-planta. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27. Poços de Caldas. Simpósio... Poços de Caldas: UFLA/SBEA, p.46 – 85, 1998.

SENTELHAS, P. C.; FARIA, R. T.; CHAVES, M. O. & HOOGENBOOM, G. Avaliação dos geradores de dados meteorológicos WGEN e SIMMETEO, nas condições tropicais e subtropicais brasileiras, usando modelos de simulação de culturas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, p. 357-376, 2001.

- SILVA, R. T. da.; SOUZA, A. A. T.; OLIVEIRA, F. de A. de.; TARGINO, I. S. de O.; SILVA, M. L. do N. Tolerância do rabanete ao encharcamento do solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.1, p.25-33, 2012.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, v. 101, p. 426-437, 2009.
- STEINER, F.; PINTO JUNIOR, A. S.; ZOZ, T.; GUIMARÃES, V. F.; DRANSKI, J. A. L.; RHEINHEIMER, A. R. Germinação de sementes de rabanete sob temperaturas adversas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.4, p.430-434, 2009.
- TOJO-SOLER, C.; FOLEGATTI, M. V. & FARIA, R. T. Uso do modelo CERES-Maize para identificação de características genéticas desejáveis e de práticas adequadas de manejo em milho “safrinha” e determinação de práticas adequadas de manejo em condições de risco climático. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, p. 339-346, 2001.
- VANUYTRECHT, E.; RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; HENG, L. K.; VILA, M. G.; MORENO, P. M. AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environmental Modelling & Software*, v. 62, p. 351-360, 2014.
- WHISLER, F. D.; ACOCK, B.; BAKER, D. N.; FYE, R. E.; HODGES, H. F.; LAMBERT, J. R.; LEMMON, H. E.; MCKINION, J. M. & REDDY, V. R. Crop simulation models in agronomic systems. *Advanced Agronomy*, v. 40, p. 141-208, 1986.