



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DIOGO SALES FRAZÃO

EFEITO DO HIDROGEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES COM *MULCHING*
COMO COBERTURA DO SOLO E INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO
NO CULTIVO DO PEPINEIRO IRRIGADO

FORTALEZA

2024

DIOGO SALES FRAZÃO

EFEITO DO HIDROGEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES COM MULCHING
COMO COBERTURA DO SOLO E INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO
CULTIVO DO PEPINEIRO IRRIGADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F927e Frazão, Diogo Sales.
Efeito do hidrogel em diferentes profundidades com mulching como cobertura do solo e influência de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado / Diogo Sales Frazão. – 2024.
51 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós graduação em Engenharia Agrícola, Mestrado em Irrigação e Drenagem, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.

1. Cucumis sativus L. 2. Polímero. 3. Umidade. I. Título.

CDD 320.6

DIOGO SALES FRAZÃO

EFEITO DO HIDROGEL EM DIFERENTES PROFUNDIDADES COM *MULCHING*
COMO COBERTURA DO SOLO E INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO
CULTIVO DO PEPINEIRO IRRIGADO

Dissertação submetida à Coordenação do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do Ceará,
como requisito para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Agrícola.
Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mario de Oliveira Rebouças Neto

Dr. Abelardo Lopes Amaral Neto

Dr. Alfredo Mendonça de Sousa

Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, minha casa nesses dois anos, onde adquiri conhecimentos importantes para essa pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Benito, pela orientação, apoio, incentivo, conselhos, que certamente contribuíram de forma significativa para o meu crescimento como pessoa e profissional.

A todos da Estação Agrometeorológica da UFC, em especial ao Prof. Dr. Thales, vigilantes, aos bolsistas de graduação e aos funcionários como o Weverton ajudando na coleta de dados como também no manejo da área experimental.

A todos os meus amigos de graduação, pós-graduação e colegas que fazem parte da equipe de trabalho, muito obrigado pelos momentos de alegria, descontração, amizade e companheirismo. Em especial aos amigos: Magaly, Gleyciane e Juvenaldo, pela valorosa contribuição para com o trabalho, desde a instalação em campo até a coleta dos dados.

RESUMO

O cultivo de hortaliças desempenha um papel fundamental na segurança alimentar e na economia global. Dentre essas hortaliças, o pepino (*Cucumis sativus* L.) se destaca como uma cultura versátil e amplamente consumida em todo o mundo. Na agricultura moderna, a busca por métodos inovadores para aprimorar a produtividade e garantir o uso eficiente dos recursos naturais é constante. Técnicas como a aplicação de hidrogel, *mulching* e lâminas de irrigação têm ganhado destaque como estratégias promissoras para tornar o cultivo de culturas mais eficiente, promovendo melhores resultados em termos de manejo hídrico e nutricional, o que pode resultar em maior rendimento e sustentabilidade no cultivo dessas culturas. Portanto foram objetivados avaliar os efeitos do uso de hidrogel em diferentes profundidades no solo associado ao *mulching* e de diferentes lâminas de irrigação no desenvolvimento e produtividade do pepineiro irrigado. Os experimentos foram conduzido no período de 01/08/2023 a 18/10/23 na área experimental da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Brasil. O solo das áreas são classificados como franco argiloso arenoso. Para a condução do estudo utilizou-se o pepino híbrido HS-1020 Chile. O sistema de irrigação utilizado nos experimentos foi do tipo localizado por gotejamento. A área em cada experimento foi de 107,52 m². O primeiro experimento consistiu em avaliar o efeito do hidrogel em diferentes profundidades associado ao *mulching* como cobertura do solo. Os tratamentos foram: sem hidrogel (SEMH); hidrogel a 15cm de profundidade (H15); hidrogel a 30cm de profundidade (H30); hidrogel a 15cm de profundidade e *mulching* (H15+M) e hidrogel a 30cm de profundidade e *mulching* (H30+M). O segundo experimento consistiu na aplicação de lâminas de irrigação com base na ET_c de Penman-Monteith (ET_{CPM}) parametrizada pela FAO, correspondendo aos tratamentos: Li₃₀ – 30% ET_{CPM}; Li₆₀ – 60% ET_{CPM}; Li₉₀ – 90% ET_{CPM}; Li₁₂₀ – 120% ET_{CPM} e Li₁₅₀ – 150% ET_{OPM}. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, composto de cinco tratamentos e cinco blocos. Houve a condução de um ciclo do pepineiro irrigado onde foram realizadas duas colheitas: a primeira ocorreu 15 dias após o surgimento do primeiro fruto, e a segunda, 15 dias depois da primeira colheita. Os tratamentos no primeiro experimento apresentaram efeito significativo para as variáveis: número de frutos (NF), eficiência no uso da água (EUA) e produtividade (Prod). Os tratamentos apresentaram maior produtividade estatisticamente foram H30 e H30+M. As lâminas de irrigação testadas apresentaram efeito significativo para as variáveis: espessura da polpa (EP), número de frutos (NF), eficiência no uso da água (EUA) e produtividade (Prod), ajustando-se ao modelo polinomial do segundo grau. A lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do pepino foi estimada em 108%

da ET_{CPM} , para as condições climáticas do cultivo realizado em 2023.

Palavras-chave: *Cucumis sativus L*; polímero; umidade.

ABSTRACT

Vegetable cultivation plays a fundamental role in food security and the global economy. Among these vegetables, cucumber (*Cucumis sativus* L.) stands out as a versatile crop widely consumed worldwide. In modern agriculture, the search for innovative methods to enhance productivity and ensure efficient use of natural resources is constant. Techniques such as hydrogel application, mulching, and irrigation levels have gained prominence as promising strategies for making crop cultivation more efficient, promoting better results in water and nutrient management, which can lead to higher yields and sustainability in crop production. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of using hydrogel at different soil depths, combined with mulching and different irrigation levels, on the development and productivity of irrigated cucumber. The experiments were conducted from August 1, 2023, to October 18, 2023, in the experimental area of the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará, Brazil. The soil in the experimental areas is classified as sandy clay loam. The study was conducted using the hybrid cucumber HS-1020 Chile. The irrigation system used in the experiments was a localized drip system. The area of each experiment was 107.52 m². The first experiment aimed to evaluate the effect of hydrogel at different depths, combined with mulching as soil cover. The treatments were: no hydrogel (SEMH); hydrogel at 15 cm depth (H15); hydrogel at 30 cm depth (H30); hydrogel at 15 cm depth and mulching (H15+M); and hydrogel at 30 cm depth and mulching (H30+M). The second experiment consisted of applying irrigation levels based on the Penman-Monteith ET_c (ET_{CPM}) parameterized by FAO, corresponding to the treatments: Li30 – 30% ET_{CPM}; Li60 – 60% ET_{CPM}; Li90 – 90% ET_{CPM}; Li120 – 120% ET_{CPM}; and Li150 – 150% ET_{CPM}. The experimental design used was a randomized block design, consisting of five treatments and five blocks. One cycle of irrigated cucumber was conducted, with two harvests: the first occurred 15 days after the first fruit appeared, and the second 15 days after the first harvest. The treatments in the first experiment had a significant effect on the variables: number of fruits (NF), water use efficiency (EUA), and productivity (Prod). The treatments that showed statistically higher productivity were H30 and H30+M. The irrigation levels tested had a significant effect on the variables: pulp thickness (EP), number of fruits (NF), water use efficiency (EUA), and productivity (Prod), adjusting to a second-degree polynomial model. The irrigation level that maximized cucumber productivity was estimated at 108% of ET_{CPM}, for the climatic conditions of the 2023 crop.

Keywords: *Cucumis sativus* L.; polimer; moisture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Vista aérea da área experimental pertencente a Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2024	26
Figura 2	– Pepino híbrido Hs 1020 chile cultivado no experimento	27
Figura 3	– A – Preparação das bandejas; B – bandejas com quatro dias de semente; C – bandejas com sete dias da semente; D – transplante com 10 dias da semente	28
Figura 4	– Layout do sistema de irrigação instalado na área experimental para condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	32
Figura 5	– A – Abertura das covas; B – medição da profundidade; C – aplicação do hidrogel; D – instalação do mulching	33
Figura 6	– Layout de um bloco do experimento hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo no pepineiro irrigado, detalhando os tratamentos distribuídos nas parcelas, as bordaduras e as plantas úteis, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	35
Figura 7	– Layout de um bloco do experimento com lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, detalhando os tratamentos distribuídos nas parcelas, as bordaduras e as plantas úteis, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	36
Figura 8	– Pepinos da primeira colheita aos 64 dias após a semente submetidos à avaliação, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média anual do preço da caixa 25kg de pepino no Ceará entre os anos de 2013 e 2022	20
Gráfico 2 – Média anual do preço da tonelada de pepino no Ceará entre os anos de 2013 e 2022	20
Gráfico 3 – Normal Climatológica de Fortaleza entre 1990 - 2020	22
Gráfico 4 – Número de frutos por planta (NF) em função do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo na cultura do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	39
Gráfico 5 – Eficiência no uso da água (EUA) em função do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo na cultura do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	41
Gráfico 6 – Produtividade (Prod) em função do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo na cultura do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	42
Gráfico 7 – Espessura da polpa (EP) em função de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	44
Gráfico 8 – Número de frutos por planta (NF) em função de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	45
Gráfico 9 – Eficiência no uso da água (EUA) em função de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	46
Gráfico 10 – Produtividade (Prod) em função de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Recomendação de adubação para pepino em função da fertilidade do solo .	22
Tabela 2	– Dados mensais das variáveis climáticas durante a condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	25
Tabela 3	– Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	26
Tabela 4	– Análise física do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	26
Tabela 5	– Coeficiente de cultura (K_c) em diferentes estágios de desenvolvimento do pepino, em função da umidade relativa e velocidade do vento	31
Tabela 6	– Percentuais da ET_{CPM} e lâminas de água aplicadas em cada tratamento do experimento com a cultura do pepineiro, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	34
Tabela 7	– Análise de variância das variáveis: comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); espessura da polpa (EP); número de frutos (NF); peso médio dos frutos (PMF); eficiência do uso da água (EUA) e produtividade (Prod) do pepineiro irrigado, submetido a aplicação de hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de <i>mulching</i> como cobertura do solo, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	38
Tabela 8	– Análise de variância das variáveis: comprimento do fruto (CF); diâmetro do fruto (DF); espessura da polpa (EP); número de frutos (NF); peso médio dos frutos (PMF); eficiência do uso da água (EUA) e produtividade (Prod.) do pepineiro irrigado, submetido a diferentes lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CF	Comprimento do fruto
DF	Diâmetro do fruto
EP	Espessura da polpa
NF	Número de frutos
PMF	Peso médio dos frutos
EUA	Eficiência do uso da água
Prod	Produtividade
Etc	Evapotranspiração da cultura
Eto	Evapotranspiração de referência
Etc _{PM}	Evapotranspiração da cultura pelo método de Penman Monteith
Kc	Coeficiente da cultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
H15	Hidrogel a 15cm de profundidade
H15+M	Hidrogel a 15cm de profundidade com mulching
H30	Hidrogel a 30cm de profundidade
H30+M	Hidrogel a 30cm de profundidade com mulching
SEMH	Sem hidrogel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	<i>Objetivo geral</i>	15
2.2	<i>Objetivos específico</i>	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	<i>A cultura do pepino</i>	15
3.2	<i>Parorama da produção e comercialização do pepino no estado do Ceará</i>	16
3.3	<i>Requerimento hídrico da cultura do pepino</i>	15
3.4	<i>Requerimento nutricional da cultura do pepino</i>	15
3.5	<i>Efeito do hidrogel em culturas agrícolas</i>	16
3.6	<i>Efeito do mulching em culturas agrícolas</i>	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1	<i>Localização e características da área experimental</i>	15
4.2	<i>Preparo do solo e condução da cultura do pepino</i>	16
4.3	<i>Tutoramento e Colheita</i>	15
4.4	<i>Sistema de irrigação</i>	15
4.5	<i>Manejo de irrigação</i>	16
4.6	<i>Hidrogel e mulching escolhidos</i>	15
4.7	<i>Experimento I: Efeito do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo no pepineiro irrigado</i>	15
4.8	<i>Experimento II: Influência de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado</i>	16
4.9	<i>Variáveis analisadas</i>	15
4.10	<i>Análises estatísticas</i>	15
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1	<i>Experimento I: Efeito do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo no pepineiro irrigado</i>	15
5.2	<i>Experimento II: Influência de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado</i>	16
6	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de culturas como hortaliças desempenha um papel fundamental na segurança alimentar e na economia global, fornecendo nutrientes essenciais e contribuindo para o sustento de comunidades agrícolas (SILVA *et al.*, 2014). Entre essas hortaliças, o pepino (*Cucumis sativus* L.) se destaca como uma cultura versátil, sendo amplamente consumida em todo o mundo (VIGGIANO *et al.*, 1994).

Na agricultura moderna, a busca por métodos inovadores para aprimorar a produtividade das culturas e garantir o uso eficiente dos recursos naturais é constante (SILVA; MANN, 2020). Nesse contexto, técnicas como o uso de manejo de lâminas de irrigação, como também de hidrogel e *mulching* têm ganhado destaque como estratégias promissoras para otimizar o manejo hídrico e nutricional das plantas. O *mulching*, uma prática ancestral que envolve a cobertura do solo com materiais orgânicos ou sintéticos, e o uso de hidrogel, que oferece uma solução baseada na ciência dos materiais, têm sido objeto de estudos e experimentações que visam entender seus efeitos sobre o crescimento vegetal e a produtividade das colheitas (PIÑEIRO *et al.*, 2013).

A adoção adequada de técnicas de manejo do solo pode influenciar significativamente diversos aspectos da produção agrícola, desde o uso eficiente da água até a melhoria da absorção de nutrientes pelas plantas (PAZ *et al.*, 2000). O *mulching*, por exemplo, pode auxiliar na redução da evaporação da água do solo, diminuindo a necessidade de irrigação e ajudando a manter uma umidade equilibrada. Além disso, o *mulching* pode influenciar a temperatura do solo, a supressão de ervas daninhas e a prevenção da erosão, resultando em benefícios para o desenvolvimento das culturas e preservação do solo (NAMAGHI *et al.*, 2018).

Igualmente como *mulching*, o uso de hidrogel na agricultura é relativamente recente, e tem despertado interesse devido à sua capacidade de reter água e nutrientes no solo, liberando-os gradualmente para as plantas conforme a demanda. Esses materiais absorventes são projetados para melhorar a capacidade de retenção de água do solo, especialmente em condições de seca ou em locais com acesso limitado à água de irrigação (OLADOSU *et al.*, 2022). Ao aumentar a eficiência do uso da água, o hidrogel pode contribuir para o crescimento radicular e o desenvolvimento saudável das plantas, tornando-se uma ferramenta valiosa em regiões propensas à escassez hídrica.

O interesse pelo desenvolvimento de hidrogel para aplicações ambientais tem aumentado nos últimos anos por ser uma substância extremamente versátil, com uma ampla

gama de aplicações, que pode expandir e contrair em resposta a mudanças de temperatura, pressão e níveis de pH (REIS, 2007). Além disso, o hidrogel é capaz de absorver e reter moléculas de água e nutrientes, permitindo uma liberação gradual desses componentes, tornando-os disponíveis para as raízes das plantas. Com essas características, o hidrogel tornou-se uma tecnologia promissora para melhorar a eficiência no uso da água e aumentar a produtividade das culturas. (FLANNERY; BUSSCHER, 1982).

No mundo, o hidrogel tem proporcionado aos agricultores uma forma mais sustentável e eficiente de cultivar, levando, em última análise, a uma colheita mais produtiva e rentável ao melhorar a qualidade do solo e o crescimento das plantas, ao mesmo tempo que podendo reduzir a necessidade de fertilizantes (BORTOLIN *et al.*, 2012). No entanto, os fabricantes recomendam que o hidrogel seja aplicado na cova no momento da aplicação, embora não especifique com clareza a profundidade exata dessa cova para uma aplicação adequada. Entretanto, estudos indicam que aproximadamente 85% do comprimento das raízes do pepino se concentra nos primeiros 30 cm do solo (JANOUDI; WIDDERS, 1993), sugerindo que a aplicação do hidrogel nessa camada poderia ser a mais eficiente para promover um melhor desenvolvimento radicular.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos do uso de hidrogel em diferentes profundidades no solo associado ao *mulching* como condicionador de solo e de diferentes lâminas de irrigação no desenvolvimento e produtividade do pepineiro irrigado.

2 INTRODUÇÃO

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos do uso de hidrogel em diferentes profundidades no solo associado ao *mulching* como condicionador de solo e de diferentes lâminas de irrigação no desenvolvimento e produtividade do pepineiro irrigado.

2.2 Objetivos específicos

Identificar profundidade adequada para a aplicação do hidrogel que favoreça o melhor desenvolvimento e produtividade do pepineiro irrigado.

Avaliar o uso de *mulching* complementado com hidrogel e seu efeito no pepineiro irrigado

Avaliar o efeito do hidrogel em diferentes profundidades associado ao *mulching* e o uso de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis biométricas da cultura do pepineiro irrigado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do pepino

No mundo, segundo dados da FAO (2023) referente ao ano 2000-2020 a China lidera a produção anual de pepino, sendo consumido principalmente em saladas e em forma de conserva. No Brasil, os estados que se destacam na produção são, São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina.

Dentre as quatro variedades mais cultivadas de pepino no mercado brasileiro, cita-se o caipira, conserva, o aodai ou comum e o japonês ou aonaga (CARVALHO *et al.*, 2013). Os referidos autores acrescentam que o pepino se adapta melhor a regiões com clima que varia de ameno a quente, ou seja, com temperaturas entre 20 e 30°C e que temperaturas mais baixas podem prejudicar o desenvolvimento, especialmente em plantas jovens (com menos de 35 dias após a germinação), e também reduzir a produtividade. Devido a essa limitação climática, o pepino não tolera geadas. Por isso, o cultivo do pepino geralmente se concentra no período de primavera-verão. No entanto, é possível plantar no inverno, desde que seja em áreas onde não ocorrem geadas.

O pepino é a segunda cultura mais importante da família das cucurbitáceas, ficando atrás apenas da melancia. Geralmente cultivado como vinhas anuais trepadeiras ou rasteiras, produz frutos alongados, cilíndricos ou ovais, com casca verde e sementes comestíveis. São conhecidos pelo alto teor de água, o que os torna uma excelente opção de alimento hidratante e de baixa caloria, com um sabor suave e levemente doce (EJAZ; BAHADUR, 2024).

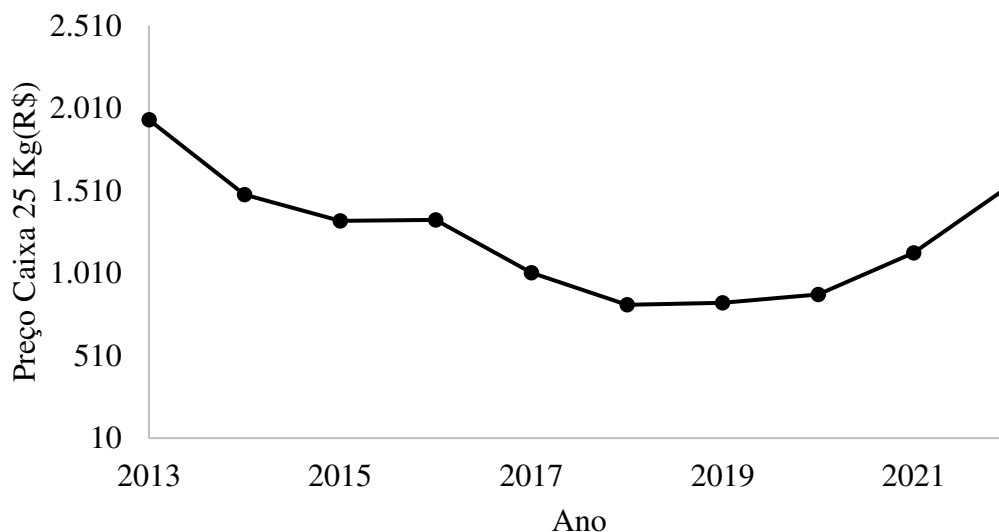
3.2 Panorama da produção e comercialização do pepino no Estado do Ceará

A quantidade de pepino produzida no Brasil no ano de 2017 foi de 184.161 toneladas, com valor de produção de 171.724.000, reais, sendo o estado de São Paulo o maior produtor nacional.

No estado do Ceará, observa-se produtividade de 4.909 toneladas, sendo o maior produtor o município de Tianguá-CE. O valor da produção chega a 2.945.000 reais neste período (IBGE, 2017).

No estado do Ceará, o preço da caixa de pepino de 25 kg está aumentando desde 2018 (Gráfico 1), podendo assim ser uma ótima fonte de renda para agricultores da região.

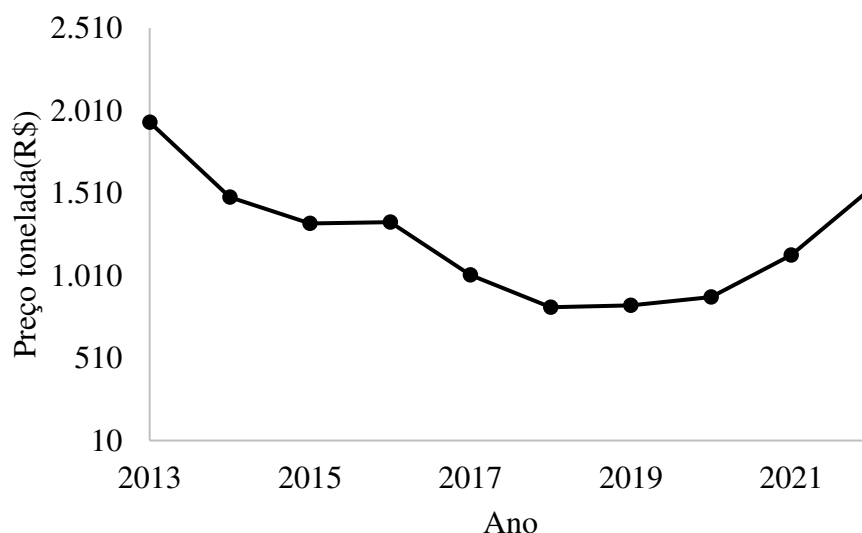
Gráfico 1 - Média anual do preço da caixa 25kg de pepino no Ceará entre os anos de 2013 e 2022.



Fonte: IBGE (2023).

Em termos de valor por tonelada de pepino no Ceará, verifica-se comportamento similar ao observado na Gráfico 1, em que de 2013 a 2017 nota-se redução no valor pago por tonelada, seguido de uma elevação desse valor a partir de 2018 (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Média anual do preço da tonelada de pepino no Ceará entre os anos de 2013 e 2022.



Fonte: IBGE- (2023).

3.3 Requerimento hídrico da cultura do pepino

A cultura do pepino apresenta cinco fases fenológicas, conforme destacado por

Folegatti & Blanco (2000). A primeira fase é a emergência, que dura aproximadamente 0-19 dias. Em seguida, ocorre a fase de florescimento, que tem intervalo de 20-46 dias, seguida da frutificação, que dura de 47-74 dias. Após 75 dias, inicia-se a fase de maturação e, o ciclo completo da cultura tem uma média de 115 dias.

Rahil e Qanadillo (2015) investigaram como diferentes regimes de irrigação afetam a eficiência do uso de água e a produtividade do pepino. Os mesmos concluíram que dos tratamentos, irrigação tradicionalmente usada pelos agricultores, irrigação a base do tensiômetro, 100% da Etc e 70% da ETc, o regime de 70% da Etc obteve maior produtividade da cultura e maior eficiência no uso da água (EUA).

No estudo de Fonseca (2021), o autor analisou os impactos do estresse hídrico na produção e eficiência do uso de água em pepinos cultivados em ambiente protegido. Suas conclusões destacaram os efeitos negativos do déficit hídrico na produção de frutos, evidenciando a importância da reposição hídrica adequada.

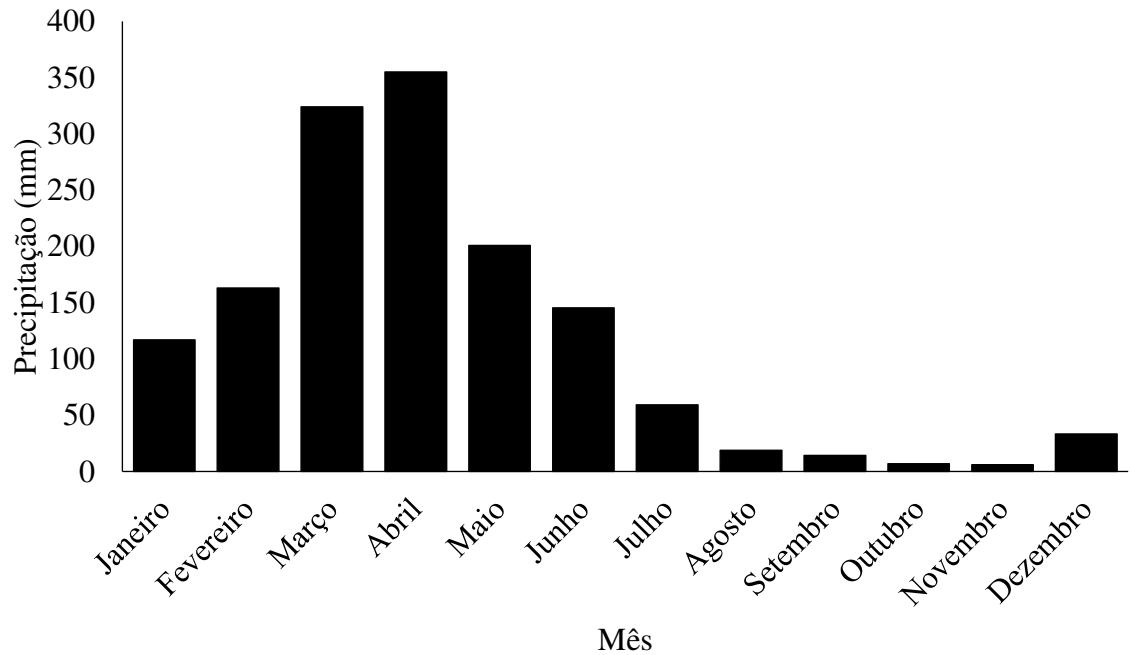
O trabalho de Hakkim *et al.* (2014) concentrou-se na avaliação dos efeitos de diferentes níveis de irrigação por gotejamento no crescimento, produção e eficiência do uso de água no cultivo protegido de pepino. Suas conclusões ressaltaram a eficácia do sistema de gotejamento na promoção do crescimento das plantas e na economia de água.

Naz *et al.* (2016) investigaram como o estresse hídrico afeta não apenas a produção, mas também as características de qualidade do pepino, incluindo teor de açúcares e vitamina C nos frutos. Seus resultados enfatizaram a necessidade de um manejo adequado para satisfazer a necessidade hídrica do pepino para garantir a qualidade nutricional dos produtos colhidos.

Parkash *et al.* (2021) focaram em explorar as respostas fisiológicas do pepino a diferentes níveis de irrigação em condições de estufa. Com lâminas de 40%, 60%, 80% e 100% da Etc foi possível observar que a lâmina de 80% se sobressaiu das demais nas respostas fisiológicas. Suas conclusões destacaram a importância da transpiração, assimilação de carbono e atividade fotossintética quando se aplicam diferentes regimes de irrigação.

Em contraste aos baixos índices de precipitação anuais registrados no estado do Ceará, o município de Fortaleza destaca-se por apresentar os maiores índices pluviométricos nos primeiros cinco meses do ano, oferecendo condições pluviométricas adequadas para o cultivo de pepino sem necessidade de irrigação (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Normal climatológica de Fortaleza entre 1990-2020.



Fonte: FUNCEME (2022)

3.4 Requerimento nutricional da cultura do pepino

O pepino, assim como outras hortaliças, possui uma demanda relativamente alta de macronutrientes primários. A recomendação geral do Instituto Agrônômico-IAC (2015) sugere doses de nitrogênio, fósforo e potássio de acordo com o nível de fertilidade do solo (Tabela 1).

Tabela 1 – Recomendação de adubação para pepino em função da fertilidade do solo.

Nitrogênio	P (resina), mg dm ⁻³				K ⁺ trocável, mmolc dm ⁻³			
	0-25	26-60	61-120	>120	0-15	1,6-3,0	3,1-6,0	>6,0
N, kg ha ⁻¹	-----P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹ -----				-----K ₂ O, kg ha ⁻¹ -----			
30 a 40	280	160	100	60	120	80	40	20
	B, mg dm ⁻³		Cu, mg dm ⁻³			Zn, mg dm ⁻³		
0,0,30	0,31-0,60	>0,60	0-02	0,3-0,8	>0,8	0-0,5	0,6-1,2	>1,2
	-----B, kg ha ⁻¹ -----		-----Cu, kg ha ⁻¹ -----			-----Zn, kg ha ⁻¹ -----		
1,0	0,5	0	4	2	0	4	2	0

Fonte: Adaptado de Trani *et al.* (2015).

De acordo com Trani *et al.* (2015), a adubação deve ser feita cerca de 7 a 10 dias antes do plantio, aplicando os fertilizantes e misturando-os com o solo das covas, em

quantidades de acordo com a análise do solo (Tabela 1). Na adubação de cobertura do pepino no campo durante o verão, época de temperatura mais elevada, é recomendado aplicar 80 a 100 kg ha⁻¹ de N; 20 a 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 a 100 kg ha⁻¹ de K₂O, parcelando em três a quatro aplicações. A primeira aos 10 a 15 dias após a germinação ou o pegamento das mudas e as demais adubações a cada 10 a 15 dias. As quantidades maiores ou menores de nutrientes e o número de aplicações de fertilizantes em cobertura dependerão dos resultados da análise do solo, da análise foliar, da precocidade da cultivar utilizada, do adensamento populacional e da produtividade esperada.

3.5 Efeito do hidrogel em culturas agrícolas

O hidrogel ou copolímero de poliacrilato de potássio é uma molécula que pode melhorar a capacidade de retenção de água dos substratos. No entanto, sua eficácia pode ser afetada por sua composição e pela presença de fertilizantes químicos, sendo que quanto maior a condutividade elétrica do substrato, menor é o potencial de hidratação do hidrogel, como observado por Prevedello e Balena (2000).

Ao ser adicionado ao solo, o hidrogel é capaz de formar uma substância semelhante a um gel que possui uma capacidade de retenção de água de até 400 vezes o seu próprio peso (WOFFORD JR; KOSKI, 1990). Isso permite que as plantas tenham acesso mais eficiente à água e aos nutrientes presentes no solo.

As pesquisas que têm como objeto de estudo a aplicação deste polímero em culturas agrícolas adotam diferentes formas de aplicação da substância, há casos em que é recomendada a administração via seco ao solo e depois feita a irrigação, já em outros é sugerido aplica-lo no solo pré-hidratado. Neves *et al.* (2021) afirmam que a maneira como o hidrogel é aplicado, seco ou pré-hidratado, não afeta sua capacidade de retenção de água.

Em um estudo conduzido por Buzetto *et al.* (2002), a eficácia do hidrogel para com mudas de *Eucalyptus urophylla*, após o plantio, foi avaliada. Foi observado que o polímero foi capaz de reter a água da irrigação por um período mais longo, permitindo que fosse gradualmente disponibilizada às plantas. Isso resultou em uma redução na mortalidade das mudas cultivadas com hidrogel. No entanto, não houve um aumento significativo na altura de crescimento dessas plantas.

O uso do hidrogel na cultura do eucalipto foi avaliado também por Navroski *et al.* (2014), que utilizaram diferentes frequências de irrigação. Os resultados mostraram que o solo com maior disponibilidade de água para as plantas de eucalipto foi aquele tratado com hidrogel.

Os autores concluíram que o déficit de água causado pelas diferentes frequências de irrigação limitou a abertura dos estômatos, o que contribuiu para a diminuição da assimilação de carbono na fotossíntese.

O uso do hidrogel na agricultura de sequeiro tem grande potencial devido à sua capacidade de armazenar e liberar água para as plantas (AZEVEDO *et al.*, 2000). Esse recurso pode ser especialmente benéfico em regiões como a caatinga, que enfrentam baixa precipitação e altas temperaturas. No estado do Ceará, onde ocorrem chuvas sazonais e concomitantemente elevadas taxas de evapotranspiração, resultando em déficit pluviométrico anual, logo, a utilização do hidrogel pode vir a ser uma alternativa viável para reduzir significativamente o consumo de água ao diminuir a perda deste recurso hídrico por evaporação e percolação.

3.6 Efeito do *mulching* em culturas agrícolas

Kader *et al.* (2017), destacam que existem no mercado agrícola atual diferentes tipos de *mulching* sendo estes: orgânico, inorgânico, misturado e especial. O *mulching* ajuda a reter a umidade do solo, reduzindo a evaporação e a necessidade de irrigação. Isso é particularmente útil em regiões áridas ou durante períodos de seca. No entanto observa-se que há uma variação nessa retenção e diminuição da evaporação dependendo do tipo de *mulching* escolhido, os autores supramencionados afirmam que praticas envolvendo *mulching* na agricultura tem uma variedade de vantagens, sendo algumas dessas, o seu poder de proteger o solo de degradação química, física e biológica.

Bakht *et al.* (2009) observa que o *mulching* também atua como uma barreira contra o crescimento de ervas daninhas ao manter a superfície do solo protegidos da luz solar diminuindo a competição por nutrientes e água. Os autores afirmam ainda que a cobertura morta promove penetração das raízes e seu crescimento assim diminuindo a erosão do solo causada pela água e pelo vento, mantendo sua estrutura e fertilidade.

Além disso, Zhang *et al.* (2023) observou ao trabalhar com a cultura do milho que a utilização do *mulching* pode regular a temperatura do solo, podendo beneficiar o desenvolvimento das plantas.

Existem diferentes materiais que podem ser usados como cobertura morta, incluindo palha, casca de árvore, serragem, plástico, papelão, entre outros. Cada tipo de material tem suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo das condições locais e das necessidades da cultura. Em culturas como tomate, morango, milho e hortaliças, o *mulching* tem sido associado a um crescimento mais rápido das plantas e a uma maior produção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e características da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida em área experimental da Estação Agrometeorológica, pertencente à Universidade Federal do Ceará, situada no município de Fortaleza, Ceará, Brasil, com as seguintes coordenadas geográficas: 03°44'44" S, 38°34'56" W e altitude de 19,6 m (IPECE, 2015). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Koppen, é do tipo Aw' (tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e outono), com temperatura média de 26,5 °C (AGUIAR *et al.*, 2002). Os dados mensais das variáveis climáticas coletados durante os experimentos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados mensais das variáveis climáticas durante a condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.

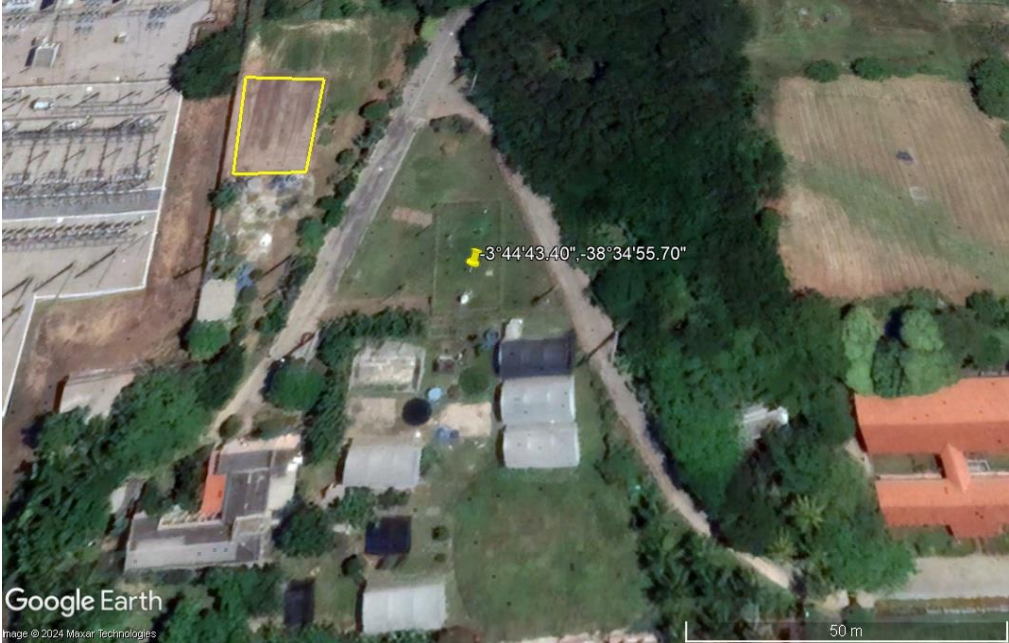
Mês	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Precipitação (mm)
Agosto	27,4	68,0	2,7	0,0
Setembro	27,7	65,7	3,1	0,0
Outubro	28,0	65,4	3,1	0,0
Novembro	28,4	66,3	2,8	0,00

Fonte: INMET.

A área experimental corresponde a um talhão de 215,04 m², onde foram instalados dois distintos experimentos, cada um com uma subárea menor de 107,52 m², conforme consta na Figura 1. A área experimental vinha sendo manejada sob rotação de cultura, com plantio de quiabo e amendoim.

O solo da região é classificado como franco argiloso arenoso. Para efeito da caracterização físico-química do solo, antes da instalação dos experimentos, foram retiradas, com auxílio de um trado, vinte amostras de solo na camada de 0,0 a 0,2 m de profundidade. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas e levadas ao Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal do Ceará, onde foram analisadas. Nas Tabelas 3 e 4 é possível observar o resultado da análise físico-química do solo da área experimental nos anos 2023.

Figura 1 - Vista aérea da área experimental pertencente a Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2024.



Fonte: Google Earth, 2022.

Tabela 3 - Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.

pH CaCl	P	K ⁺ (mg.dm ⁻³)	Ca ²⁺	Mg ²⁺ (cmolc.dm ⁻³)	Al ³⁺	H+Al
4,7	9,0	42	0,92	0,55	0,29	2,20
M.O. (g.kg ⁻¹)	V %	B	Cu	Fe (mg.dm ⁻³)	Mn	Zn
13	42	0,11	0,1	60	1,9	3,7

pH – potencial hidrogeniônico; P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H + Al – acidez potencial; SB – soma de bases; M.O. – matéria orgânica; V – saturação por bases; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; Zn – zinco (ALVAREZ et al, 1999).

Tabela 4 - Análise física do solo e textural da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.

Densidade do solo (g.cm ⁻³)	Densidade de partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade total (cm ³ .cm ⁻³)	Microporosidade (cm ³ .cm ⁻³)	Macroporosidade (cm ³ .cm ⁻³)	Umidade 33kPa	Umidade 1.500kPa
1,54	2,66	0,412	0,351	0,066	0,316	0,16
Areia Total (g kg ⁻¹)			Silte (g kg ⁻¹)		Argila (g kg ⁻¹)	
755			50		195	

4.2 Preparo do solo e condução da cultura do pepino

O preparo do solo na área cultivada com pepino constituiu-se inicialmente de uma aração e uma gradagem. Logo após a gradagem, procedeu-se a limpeza e o nivelamento manual do terreno, com a utilização de enxada e ciscador, objetivando retirar resto cultural do solo que de alguma forma viesse a comprometer ou interferir na aplicação dos tratamentos e para auxiliar na instalação do sistema de irrigação.

No mercado brasileiro segundo Carvalho *et al.* (2013), existe predominância das cultivares híbridas de pepino em relação as cultivares de polinização aberta.

Para essa pesquisa, utilizou-se o híbrido de pepino HS 1020 chile, da Horticeres Sementes, a qual é bem adaptada a temperaturas quentes e amenas, condizente com o clima da região. Conforme o fabricante das sementes o pepino híbrido Hs 1020 são de plantas vigorosas e produtivas, com frutos verde escuro brilhante de excelente padrão comercial. A resistência a doenças é um dos principais destaques desta cultivar, os frutos são de coloração verde escuro e casca lisa brilhante com comprimento médio de 18-23cm e diâmetro médio de 5-7cm (Figura 2).

Figura 2 - Pepino híbrido HS 1020 chile cultivado no experimento.



Fotos: Horticeres sementes.

A cultura tem recomendação de cultivo no espaçamento de 0,6 m entre plantas e de 0,8 m entre linhas. A semeadura foi feita em bandejas de 144 células e, para melhor emergência, foi usado o substrato Carolina Soil, que consiste de turfa e vermiculita. A proporção de substrato

e solo da área experimental foi de 2:1, respectivamente, sendo em seguida misturado e colocado na bandeja. Foi colocada uma semente em cada célula e foram usadas 5 bandejas, totalizando 720 mudas (Figura 3).

A germinação ocorreu entre 4 a 5 dias após o semeio, e o transplantio foi realizado aos 10 dias após a semeadura, quando se observou, em todas as mudas, o crescimento da terceira folha. A semeadura foi realizada no dia 1º de agosto de 2023, e o transplantio ocorreu no dia 11 de agosto de 2023.

Figura 3 – A - Preparação das bandejas; B - bandejas com quatro dias de semeadas; C - bandejas com sete dias da semeadura; D - transplantio com 10 dias da semeadura.



Fonte: Autoria Pessoal, 2023.

Com objetivo de evitar a competição da cultura com plantas daninhas, principalmente durante o período inicial de seu desenvolvimento, período crítico para o estabelecimento da cultura em campo, foram realizadas capinas manuais nesta fase inicial e

durante todo o período do experimento.

A adubação da cultura do pepino foi baseada na análise do solo realizada na área experimental, e consistiu na aplicação de N-P-K parcelada em 60% na fundação e 40% na cobertura, seguindo a recomendação de adubação para a cultura (Tabela 1), consistindo de: ureia (45% de N); superfosfato simples (16% P_2O_5); cloreto de potássio (60% K_2O). Os adubos foram aplicados de forma convencional e parcelados em fundação e cobertura, sendo:

1) Adubação de fundação – foi fornecida nas covas em volta das plantas e perto das linhas laterais de irrigação, sendo feita a aplicação de 100% do adubo superfosfato simples (314 kg ha^{-1}), justificado pela lenta liberação deste nutriente no solo, 60% do adubo cloreto de potássio ($34,56 \text{ kg ha}^{-1}$) e 60% do nitrogênio ($34,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de ureia);

2) Adubação de cobertura – Realizado ao se completar 30 dias após o transplântio, quando foram aplicados 40% do cloreto de potássio ($23,04 \text{ kg ha}^{-1}$) e úreia ($23,2 \text{ kg ha}^{-1}$).

4.3 Tutoramento e colheita

O tutoramento do pepino em campo foi realizado com a utilização de 10 estacas de bambu em cada lado do experimento. O espaçamento entre as estacas de bambu foi estabelecido em 2,56 m. Na extremidade superior das estacas de bambu, foi esticado um fio de arame nº 16 que serviu como suporte. Perpendicularmente às plantas, foram fixadas linhas de fitilhos, que foram amarrados no arame e no caule da planta. Essas linhas de fitilhos permitiram que os ramos das plantas se enrolassem e crescessem verticalmente. O sistema de tutoramento foi projetado com uma altura de 2 m, com a intenção de realizar a poda apical a uma altura da planta de 1,8 m.

A colheita foi realizada em duas ocasiões, devido ao fato de a cultura do pepino apresentar um longo período de produção. A primeira colheita foi realizada aos 15 dias depois do aparecimento do primeiro fruto e a segunda colheita 15 dias após a primeira colheita.

4.4 Sistema de irrigação

Para fins de condução e manejo dos experimentos, foi instalado um sistema de irrigação do tipo localizada por gotejamento (Figura 4).

O sistema de irrigação foi constituído por:

- Conjunto motobomba – trabalhando de forma submersa em um poço profundo.
- Conjunto motobomba – usada para retirar água da caixa d'água.

- Linha principal – constituída de PVC (PN 40) com diâmetro nominal (DN) de 50 mm, com 50 m de comprimento entre a motobomba do poço e a caixa d'água;

- Linhas de derivação ou linha secundária – o sistema de irrigação possuía três linhas de derivação, compostas de polietileno (DN 50 mm), cada uma delas com 20 m de comprimento que vai da bomba conectada a caixa d'água até as linhas laterais. No início de cada linha de derivação, foi instalado um registro de gaveta de 25 mm de diâmetro com o objetivo de controlar a pressão e a vazão na tubulação;

Linhas laterais – cada uma das linhas de derivação possuía 32 linhas laterais (DN 16 mm) de 4,2 m de comprimento. Elas foram espaçadas em 0,8 m, com fitas gotejadores autocompensantes, com emissores espaçados em 0,6 m, com vazão de 2 L h^{-1} a uma pressão de serviço de $1,0 \text{ kgf cm}^{-2}$ de fábrica, no entanto ao irrigar os dois experimentos concomitantemente a vazão diminuir para $1,4 \text{ L h}^{-1}$ com pressão de serviço de $0,8 \text{ kgf cm}^{-2}$. No início de cada tratamento conectados com as linhas laterais, foram instalados registros de esfera de 16 mm de diâmetro, com a finalidade de controlar a lâmina de irrigação.

4.5 Manejo da irrigação

Uma vez instalado o sistema de irrigação em campo, procedeu-se ao teste de uniformidade de distribuição de água (CUD) e ao de Christiansen (CUC), utilizando a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975) modificada por Denículi *et al.* (1980). Também, foi realizado o levantamento das condições de pressão, vazão e lâmina aplicada.

A primeira irrigação do experimento foi feita com dados das propriedades físicas do solo para saturar o solo, só assim sendo iniciado o experimento (Equação 1).

$$\text{CAD} = (\text{CC} - \text{PMP}) \cdot Z \quad \text{Equação 1}$$

Em que: CAD é capacidade de água disponível (mm); CC é capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); PMP é ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e Z é profundidade efetiva das raízes (mm).

O manejo da irrigação foi realizado utilizando o princípio de lâmina acumulada, de maneira que o experimento foi irrigado com base na reposição da lâmina de água evapotranspirada referente ao dia anterior.

A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith, reconhecido pela FAO como padrão, conforme descrito na Equação 2. Os dados de radiação, velocidade do vento e umidade foram coletados diariamente no site do Inmet para a região de Fortaleza, Ceará. No entanto, os dados diários de precipitação foram obtidos da estação

agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, devido à indisponibilidade dos dados de radiação na estação agrometeorológica próxima ao local do estudo. A irrigação era realizada 7 horas da manhã.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot s \cdot (Q - G) + \frac{(\gamma \cdot 900 \cdot U_{2,0m} \cdot \Delta e)}{T + 273}}{s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_{2,0m})} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: s é a declividade da curva de pressão de vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ^* é a constante psicrométrica modificada ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); λ é o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$); T é a temperatura média diária ($^\circ\text{C}$); U_2 é a velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação de vapor d'água (kPa); e_a é a pressão parcial de vapor d'água (kPa).

A lâmina de água evapotranspirada no dia anterior foi calculada usando a evaporação de referência, citada anteriormente, multiplicada pelo coeficiente de cultivo da cultura (K_c), de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979) (Tabela 5).

Tabela 5- Coeficiente de cultura (K_c) em diferentes estágios de desenvolvimento do pepino, em função da umidade relativa e velocidade do vento.

Hortaliça	Estágio de Desenvolvimento			
	I	II	III	IV
Pepino	0,5	0,7	0,95	0,75

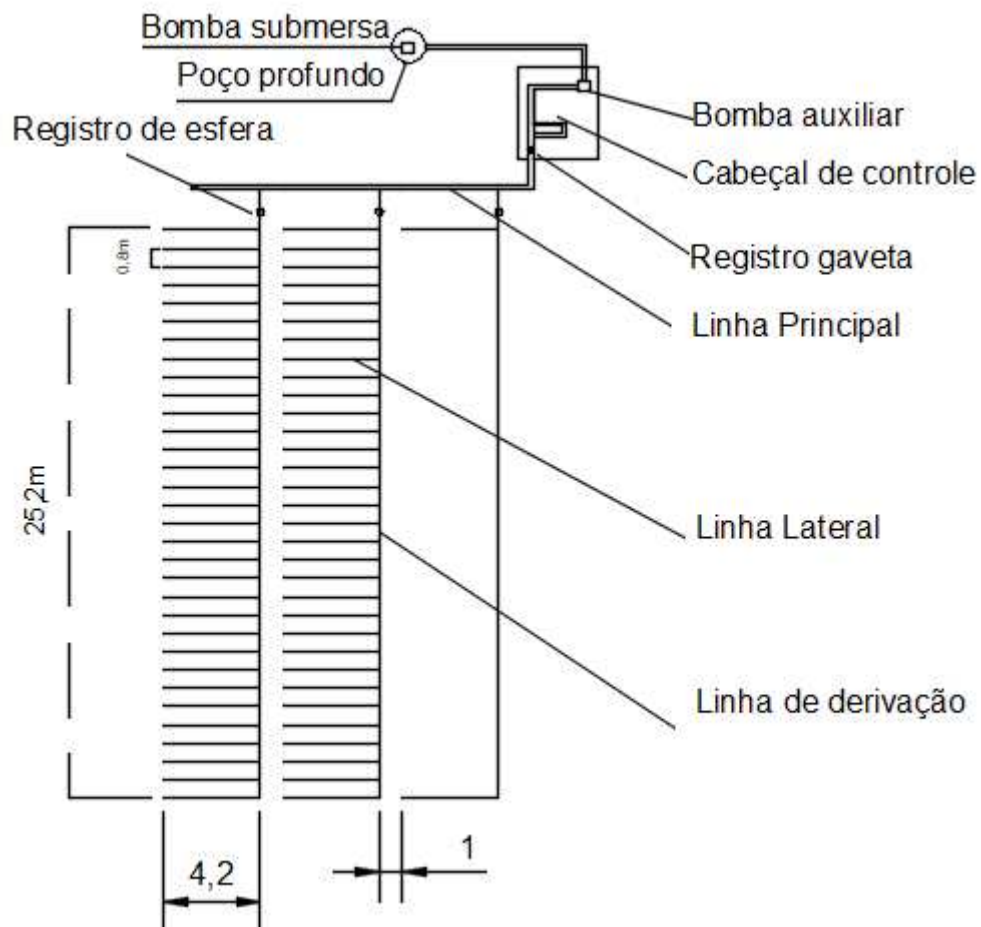
Fonte: Adaptado de Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979).

O tempo de irrigação utilizado em cada experimento foi quantificado conforme a Equação 3:

$$Ti = \frac{Li \cdot E_L \cdot E_g \cdot F_c}{E_i \cdot Q_g} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: Ti é tempo de irrigação (h); Li é lâmina de irrigação ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); E_L é o espaçamento entre linhas de irrigação (m); E_g é o espaçamento entre gotejadores (m); F_c é o fator de cobertura do solo (adimensional); E_i é a eficiência de irrigação (adimensional); q_g é a vazão do gotejador ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$).

Figura 4 – Layout do sistema de irrigação instalado na área experimental para condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.



Fonte: Autoria Pessoal, 2023.

4.6 Hidrogel e mulching escolhidos

O geopolímero usado foi da Vallerico Fertilizantes com composição de carbonato de cálcio, magnésio e caulim, sendo 7% de cálcio (Ca) e 3% de magnésio (Mg).

O mulching utilizado foi Filme Mulching Dupla Face Preto e Branco da Paperplast, a face preta ficou em contato com o solo e a face branca ficou virado para cima.

4.7 Experimento I: Efeito do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de *mulching* como cobertura do solo no pepineiro irrigado

Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições. No final de cada bloco, foram colocadas uma linha de bordadura e duas linhas no início do experimento, resultando em: 25 linhas de tratamento e 7 linhas de bordadura, totalizando 32 linhas.

A aplicação do hidrogel foi fundamentada no conceito do fabricante, que recomenda aplicar diretamente no solo. A profundidade das raízes do pepino, se estende a cerca de 30 cm no solo, portanto esta profundidade e metade dela (15cm) foram utilizadas para aplicação do hidrogel. Aplicou-se 8 gramas de hidrogel quantidade escolhida para otimizar a retenção de água, promover o crescimento saudável das plantas e utilizar os recursos de maneira eficiente, sem causar problemas de saturação ou desperdício (Figura 5).

Figura 5 – A - Abertura das covas; B - medição da profundidade; C - Aplicação do hidrogel; D - Instalação do *mulching*.



Fonte: Autoria Pessoal, 2023.

Foram colocadas 7 plantas por linhas, destas plantas, 4 foram usadas para coleta de dados.

Covas foram escavados na área de plantio da planta, utilizando boca de lobo. A profundidade dessas covas foi medida com o auxílio de uma régua, sendo de 30 cm e 15 cm, correspondendo, respectivamente, à profundidade efetiva total das raízes e à metade dessa profundidade. O hidrogel foi inserido nestas profundidades, e as covas fechadas posteriormente.

A aplicação do *mulching* aconteceu cortando e depois esticando 4,2 m de

comprimento e 0,8 m de largura do material na área do plantio. Os tratamentos consistiram em aplicação do hidrogel a 15 cm (H15), aplicação do hidrogel a 15 cm + *mulching* (H15+M), aplicação do hidrogel a 30 cm (H30), aplicação do hidrogel a 30 cm + *mulching* (H30+M) e um tratamento testemunha/controle (SEMH). O *mulching* foi utilizado em conjunto com o hidrogel nessas profundidades, com o objetivo de avaliar a capacidade de retenção de água desse mecanismo e avaliar seus benefícios na retenção de água no solo com sua associação com o hidrogel.

4.8 Experimento I: Influência de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado

As lâminas de irrigação testadas foram estabelecidas com base na evapotranspiração de referência (ET_o) obtida pela metodologia de Penman-Monteith (Equação 03), e multiplicando pelo K_c da cultura transformando assim em evapotranspiração da cultura (ET_{CPM}) fazendo uso de dados de K_c da cultura e de dados referentes às variáveis (radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação e temperatura do ar) calculadas de acordo com a padronização proposta pela FAO, devido sua grande aceitação e facilidade de manuseio (Allen *et al.*, 1998). Os dados empregados nos cálculos foram coletados por meio de uma estação meteorológica automática, situada ao lado da área experimental.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, composto de cinco tratamentos (lâminas de irrigação) e cinco blocos. Os tratamentos corresponderam aos níveis de irrigação de: 30, 60, 90, 120, 150% da ET_{CPM} (mm dia⁻¹), conforme a apresentação na Tabela 6.

Tabela 6 - Percentuais da ET_{CPM} e lâminas de água aplicadas em cada tratamento do experimento com a cultura do pepineiro, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.

Tratamento	ET _{CPM} (%)	Lâmina de Irrigação (mm)
Li30	30	93
Li60	60	186
Li90	90	279
Li120	120	372
Li150	150	465

Fonte: Autoria Pessoal, 2023.

As parcelas experimentais possuíam dimensões de 4,2 x 0,8 m, nas quais utilizou-se o espaçamento de 0,6 m entre plantas e 0,8 m entre linhas, totalizando 7 plantas por linha. Consideraram-se úteis as 4 plantas centrais e as 3 plantas por linha, sendo uma no início e duas do final não foram utilizadas nas coletas de dados por estarem mais próximas de outro

experimento (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Layout de um bloco do experimento hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de *mulching* como cobertura do solo no pepineiro irrigado, detalhando os tratamentos distribuídos nas parcelas, as bordaduras e as plantas úteis, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.

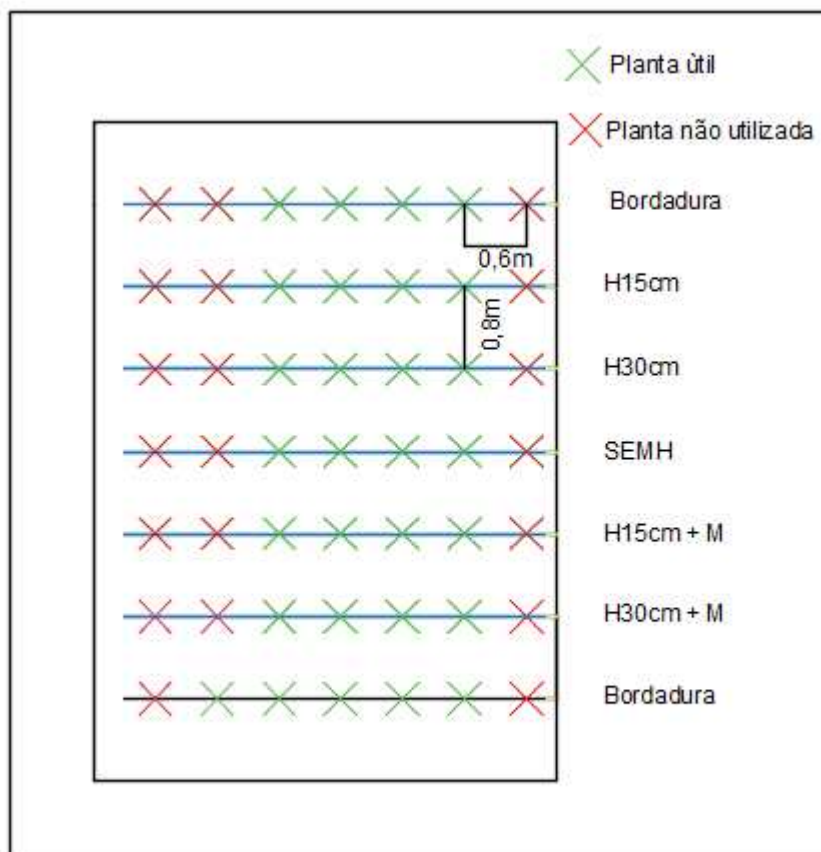
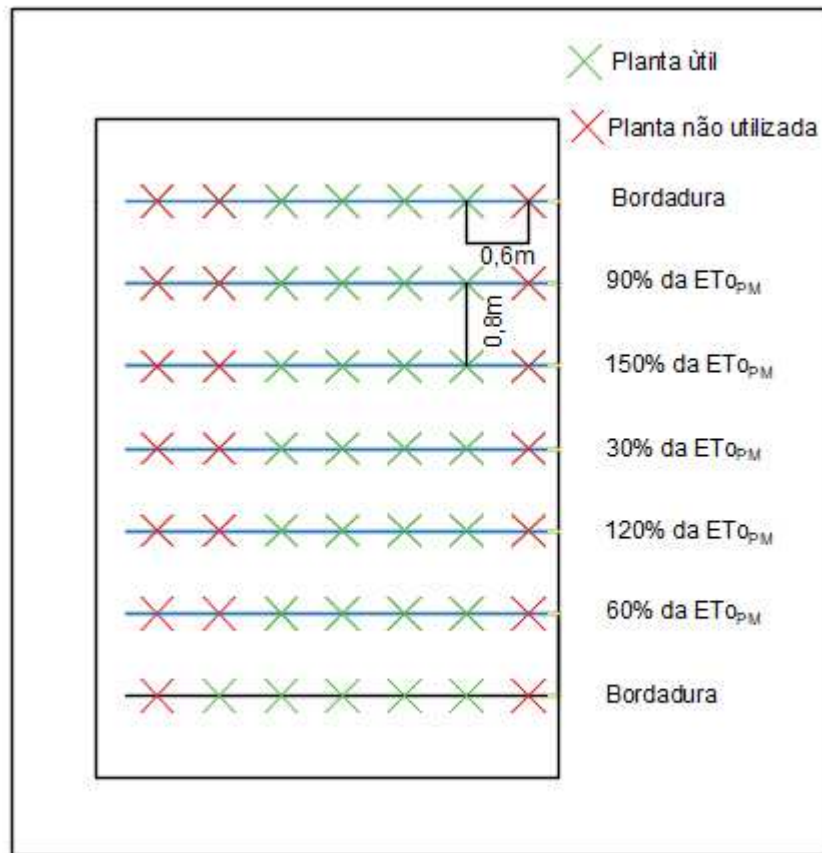


Figura 7 – Layout de um bloco do experimento com lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, detalhando os tratamentos distribuídos nas parcelas, as bordaduras e as plantas úteis, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.



4.9 Variáveis analisadas

Após a colheita dos pepinos, aos 64º dias após a semeadura e aos 79º dias após a semeadura, deu-se início a análise das variáveis produtivas da cultura. Para isso, foram colhido todos os pepinos em cada parcela experimental. Eles foram sorteados e usados para análises de forma aleatória (Figura 8).

As coleta e análises de dados foram feitas para avaliar as características relacionadas ao: comprimento médio dos frutos (CF); diâmetro médio dos frutos (DF); espessura média da polpa (EP); número de frutos por planta (NF); massa média dos frutos (MMF); produtividade (Prod) e eficiência do uso da água (EUA).

- Comprimento médio dos frutos (CF): foram escolhidos dois frutos aleatoriamente, e com o auxílio da régua foi medido o comprimento do fruto.
- Diâmetro médio dos frutos (DF): foi medido o diâmetro dos dois frutos na parte central, com o auxílio de um paquímetro digital.
- Espessura média da polpa (EP): Os dois frutos de pepino foram cortados ao meio.

Em seguida, utilizou-se uma régua para medir a distância entre o centro do fruto, onde estaria localizada a polpa, até a casca do fruto.

- Número de frutos por planta (NF): Foi utilizado um saco de papel identificado com o tratamento, a repetição e a planta específica da repetição. Todos os frutos colhidos foram colocados nesse saco, e posteriormente a quantidade de frutos colhidos foi contada.
- Massa média dos frutos (MMF): Dos frutos considerados úteis, cada um foi individualmente pesado em uma balança e os pesos foram registrados na planilha de dados.
- Produtividade (Prod): essa variável foi estimada, em quilogramas por hectare (kg ha^{-1}). A produtividade da cultura do pepino foi calculada com base no número de frutos, peso médio dos frutos e tendo em conta o espaçamento utilizado neste estudo (0,6 x 0,8 m).
- Eficiência do uso da água (EUA): essa variável foi estimada pela razão entre a produtividade e a quantidade de água aplicada nos tratamentos durante o ciclo do pepino.

Figura 8 – Pepinos da primeira colheita aos 64 dias após a semeadura submetidos à avaliação, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.



Fonte: Autoria Pessoal, 2023.

4.10 Análises estatísticas

Os dados de natureza qualitativa foram submetidos à análise de variância pelo teste F e teste de Tukey. Os dados de natureza quantitativa foram submetidos à análise de variância e, quando verificado o nível de significância de 5% foram testados os modelos: linear, logarítmico, exponencial e o polinomial quadrático.

As equações que melhor se ajustarem aos dados foram selecionadas com base no coeficiente de determinação (R^2). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos

aplicativos Microsoft Office Excel (2019) e do software R *statistics*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I: Efeito do hidrogel em diferentes profundidades e uso de *mulching* como cobertura do solo no pepineiro irrigado

Na Tabela 7 tem-se o resumo da análise de variância para as variáveis: comprimento médio dos frutos (CF); diâmetro médio dos frutos (DF); espessura média da polpa (EP); número de frutos (NF); massa média dos frutos (MMF); eficiência do uso da água (EUA) e produtividade (Prod) da cultura do pepino em função da aplicação de hidrogel em diferentes profundidades associada ao *mulching* para o cultivo realizado no ano de 2023.

Observa-se que os tratamentos apresentaram efeito significativo, com $P < 0,05$, para as variáveis: NF; EUA e Prod. As variáveis CF, DF, EP e MMF não apresentaram efeito significativo em relação aos tratamentos estudados.

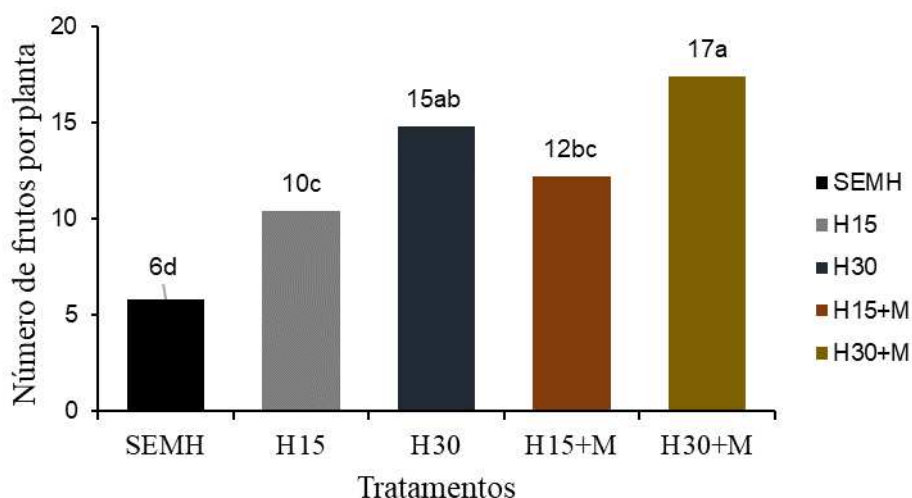
Tabela 7 - Análise de variância das variáveis: comprimento médio dos frutos (CF); diâmetro médio dos frutos (DF); espessura média da polpa (EP); número de frutos (NF); massa média dos frutos (PMF); eficiência do uso da água (EUA) e produtividade (Prod) do pepineiro irrigado, submetido a aplicação de hidrogel em diferentes profundidades e uso de *mulching* como cobertura do solo, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023

		QM						
FV	GL	CF	DF	EP	NF	MMF	EUA	Prod
Tratamentos	4	7,89 ^{ns}	11,21 ^{ns}	4,37 ^{ns}	97,46 ^{**}	0,0029 ^{ns}	1.011,3 ^{**}	6488595787 ^{**}
Blocos	4	12,53 ^{ns}	25,42 ^{ns}	4,92 ^{ns}	3,16 ^{ns}	0,0028 ^{ns}	32,22 ^{ns}	413049859 ^{ns}
Resíduo	16	6,40	33,45	4,17	4,01	0,0033	62,11	564779920
Total	24	-	-	-	-	-	-	-
CV(%)		13,93	10,79	9,46	16,52	15,69	27,46	25,43

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; ** significativo ao nível de $P < 0,05$ pelo teste Tukey; ns - não significativo ao nível de $P < 0,05$ pelo teste de Tukey.

Para a variável número de frutos (Gráfico 4), os tratamentos com menores quantidades de frutos colhidos foram os tratamentos SEMH e H15, observando-se ainda que o tratamento H30+M obteve 17 frutos por plantas, 11 frutos a mais por planta em relação ao tratamento controle.

Gráfico 4 – Número de frutos por planta (NF) em função do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de mulching como cobertura do solo na cultura do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023



Por Nye e Tinker. (2000) a absorção de nutrientes e outros íons pela raiz a partir do solo circundante difere de diferentes locais na própria raiz e a demanda por nutrientes da planta se expressa na superfície radicular. Autores continuam que demanda na superfície da raiz pode ser definida quantitativamente em termos de suas características de absorção. Estratégias como o desenvolvimento de raízes finas mais longas com menor densidade de tecido, maior atividade da enzima fosfatase ajudam a explorar melhor o solo e aumentar a absorção de fósforo em solos pobres em fósforo (LUGUI *et al.*, 2020). Essas estratégias podem ter sido usadas para que o número de frutos do tratamento em 30cm de profundidade na aplicação de hidrogel com e sem mulching obtiveram melhores resultados, diferente dos tratamentos com aplicação de hidrogel na profundidade de 15cm.

Souza *et al.* (2007), no estudo da distribuição da umidade no solo por gotejamento na camada superficial e subsuperficial, observaram que o sistema de gotejamento na camada subsuperficial apresentou menor variação de umidade na direção das raízes do mamoeiro, e o armazenamento de água foi superior em 17%, quando comparado ao superficial, evidenciando que a água disponível mais próxima ao sistema radicular pode trazer grandes benefícios para a cultura. Resultados esses que podem ser comparados com os do estudo atual, quando se observa os tratamentos que apresentaram maior número de frutos, e se relaciona com as ações do hidrogel no solo ao reter água, acrescentando que a associação entre hidrogel e *mulching* pode melhorar ainda mais esse número de frutos.

Os autores Buchmann *et al.* (2020), trabalhando com o efeito do potencial matricial e das interações solo-água-hidrogel na estabilidade microestrutural do solo induzida por biohidrogel, concluíram que o inchamento de biopolímeros, resulta na formação de estruturas

de hidrogel interparticulares elásticas, estas modulando a retenção de água e as interações entre partículas no solo. Os autores afirmaram, também, que a drenagem do solo aumenta ainda mais esse efeito, pois intensifica a viscosidade do hidrogel interparticular e as forças capilares durante a recriação do espaço poroso. Este pode ser um dos fatores que fez com que os tratamentos com adição de hidrogel se sobressaíssem dos demais.

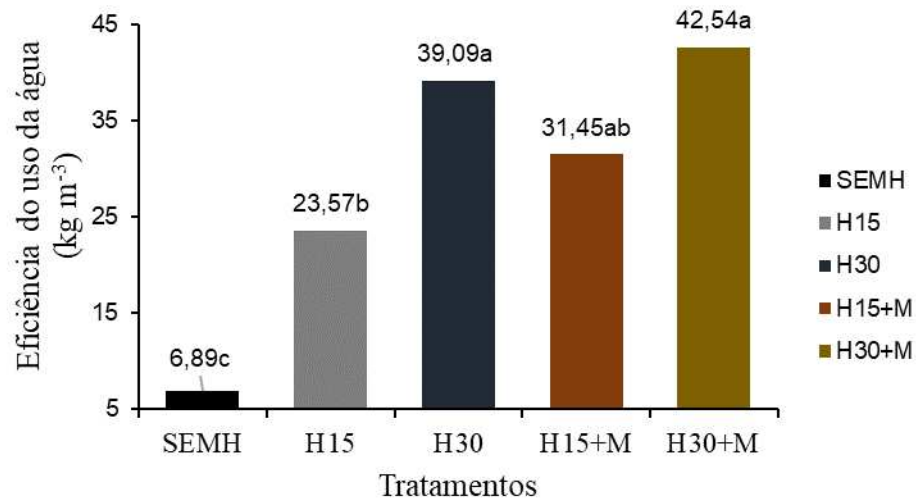
Os autores Monteiro *et al.* (2014), estudando a produtividade da água e de nutrientes em melão fertirrigado por gotejamento subterrâneo sob *mulching* em diferentes tipos de solos, observou que o tratamento com irrigação por gotejamento subterrânea a 20 cm de profundidade e com uso de *mulching* na superfície aumentou a eficiência da água no solo e dos nutrientes N, P₂O₅ e K₂O na cultura do melão, e obtiveram resultado semelhante à pesquisa em que observaram que os tratamentos que não foram usados o *mulching* como cobertura no solo trouxeram resultados menos expressivos.

Esta maior quantidade de frutos pode ser devido a maior retenção de água no solo, proporcionando boa disponibilidade de água para as plantas, como foi observado por Silva *et al.* (2016), na pesquisa sobre o suco misto melancia com pepino discurrem que que o pepino apresenta altos teores de água e por Carvalho *et al.* (2013), na pesquisa sobre a cultura do pepino onde observaram que o pepino apresenta 95% de água.

Barros *et al.* (2009), em estudo semelhante ao que se apresenta, obtiveram como resultados que os sistemas de irrigação por gotejamento enterrados apresentaram maior largura e profundidade de área molhada, quando comparado ao sistema de irrigação superficial. Autores continuaram que a uniformidade de umidade no solo melhorava com o aumento do volume de água aplicado e nos sistemas superficiais acontecia o inverso, no entanto, foi também observado que as maiores concentrações de água foram obtidas próximas ao ponto de emissão dos sistemas superficiais.

No Gráfico 5, sobre a eficiência no uso da água, ressaltando que todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de água, o tratamento em que obteve maior eficiência de uso da água foi o H30+M, evidenciando que a água utilizada foi influenciada pela aplicação de hidrogel, pela profundidade de aplicação e, também, pelo uso de *mulching*. Acredita-se que, a maior disponibilidade hídrica proporcionada pela aplicação do hidrogel e do *mulching*, trouxeram maior eficiência no cultivo com o melhor uso do recurso hídrico e que a profundidade da aplicação se torna fundamental quando se observa essa maior eficiência no uso da água ao comparar com a aplicação do hidrogel na profundidade de 15cm.

Gráfico 5 – Eficiência no uso da água (EUA) em função do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de *mulching* como cobertura do solo na cultura do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023

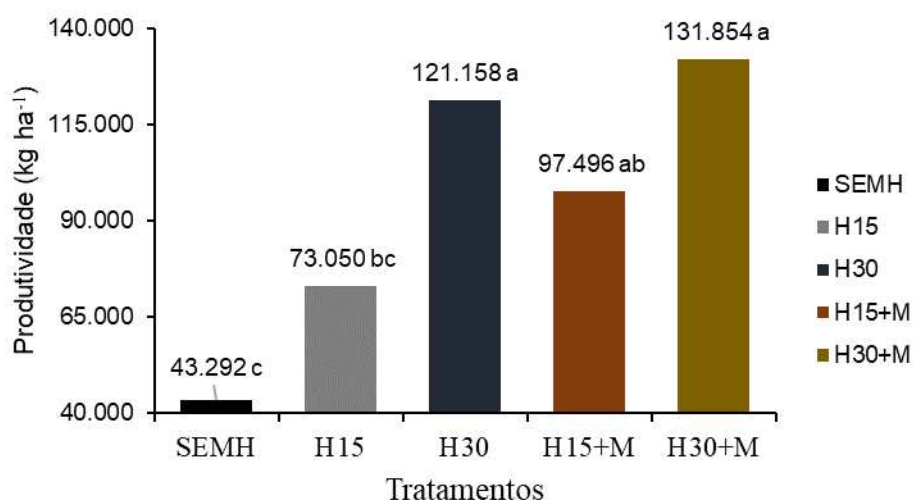


De acordo com o estudo de Biswas *et al.* (2015), estudando diferentes reposições hídricas, com e sem uso de *mulching*, as maiores eficiências no uso da água (EUA) foram obtidas a partir dos tratamentos com uso de *mulching* e com 50% da necessidade hídrica da cultura.

Conforme o estudo de Santos *et al.* (2023), na produção de tomate-cereja com e sem uso de *mulching*, o uso de canteiros econômicos associado ao uso de *mulching* provou ser uma tecnologia que possibilita aumentos na eficiência do uso da água (EUA) e, consequentemente, na economia desse recurso.

Ao observar o comportamento da variável produtividade, no Gráfico 6, verifica-se que o tratamento H30 e H30+M se sobressaíram dos demais, no entanto, não houveram diferença significativa entre si, salientando assim que, a aplicação do *mulching* na superfície do solo, não trouxe resultados suficientes que motive seu uso.

Gráfico 6 – Produtividade (Prod) em função do hidrogel em diferentes profundidades e ao uso de *mulching* como cobertura do solo na cultura do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023



Monteiro *et al.* (2007), trabalhando com aspectos produtivos e de qualidade do melão sob *mulching* e gotejamento subterrâneo nas profundidades 0,0; 0,2; 0,4 e 0,6m, obtiveram como resultados que o uso de *mulching* se sobressaiu dos demais tratamentos em relação à produtividade, no entanto, nesta pesquisa levando em consideração a ação do hidrogel na profundidade de 0,3m não foi obtida diferença estatística na produtividade, no tratamento com hidrogel na profundidade de 0,3 m e com uso de *mulching*.

A utilização de hidrogel melhora as características do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e otimizando a retenção hídrica do solo. Criando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das raízes em solos, favorecendo o crescimento de diversas culturas e aumentando a produtividade da água para as plantas (ABOBATTA, 2018). Resultado observado no presente estudo em que o hidrogel, contribuiu para o aumento da produtividade da cultura do pepineiro.

Watanabe *et al.* (2023), trabalhando com o efeito da aplicação de fertilizantes em diferentes profundidades na cultura da cana-de-açúcar, observaram que a profundidade em que obteve melhores resultados foi na profundidade de 10-20 cm. Bortolin *et al.* (2017), trabalhando com a liberação lenta de nutrientes por meio de hidrogel, constataram que o hidrogel disponibiliza nutrientes de uma maneira mais prolongada, liberando a ureia cerca de 72 vezes mais lenta com auxílio do hidrogel, o que pode ocasionar menores perdas deste nutriente por lixiviação.

Xiao *et al.* (2016), trabalhando com sensibilidade da retenção de água no solo observou que nas culturas estudadas houve o comprimento das raízes aumentado significativamente devido à maior disponibilidade de água para a planta, o que provavelmente

melhorou o processo de fotossíntese, aumentando o teor de clorofila mesmo sob condições de estresse hídrico. Estudo esse que pode ser comparado com este em que a tratamentos com hidrogel que pode disponibilizar água e nutrientes trouxeram melhores produtividades do que as demais.

Michona *et al.* (2022), no estudo do efeito da aplicação de hidrogel e do uso *mulching* entre 44 e 52 semanas, na produtividade do maracujá, observaram que o tratamento com aplicação de 10 gramas de hidrogel + *mulching* foi o melhor tratamento, apresentando produtividade entre 1.200 a 2.300 kg ha⁻¹.

5.2 Experimento II: Influência de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado

Na Tabela 6, ao quantificar a lâmina aplicada durante todo o experimento percebeu-se que a reposição hídrica no tratamento Li150 foi exatamente cinco vezes superior à aplicada no tratamento Li30, evidenciando ter ocorrido uma ampla variação no teor de água no solo, para o desenvolvimento do pepineiro.

Na Tabela 8, apresenta-se o resumo da análise de variância para as variáveis: comprimento médio dos frutos (CF), diâmetro médio dos frutos (DF), espessura média da polpa (EP), número médio de frutos por planta (NF), massa média dos frutos (MMF), eficiência do uso da água (EUA) e a produtividade (Prod) da cultura do pepino em função da reposição hídrica (30, 60, 90, 120, 150% da ETo de Penman-Monteith multiplicado pelo Kc da cultura, ficando assim ET_{CPM}), para o cultivo realizado no ano de 2023.

Na referida tabela, é possível observar que as lâminas de irrigação apresentaram efeito significativo, com $P < 0,05$, para as variáveis: EP, NF, EUA e Prod. As variáveis CF, DF e MMF não apresentaram efeito significativo.

Tabela 8 - Análise de variância das variáveis: comprimento médio dos frutos (CF); diâmetro médio dos frutos (DF); espessura média das polpas (EP); número médio de frutos por planta (NF); massa média dos frutos (MMF); eficiência do uso da água (EUA) e produtividade (Prod.) do pepineiro irrigado, submetido a diferentes lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023.

FV	GL	CF	DF	EP	QM			
					NF	MMF	EUA	Prod
Tratamentos	4	13,48 ^{ns}	59,8 ^{ns}	25,54 ^{**}	8,84 ^{**}	0,0082 ^{ns}	92,4 ^{**}	498670205 ^{**}
Blocos	4	3,93 ^{ns}	117,69 ^{ns}	3,48 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	1,59 ^{ns}	26009441 ^{ns}
Resíduo	16	8,2	86,16	11,75	1,34	0,0029	14,59	138395666
Total	24	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		17,39	20,64	9,46	27,83	14,19	28,33	36

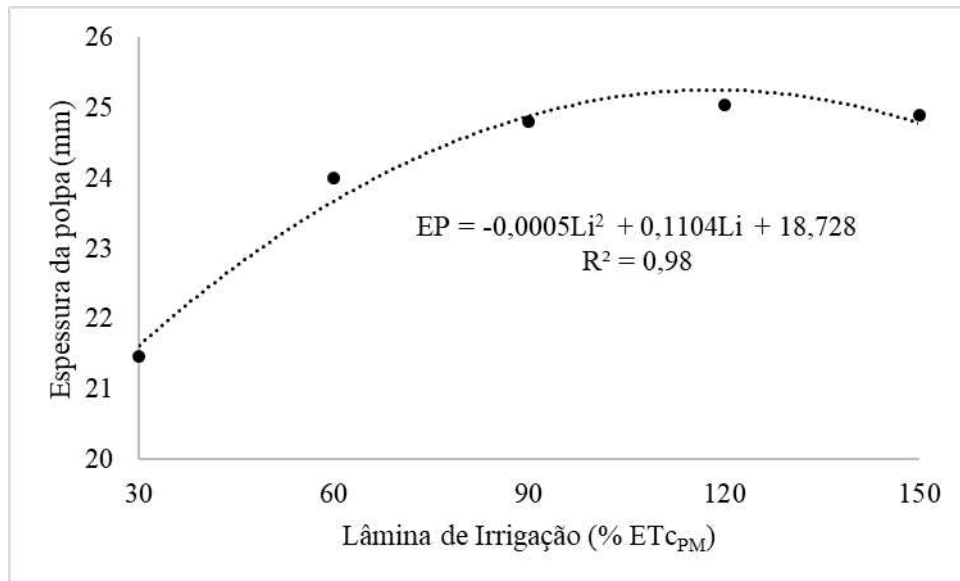
GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; ** significativo ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade pelo teste Tukey; ns - não significativo ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade.

Em razão da natureza dos tratamentos serem de caráter quantitativo, realizou-se, para as variáveis que apresentaram diferença significativa, análise de regressão para verificar o efeito dos tratamentos sobre as variáveis com significância.

O comportamento da variável EP no cultivo pode ser verificado no Gráfico 7, onde se pode observar que a variável se ajustou ao modelo polinomial quadrático com R^2 de 0,98, nota-se, também, que o acréscimo de água ao solo proporcionou maior espessura da polpa para o fruto de pepino, à medida que se elevaram as quantidades de água aplicadas até chegar a dose ótima, onde após disso aconteceu uma diminuição na EP, estima-se um valor ótimo para a EP de 24,84 cm, se aplicada reposição de 110,4% da evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (ET_{CPM}). Fonseca et al. (2021), trabalhando com a cultura do pepino sob diferentes níveis de reposição hídrica no ambiente protegido em Goiania, constataram que a variável EP apresentou tendência quadrática e máxima espessura da polpa foi alcançada aos 111,36% de reposição da evapotranspiração da cultura (ET_c) em função do conteúdo volumétrico de água com 8,08mm.

Gráfico 7 – Espessura da polpa (EP) em função de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro

irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023

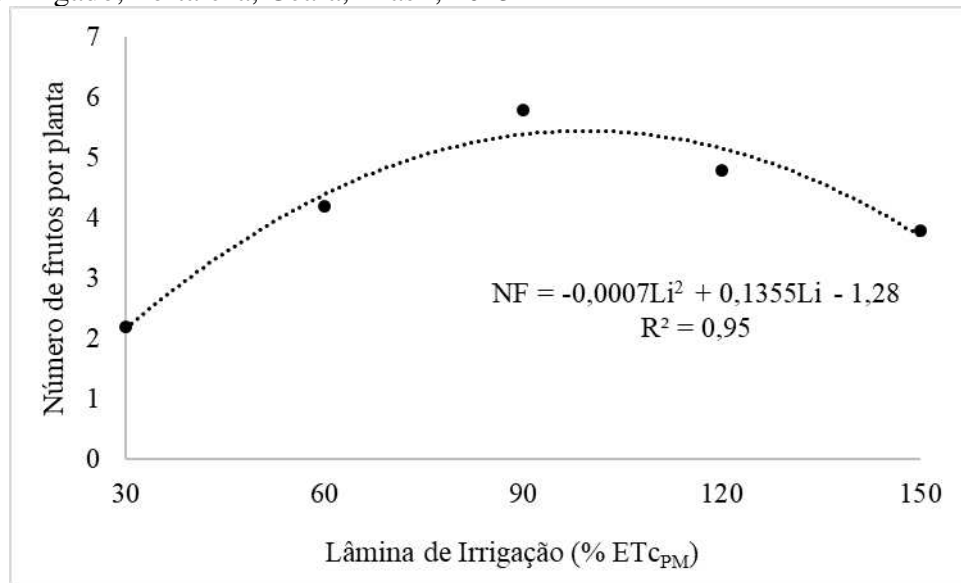


Para a variável número de frutos (Gráfico 8), as maiores quedas de rendimento foram geradas pelos tratamentos Li30 e Li150. Também, é possível perceber que a reposição hídrica acumulada de 279 mm (90% da ET_{cPM}) trouxe maior número de frutos que os outros tratamentos. Verifica-se, de acordo com a análise de variância realizada para a regressão, que o modelo que melhor explica o comportamento desta variável é o polinomial de 2º grau, com R² de 0,95.

Rahil e Qanadillo (2015) na Palestina em um ambiente protegido investigaram como diferentes regimes de irrigação afetam a eficiência do uso de água e a produtividade do pepino. Os autores concluíram que, dos tratamentos irrigação do fazendeiro, irrigação baseada no tensiômetro, irrigação com lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura e irrigação com lâmina de 70% da evapotranspiração da cultura, o tratamento que empregou a reposição hídrica de 70% apresentou maior número de frutos, resultado diferente do encontrado neste presente trabalho em que a reposição hídrica de 90% se sobressaiu aos demais. Os autores justificam que pode haver maior disponibilidade de umidade na zona radicular, o que possivelmente potencializou diversos processos fisiológicos, otimizando a absorção de nutrientes pelas plantas, aumentando a taxa de fotossíntese, o que pode ter se manifestado em um aumento no número de frutos.

Gráfico 8 – Número de frutos por planta (NF) em função de lâminas de irrigação no cultivo do

pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023

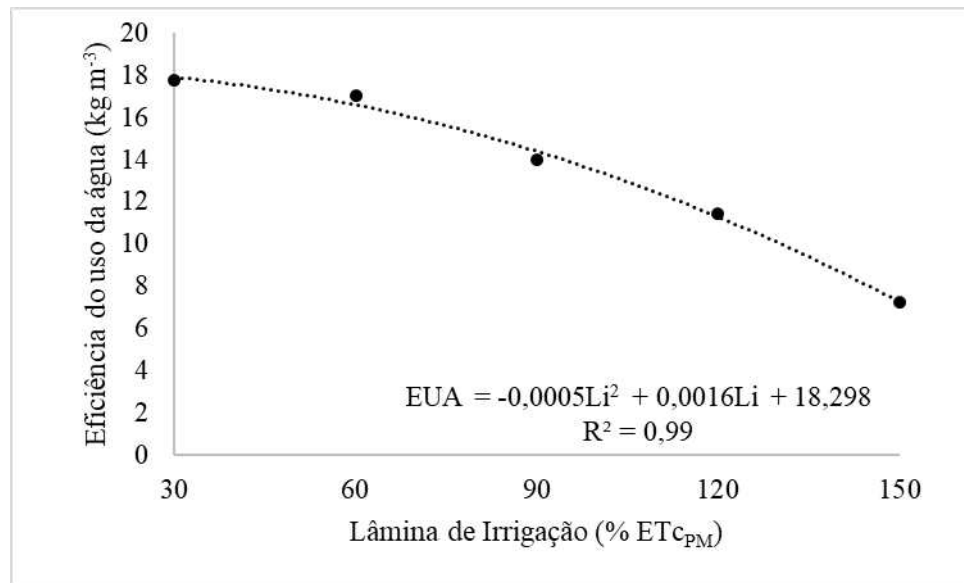


A camada de cutícula e as ceras associadas presentes nos frutos de pepino, que atuam na limitação da perda de água, exercem influência não apenas na aparência dos frutos, mas também afetam a vida útil do produto. Contudo, observa-se uma crescente preferência na indústria pelos frutos com superfícies mais lisas (GRUMET *et al.*, 2023). Consequentemente, a produção destes frutos com manejo inadequado da irrigação podem fazer com que os frutos produzidos apresentem menores quantidades de água.

A melhor eficiência do uso da água foi obtida com as menores lâminas de irrigação. O valor máximo para a EUA foi de 17,75 kg m⁻³, encontrado no tratamento Li30 e o menor valor, no tratamento Li150, com eficiência do uso da água de 7,27 kg m⁻³ (Gráfico 9). Hakkim *et al.* (2014), avaliando efeito dos níveis de irrigação por gotejamento na produtividade do pepineiro de salada em estufa com ventilação natural, constataram que é fundamental aumentar essa eficiência no uso da água para proteger os recursos naturais e o meio ambiente na busca pela segurança alimentar.

Gráfico 9 – Eficiência no uso da água (EUA) em função de lâminas de irrigação no cultivo do

pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023



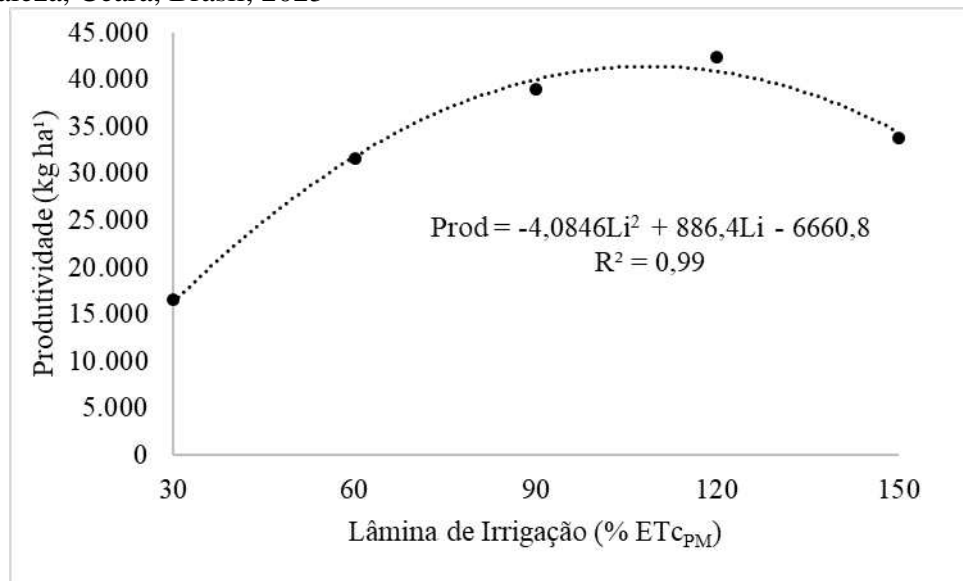
Seron *et al.* (2017) em Maringá observaram, no cultivo do pepino, que a melhor EUA foi próxima à lâmina correspondente a de 121% da ET_{cPM}, com um ganho de 21,5g planta⁻¹. Autores constataram ao fazer uma análise comparativa entre a lâmina de maior rendimento e a lâmina que gera a máxima produtividade física, que os valores de produtividade foram semelhantes e que aplicando a lâmina que proporcione a máxima produtividade para a cultura pode ser suficiente para alcançar a melhor eficiência de utilização de água.

No Gráfico 10, é possível verificar que os maiores valores observados para a produtividade foram de 42.460 e 38.963 kg ha⁻¹, obtidos respectivamente nos tratamentos Li120 e Li90. Também, é possível observar que, para os casos estudados, que o modelo polinomial quadrático foi o mais adequado, apresentando coeficiente de determinação (R^2) de 0,99.

Verifica-se que produtividade cresceu com o aumento da lâmina de água aplicada, até atingir um ponto máximo, de onde passou então a decrescer com o incremento da lâmina.

Com o modelo encontrado estimou-se o máximo valor para a variável produtividade, de 41.428 kg ha⁻¹, para uma lâmina de água de 108,5% da ET_{cPM}.

Gráfico 10 – Produtividade (Prod) em função de lâminas de irrigação no cultivo do pepineiro irrigado, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023



Zakka *et al.* (2017), ao estudarem o efeito de diferentes lâminas de água e intervalos de irrigação na produtividade e uso eficiente da água na cultura do pepino irrigado, observaram que os tratamentos com maior produtividade foram aqueles com lâmina de água de 100% e frequência de irrigação diária. As menores produtividades ocorreram nos tratamentos com 60% da lâmina de água e irrigação a cada 4 dias. Os autores concluíram que a lâmina de água de 100% teve um desempenho superior em comparação com diferentes frequências de irrigação da mesma lâmina e com lâminas menores que 100%. Resultados encontrado pelos autores foram parecidos com o observado neste estudo já que a lâmina estimada para a máxima produtividade foi de 108,5% da Etc_{PM}.

O estudo de Seron *et al.* (2017) em Maringa-PR em ambiente protegido, encontrou que a maior produtividade no cultivo de pepino japonês foi alcançada com uma lâmina de irrigação que representava 128% da evapotranspiração da cultura (Etc_{PM}). No entanto, no estudo atual, observou-se que ao ultrapassar uma lâmina de 108,5% da Etc_{PM}, a produtividade começou a diminuir. Isso sugere que há uma diferença nos resultados sobre a quantidade ideal de água necessária para maximizar a produção de pepinos em diferentes condições de estudo.

5 CONCLUSÃO

Os tratamentos em que houveram aplicação de hidrogel no solo trouxeram melhores resultados do que o tratamento sem aplicação de hidrogel.

A profundidade adequada que favoreceu o melhor desenvolvimento e produtividade dentre os tratamentos estudados foi para a aplicação de hidrogel na profundidade efetiva das raízes do pepineiro, sendo de 30cm.

Os tratamentos com uso de hidrogel na profundidade de 30cm e uso de hidrogel na profundidade de 30cm com *mulching* concomitantemente não obtiveram diferença significativa.

A lâmina de irrigação que maximizou a produtividade da cultura do pepino foi estimada em 108% da evapotranspiração de cultura, calculada com a metodologia de Penman-Monteith e multiplicada pelo Kc do pepineiro irrigado.

REFERÊNCIAS

- ABOBATTA, Waleed. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. **Adv Agr Environ Sci**. Egito, p. 59–64. 2018.
- AGUIAR, Nogueira Jesus Maria; VIANA, Araújo Vinicius Thales; AGUIAR, Vanglésio José; LIMA, Batista Jedaías; JÚNIOR, Crisóstomo Rocha Raimundo; AQUINO, Carlos Francisco; JÚNIOR, Barreto Cavalcante Hugo José **Dados Climatológicos**: Estação de Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, v. 1, p. 19. 2003.
- ALLEN, Richard G; PEREIRA, Luis D; RAES, Dirk; SMITH, Martin Crop evapotranspiration. **FAO irrigation and drainage paper**, Rome, n. 56, p. 35-38. 2006.
- ALVAREZ, Venicio Henrique Viana; RIBEIRO, Antonio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, Antonio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo; ALVAREZ, Venicio Henrique Viana, eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 21–25, 1999.
- ANVISA. Resíduos de agrotóxicos em alimentos. **Rev. Saúde Pública**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 361-363. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v40n2/28547.pdf>. Acesso em: 28 maio 2024.
- AZEVEDO, Thiago Luis Ferreira. Avaliação da eficiência do polímero agrícola de poliacrilamida no fornecimento de água para o cafeeiro (*Coffea arabica* L) cv. **Tupi**. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, Paraná. 2000. 38p. (Dissertação Mestrado).
- BAKHT, Tamana; KHAN, Ijaz Ahmad; KHAN, Ishfaq; KHATTAK, A Mateen. Weed control in pea (*Pisum sativum* L.) through mulching. **Pakistan Journal of Weed Science Research**, Pakistan, v. 15, n. 1, p. 83–89. 2009.
- BARROS, Allan Cunha; FOLEGATTI, Marcos Vinicius; SOUZA, Claudinei; SANTORO, Bruno L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba, v. 13, n. 6, p. 700–707. 2009.
- BISWAS, Sujit Kumar; AKANDA, Abdur Razzaque; RAHMAN, Md Saklbur. Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. **Plant. Soil and Environment**, Brangladesh, v. 61, n. 3, p. 97–102. 2015.
- BORTOLIN, Adriel; AOUADA, Fauze A; MOURA, Márcia R; RIBEIRO, Caue; LONGO, Elson; MATTOSO, Luiz C Application of polysaccharide hydrogels in adsorption and controlled-extended release of fertilizers process. **Journal of Applied Polymer Science**, São Paulo, v. 123, p. 2291-2298. 2012.
- BORTOLIN, Adriel; AOUADA, Fauze A; MATTOSO, Luiz C; RIBEIRO, Caue. Liberação lenta / controlada de nutrientes por meio de hidrogéis nanocompósitos modificados com altos teores de argilomineral. In: : IX Workshop de Nanotecnologia aplicada ao agronegócio. **Anais** [Embrapa Instrumentação]. São Carlos- SP, 2017. p. 508–511. 2017. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1081499/liberacao-lentacontrolada-de-nutrientes-por-meio-de-hidrogeis-nanocompositos-modificados-com-altos-teores-de-argilomineral>. Acesso em: 28 maio 2024.

BUCHMANN, Cristian; STEINMETZ, Zacharias; BRAX, Mathilde; PETH, Stephen; SCHAUMANN, Ellen. Effect of matric potential and soil-water-hydrogel interactions on biohydrogel-induced soil microstructural stability. **Geoderma**, Alemanha, v. 362, p. 114142. 2020.

BUZETTO, Fernando Alberto; BIZON, José Marcio Cossi; SEIXAS, Fernando. Avaliação de polímero adsorvente à base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, São Paulo, n. 195, p. 1–8. 2002.

CARVALHO, Agnaldo Donizete Ferreira; AMARO, Geovani Bernardo; LOPES, José Flavio; VILELA, Nirlene Junqueira; MICHEREFF FILHO, Miguel; ANDRADE, Romério. A cultura do pepino. Circular técnica, **Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento** – Embrapa, Brasília-DF, 2013.

DENICULI, Wilson; BERNARDO, Salassier; THIEBAULT, José Tarcísio Lima; SEDYAMA, Gilberto Chohaku. Uniformidade de distribuição de água em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento [Brasil]. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Minas Gerais, v. 27, n. 150, p. 155-162. 1980.

DOORENBOS, Jan; PRUITT, William Oliver; ABOUKHALED, Adib; DAMAGNEZ, Jean; DASTASE, Narayan Govind; VAN DEN BERG, Cornelis; RIJTEMA, Pieter Egbert; ASHFORD, Oliver Michael; FRÈRE, Michel. Crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 24. 1977.

DOORENBOS, Jan; KASSAM, Amir Hatan. Yield Response to water. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, Roma, n. 33. 1979.

EJAZ, Amber; BAHADUR, Vijay. Evaluation of Different Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Hybrids for Growth, Yield and Quality. **International Journal of Plant & Soil Science**, India, v. 36, n. 6, p. 486–491. 2024.

FAOSTAT. **Crops and livestock products**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 10/out/23.

FLANNERY, Robert Louis; BUSSCHER, Warren John. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, South Caroline v. 13, n. 2, p. 103–111. 1982.

FOLEGGATI, Marcos Vinícius; BLANCO, Flavio Favaro. Desenvolvimento vegetativo do pepino enxertado irrigado com água salina. **Scientia Agricola**, São Paulo v. 57, n. 3, p. 451-457. 2000.

FONSECA, Natalia Pereira. **Pepino sob níveis de reposição hídrica em ambiente protegido**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia). 27 fls, 2021. Instituto Federal Goiano. Ceres-GO, Brasil. 2021.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em:

<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/mensal>. Acesso em: 15 jan. 2022.

GRUMET, Rebecca; LIN, Ying; RETT-CADMAN, Stephanie; MALIK, Ajaz. Morphological and Genetic Diversity of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit development. **Plants**, Michigan, v. 12, n. 23. p. 1–21. 2023.

HAKKIM, V M Abdul; CHAND, Jisha. Effect of Drip Irrigation Levels on Yield of Salad Cucumber under Naturally Ventilated Polyhouse. **IOSR Journal of Engineering**, India, v. 4, n. 4, p. 18–21. 2014.

IPECE- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Anuário estatístico do Ceará. Atividades econômicas, Fortaleza, 09 out. 2023. Online. Disponível na internet: <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2015/>

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/guaraciaba-do-norte/panorama>. Acesso em: 04 dez. 2022.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal – PAM**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 01 fev. 2022.

JANOUDI, Abdul K; WIDDERS, Irvin E. Water deficits and fruiting affect carbon assimilation and allocation in cucumber plants. **HortScience**, Michigan, v. 28, n. 2, p. 98–100. 1993.

KADER, Mohammad Abdul; SENGE, Masateru; MOJID, M A; ITO, Kei. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. **Soil and Tillage Research**, Bangladesh, v. 168, p. 155–166. 2017.

KELLER, Jack; KARMELI, David. Trickle Irrigation Design Parameters. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Utah, v. 17, n. 4, p. 678–684. 1974.

LUGLI, Laynara Figueiredo; PRIETO, Ivan; CORREIA, Cynthia Cristina Martins Araújo; RUSCHEL, Ademir Roberto; QUESADA, Carlos Alberto; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; OLIVEIRA, Ivor Guilherme Soares; REZENDE, Luis Fernando Cintra; GOULART, Fernando Vieira; ALVES, Bruno José Rodrigues; NARDOTO, Adriano Martins; MARTINELLI, Luiz Antonio; SILVA, Luciano Santos; GONÇALVES, José Francisco Carvalho. Multiple phosphorus acquisition strategies adopted by fine roots in low-fertility soils in Central Amazonia. **Plant Soil**, Amazonia, v. 450, p. 49–63, 2020.

MICHOMA, Justine M; MUGWE, Jayne N; KORIR, Nicholas; MWANGI, M. Effect of Hydrogel and Mulching on Soil Moisture, Yield and Economics on Yellow Passion Fruit in Embu and Kiambu Counties, Kenya. **Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research**, Kenya, v. 10, n. 4, p. 9–21. 2023.

MONTEIRO, Rodrigo Otavio Câmara; COELHO, Rubens Duarte; MELO, Paulo César. Tavares; FERRAZ, Priscylla; CHAVES, Sérgio Weyne Paulino. Aspectos produtivos e de qualidade do melão sob gotejo subterrâneo e “mulching” plástico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, São Paulo, v. 29, n. 4. P. 453-457. 2007.

MONTEIRO, Rodrigo Otavio Câmara; COELHO, Rubens Duarte; MONTEIRO, Priscylla Ferraz. Water and nutrient productivity in melon crop by fertigation under subsurface drip irrigation and mulching in contrasting soils. **Ciência Rural**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 25-30. 2014.

NAMAGHI, Mina Nurzadeh; DAVARYNEJAD, Gholam Hossein; ANSARY, Hossein; NEMATI, Hossein; FREYZABADY, Ahmad Zarea. Effects of mulching on soil temperature and moisture variations, leaf nutrient status, growth and yield of pistachio trees (*Pistacia vera*L). **Scientia Horticulturae**, Iran, v. 241, p. 115–123. 2018.

NAVROSKI, Márcio Carlos; ARAÚJO, Maristela Machado; REININGER, Lia Rejane Silveira; MUNIZ, Marlove Fátima Brião; PEREIRA, Mariane Oliveira. Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 315–328. 2015.

NAZ, Hira; AKRAM, Nudrat Aisha; ASHRAF, Muhammad. Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis Sativus*) plants under water-deficit conditions. **Pakistan Journal of Botany**, Pakistan v. 48, n. 3, p. 877–883. 2016.

NEVES, Orlando Sílvio Caires; AVRELLA, Eduarda Demari; PAIM, Luciana Paim; FIOR, Claudimar Sidnei. Water retention in hydrogel substrates: influence of the material characteristics and the fertilizing level. **Ciência Florestal**, Porto Alegre, v. 31, n. 4, p. 1751–1767. 2021.

NYE, Peter H. & TINKER, Peter. B. The uptake properties of the root system. In: TINKER, Peter . B. & NYE, Peter . H., eds. Solute movement in the rhizosphere. New York, **Oxford University Press**, 448p. 2000.

OLADOSU, Yusuff; RAFFI, Mohd Y; AROLU, Fatai; CHUKWU, Samuel Chibuike; SALISU, Monsuru Adekunle; FAGBOHUN, Ifeoluwa Kayode; MUFTAUDEEN, Taoheed Kolawole. SWARAY, Senesie; HALIRU, Bello Sani. Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A Review. **Horticulturae**, Malasya, v. 8, p. 605. 2022.

OLIVEIRA, Eduardo Carvalho; CARVALHO, Jacinto Assunção. Análise produtiva e econômica do pepino japonês submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Minas Gerais, v. 15, p. 702-708. 2011.

PARKASH, Ved; SINGH, Sukhbir; DEB, Sanjit K; RITCHIE, Glen; WALLACE, Russel W. Effect of deficit irrigation on physiology, plant growth, and fruit yield of cucumber cultivars. **Plant Stress**, Texas, v. 1, p. 100004. 2021.

PAZ, Pedro Silva Vital; TEODORO, Eduardo Franco Reges; MENDONÇA, Fernando Campos. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 4, n. 3, p. 465–473. 2000.

PEREIRA, Antonio Roberto; VILLA NOVA, Nilson Augusto; SEDIYAMA, Gilberto Chohaku. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1997. 183 p.

PIÑEIRO, Juan; MAESTRE, Fernando T; BARTOLOMÉ, Lorenzo; VALDECANTOS, Alejandro. Ecotechnology as a tool for restoring degraded drylands: A meta-analysis of field experiments. **Ecological Engineering**, Spain, v. 61, p. 133–144. 2013.

PREVEDELLO, Celso Luiz; BALENA, Solange Pizzolato. Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Paraná, v. 24, p. 251–258. 2000.

RAHIL, Mohammed H; QANADILLO, Alia. Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. **Agricultural Water Management**, Palestine, v. 148, p. 10–15. 2015.

REIS, Adriano Valim. **Aplicações de goma arábica modificada no desenvolvimento de hidrogéis para uso como dispositivos de liberação modificada de fármacos**. Tese de doutorado (Ciências). 145 fls, 2007. Programa de Pós-Graduação em Química – Universidade Estadual de Maringá. Paraná, Brasil. 2007.

SANTOS, Roberto Elias; FERRAZ, Edimir Xavier Leal; NASCIMENTO, Antônio Henrique Cardoso; LIRA, Raquele Mendes; VASCONCELOS, Isaac Lima Simões; SANTANA, Irlândio; SÁ, Carlos André Souza. Production of irrigated cherry tomatoes in economical planting beds with mulching. **Revista Caatinga**, PERNANBUCO, v. 36, n. 4, p. 907-915, 2023.

SERON, Cássio; REZENDE, Roberto; MALLER, André; LORENZONI, Marcelo Zalin; SOUZA, Alvaro Henrique Cândido; SANTOS, Fernando André. Eficiência de utilização de água no cultivo de pepino japonês em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Maringá, v. 11, n. 8, p. 2162–2171. 2017.

SILVA, Maria Micheliana Costa; COELHO, Alexandre Bragança. Demanda por frutas e hortaliças no Brasil: Uma análise da influência dos hábitos de vida, localização e composição domiciliar. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Viçosa, v. 44, n. 3, p. 545–578. 2014.

SILVA, Raphaela Maceió; FIGUEIRÊDO, Rossana Maria Feitosa; QUEIROZ, Alexandre José Melo; FEITOSA, Regilane. Marques. Processamento e caracterização físico-química do suco misto melancia com pepino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Paraíba, v. 11, n. 3, p. 65-68. 2016.

SILVA, Wanderson Vasconcelos Rodrigues; SILVA-MANN, Renata. Agricultura de Precisão no Brasil: conjuntura atual, desafios e perspectivas. **Research, Society and Development**, Sergipe, v. 9, n. 11, p. e1979119603. 2020.

SOUZA, Elves Almeida; COELHO, Eugênio Ferreira; PAZ, Pedro Silva Vital. Distribuição da umidade num perfil de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. **Ciência e Agrotecnologia**, Bahia, v. 31, n. 4, p. 1161–1166. 2007.

TRANI, Paulo Espindola; PASSOS, Francisco Antonio; ARAÚJO, Humberto Sampaio. Calagem e adubação do pepino. **Instituto Agronomico**, São Paulo, p. 1–13. 2015.

VIGGIANO, José. Hortaliças: cultivares e sementes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.12, n.2, p.252-254, 1994.

WATANABE, Kenta; THIENYAEM, Titinal; PONYOM, Kitidet; SAENSUPO, Samran; SRIROTH, Klanarong; JAIPHONG, Thanankorn. Effects of fertilizer application depth on the above- and belowground growth of sugarcane under different water regimes and machinery performance. **Sugar Tech**, Thailand, v. 25, n. 5, p. 1092–1101. 2023.

WOFFORD Daniel James JR; KOSKI, Anthony. J. A polymer for the drought years. (on line). **Colorado Green. Aug.** Colorado, 1990.

XIAO, Qian; ZHU, Li Xia; SHEN, Yu Fang; LI, Shi Qing. Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment. **Field Crops Res.** China, p. 284–293. 2016.

ZAKKA, E J; ONWEGBUNAM, N E; DARE, A; ONWEGBUAM, Donatus Obiajulu; EMEGHARA, U U. Yield, water use and water productivity of drip-irrigated cucumber in response to irrigation depths and intervals in Kaduna, Nigeria. **Nigerian Journal of Technology**, Nigeria, v. 39, n. 2, p. 613–620. 2020.

ZHANG, Lihua; XU, Chen; TAN, Guobo; ZHAO, Hongxiang; LI, Fei; YU, Jiang; MENG, Xiangmeng; BIAN, Shaofeng. Effects of Surface Mulching on Soil Water Temperature, Physiological Characteristics and Yield of Maize. **International Journal of Plant Production**, 2023. China, v. 17, n. 2, p. 283–296. 2023.