



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

**MATEUS SANTOS MACHADO**

**APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM COENTRO E CEBOLINHA SOBRE  
ESTRESSE SALINO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**FORTALEZA**

**2020**

MATEUS SANTOS MACHADO

APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM COENTRO E CEBOLINHA SOB  
ESTRESSE SALINO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Tese apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M132a Machado, Mateus Santos.  
Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sob estresse salino da solução nutritiva / Mateus Santos Machado. – 2020.  
74 f. : il.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva.
1. Condutividade Elétrica. 2. Silício. 3. Coriandrum sativum. 4. Allium fistulosum. I. Título.  
CDD 630
-

MATEUS SANTOS MACHADO

APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM COENTRO E CEBOLINHA SOB  
ESTRESSE SALINO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Tese apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 30/06/2020

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ismail Soares  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IFBaiano)

---

Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

A minha companheira Dayse e minha filha Lua

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer e pedir desculpas as minhas filhas Ana Carolina e Ana Clara pela ausência durante o período de realização do curso.

Agradecer a minha mãe Eliete, ao meu pai André, ao meu irmão Marco André e a minha irmã Jéssica por toda a força e incentivo nesta jornada.

Agradecer aos meus tios, tias, primos, primas, cunhados e cunhadas, vó e sogra por todo o incentivo.

Agradecer ao Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva, meu orientador, pela paciência e disposição em me ajudar.

Agradecer ao Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, meu primeiro orientador, pela força e incentivo.

Agradecer ao Prof. Dr. José Amilton Santos Junior pela ajuda na definição do tema, ajustes metodológicos e desenvolvimento dos experimentos.

Agradecer ao Prof. Dr. Rodrigo Ferreira de Moraes pela ajuda na confecção dos artigos científicos.

Agradecer a Francisco Marques Filho, técnico em agricultura, que considero um doutor, pela imensa ajuda na condução dos experimentos.

Agradecer aos professores do PPGEA, Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa e Prof. Dr. José Carlos Araújo pelos ensinamentos.

Agradecer aos amigos Viana e Aureliano que fiz durante o curso de doutorado.

Agradecer ao Instituto Federal do Piauí, meu primeiro local de trabalho, em nome do nosso Reitor. Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Lima pela liberação para cursar o Doutorado.

Agradecer a todos os estagiários que me ajudaram durante a condução do experimento.

Agradecer ao CVT em Agroecologia – IFPI pelo uso dos laboratórios e equipamentos.

“GYA-TE GYA-TE / HA-RA GYA-TEI  
/ HARA SO GYA-TE / BO-JI-SOWA-KA”

## RESUMO

A hidroponia é uma opção importante para o cultivo de hortaliças com uso de águas salobras, principalmente na região semiárida, contudo são evidentes as reduções na produtividade das mesmas, sendo necessários estudos para mitigar esses impactos. Objetivou-se então com este trabalho analisar o crescimento, rendimento e composição nutricional de coentro cv. Verdão e cebolinha cv. Todo Ano, cultivadas em hidroponia, submetidas à níveis de salinidade da solução nutritiva com adubação suplementar de silicato de potássio. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos casualizados, consistindo de seis níveis de condutividades elétricas da solução nutritiva (2,3; 2,8; 3,3; 3,8; 4,3 e 4,8 dS m<sup>-1</sup>) para o coentro e (2,3; 3,3; 4,3; 5,3; 6,3 e 7,3 dS m<sup>-1</sup>) para a cebolinha e dois níveis de silicato de potássio (presença e ausência) em um fatorial 6 x 2 com quatro repetições. Foram avaliadas as seguintes características de crescimento e rendimento como: altura da planta, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, consumo hídrico total, eficiência do uso da água e os teores de nutrientes na parte aérea. Na cultura do coentro a adubação com silicato de potássio contribuiu significativamente nas características de produção com aumento de 14,33 e 14,30 % para massa de matéria fresca e das raízes respectivamente, além de reduzir os teores de sódio e cloro, contribuindo assim para redução nos danos causados pelos respectivos íons. Para a cultura da cebolinha não houve efeito da interação entres os fatores para as características estudadas. O uso do silicato de potássio aumentou em 19,18% a massa de matéria fresca da cultura. Concluiu-se portanto que para a cultura do coentro a adubação com silicato de potássio contribuiu para minimizar o efeito da salinidade nas plantas em condições hidropônicas. Na cultura da cebolinha adubação com silicato de potássio não contribui para mitigar os impactos causados pela salinidade além de reduzir os teores de cloro nas plantas.

**Palavras-chave:** Condutividade elétrica. Silício. *Coriandrum sativum*. *Allium fistulosum*.

## ABSTRACT

Hydroponics is an important option for growing vegetables using brackish waters, especially in the semi-arid region; however, reductions in their productivity are evident, and studies are needed to mitigate these impacts. The objective of this work was to analyze the growth, yield and nutritional composition of coriander cv. Verdão and chives cv. Every year, grown in hydroponics, subjected to salinity levels of the nutrient solution with supplementary potassium silicate fertilization. The treatments were distributed in a randomized block design, consisting of six levels of electrical conductivities of the nutrient solution (2.3; 2.8; 3.3; 3.8; 4.3 and 4.8 dS m<sup>-1</sup>) for coriander and (2.3; 3.3; 4.3; 5.3; 6.3 and 7.3 dS m<sup>-1</sup>) for chives and two levels of potassium silicate (presence and absence) in a 6 x 2 factorial with four repetitions. The following characteristics of growth and yield were evaluated: plant height, absolute growth rate, relative growth rate, fresh and dry mass of the aerial part and root system, total water consumption, water use efficiency and nutrient content in aerial part. In the culture of coriander, fertilization with potassium silicate contributed significantly to the production characteristics, with an increase of 14.33 and 14.30% for fresh matter and roots respectively, in addition to reducing the levels of sodium and chlorine, thus contributing to reduction in damage caused by the respective ions. For the culture of chives there was no effect of the interaction between the factors for the characteristics studied. The use of potassium silicate increased the fresh matter mass of the crop by 19.18%. Therefore it was concluded that for the culture of coriander, fertilization with potassium silicate contributed to minimize the effect of salinity on plants under hydroponic conditions. In the culture of chives, fertilization with potassium silicate does not contribute to mitigate the impacts caused by salinity in addition to reducing the levels of chlorine in plants.

**Keywords:** Electric conductivity. Silicon. *Coriandrum sativum*. *Allium fistulosum*.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2</b>	<b>HIPÓTESE E OBJETIVOS</b>	12
2.1	Hipótese	12
2.2	Objetivos	12
2.2.1	<i>Objetivo geral</i>	12
2.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	12
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	13
3.1	Qualidade de água	13
3.1.2	<i>Efeito dos sais na planta</i>	15
3.2	Hidroponia	16
3.2.1	<i>Definição, principais sistemas e princípio de funcionamento</i>	16
3.2.2	<i>Hidroponia de baixo custo</i>	19
3.2.3	<i>Solução nutritiva</i>	20
3.2.4	<i>Cultivo hidropônico de hortaliças</i>	22
3.2.5	<i>Hidroponia no Brasil e no Mundo: aspectos econômicos e sociais</i>	22
3.3	A cultura da cebolinha	23
3.3.1	<i>Taxonomia, Aspectos morfológicos e fisiológicos</i>	23
3.3.2	<i>Exigência nutricional e adubação</i>	24
3.4	A cultura do coentro	25
3.4.1	<i>Taxonomia, aspectos morfológicos e fisiológicos</i>	25
3.4.2	<i>Exigência nutricional e adubação</i>	26
3.5	Uso de silício na agricultura	27
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM COENTRO SOB ESTRESSE SALINO EM CULTIVO HIDROPÔNICO</b>	31
4.1	Introdução	33
4.2	Material e métodos	34
4.3	Resultados e discussão	38
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM CEBOLINHA SOB ESTRESSE SALINO EM HIDROPONIA</b>	50
5.1	Introdução	52
5.2	Material e métodos	53
5.3	Resultados e discussão	57
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	66
	<b>REFERÊNCIAS</b>	67

## 1 INTRODUÇÃO

A escassez de água no mundo é um problema diagnosticado, especialmente em países com grandes regiões semiáridas como o Brasil. Diante do quadro de baixa oferta de água potável, a geração de tecnologias e pesquisa que permitam o uso de águas salobras na produção de alimentos torna-se importante para o cenário agrícola. O uso de águas salobras provoca a redução no crescimento e desenvolvimento das culturas, por baixar o potencial osmótico, causando estresse hídrico além de ocasionar problemas de toxicidade e desordem nutricional (PAULUS, 2008).

Dentre os estudos com objetivo de viabilizar a utilização de águas salobras na agricultura, está a utilização de técnicas e manejo que minimizem os efeitos do estresse salino. Dentre estes manejos, está a utilização do silício como atenuador dos efeitos dos sais sobre as plantas (SIVANESAN *et al.*, 2011). Apesar de não ser considerado um elemento essencial, o silício tem apresentado vários efeitos benéficos para as plantas, dentre os quais está a redução da transpiração, maior teor de clorofila, aumento da resistência mecânica das células que torna as folhas mais eretas e, assim, aumenta a taxa fotossintética e a absorção de CO<sub>2</sub>. Além disso, está envolvido no aumento da resistência a pragas e doenças, pela formação de uma barreira mecânica (LIMA *et al.*, 2011).

Outra tecnologia que permite o uso de água com maiores teores de sais para produção de alimentos é a hidroponia. Essa possibilita a obtenção de produtos de boa qualidade e de maior uniformidade com menor gasto de água (GUALBERTO *et al.*, 1999). Além de favorecer maior rendimento por área, menor incidência de pragas e doenças, maior facilidade de execução dos tratamentos culturais, melhor programação de produção e ciclos mais curtos (MARTINEZ; BARBOSA, 1996).

Destaca-se que, praticamente, em todos estados brasileiros cultiva-se hortaliças em hidroponia, tendo como culturas principais alface, rúcula, pimentão, morango e tomate. Outras hortaliças estão restritas a pequenas áreas experimentais ainda sem representatividade no mercado, como é o caso do agrião, coentro, cebolinha, salsinha e melão (TEXEIRA, 1996).

Uma das grandes desvantagens do sistema hidropônico é o elevado custo inicial de implantação principalmente na aquisição de casas de vegetação e na aquisição do conjunto hidráulico para a produção das culturas. No contexto de tecnologias adaptadas para a agricultura familiar deve-se buscar sistemas de baixo custo mais adaptados à realidade do pequeno produtor rural pois segundo BRASIL (2017) estes são aproximadamente 4,4 milhões de famílias agricultores, o que representa 84% dos estabelecimentos rurais brasileiros, além de vir dela 38%

do valor bruto da produção, respondendo por sete em cada dez postos de trabalho no campo além de produzir mais de 50% dos alimentos da cesta básica brasileira.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 Hipótese**

O uso de silicato de potássio na solução nutritiva contribuirá para reduzir os efeitos deletérios da salinidade no cultivo hidropônico do coentro e da cebolinha.

### **2.2 Objetivos**

#### ***2.2.1 Objetivo geral***

Estudar o efeito do uso de silicato de potássio na redução dos efeitos deletérios provocados pelo estresse salino nos componentes de produção das culturas do coentro e da cebolinha cultivadas em hidroponia.

#### ***2.2.2 Objetivos específicos***

- Determinar os efeitos de diferentes concentrações salinas da solução nutritiva nos componentes de produção e na concentração de nutrientes na parte aérea do coentro e da cebolinha.
- Determinar se o coentro e a cebolinha são responsivas a adubação com silicato de potássio.
- Determinar o efeito da adubação com silicato de potássio na mitigação dos efeitos da salinidade da solução nutritiva nas culturas de coentro e cebolinha.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Qualidade de água

Segundo a Resolução nº 357, de 17 de março 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – (CONAMA) (CONAMA, 2005) as águas podem ser classificadas de acordo com a salinidade e a composição iônica da mesma. Esta classifica as águas em: águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰; águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰; águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30‰. Nas classes de salinidade há ainda a classificação dos usos possíveis da água de acordo com a composição iônica da mesma variando desde o consumo humano até à navegação e harmonia paisagística.

Segundo dados da FAO (FAO, 2016) no ano de 2010 no mundo foi extraído um total de água de 4001 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo utilizado na agricultura 2769 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, na indústria 769 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e doméstico, 644 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. No Brasil segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2017) o total de água consumida no país é 1109 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> nas seguintes atividades: irrigação (67,2%), abastecimento animal (11,1%), indústria (9,5%), abastecimento urbano (8,8%), abastecimento rural (2,4%), mineração (0,8%) e termelétricas (0,3%).

O Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. Os líderes mundiais são a China e Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada. Segundo o Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada no Brasil no ano de 2015 foi de 6,95 Mha. Estima-se ainda a incorporação de 3,14 Mha irrigados, média de pouco mais de 200 mil hectares ao ano, aproximando o país da área total de 10,09 Mha irrigados em 2030. Esse incremento corresponderia ao aumento de 45% sobre a área atual e ao aproveitamento de 28% do potencial efetivo estimado (ANA, 2017).

No Brasil há uma desigualdade tanto na distribuição de água quanto na sua qualidade. Enquanto no norte do Brasil há uma elevada disponibilidade hídrica e águas de boa qualidade; há escassez desse recurso, sobretudo na região semiárida do Nordeste que corresponde a 58% da região. A água utilizada na irrigação nesta região apresenta em grande parte alto teor de sais, tanto em águas superficiais como subterrâneas como nos açudes de pequeno e médio porte (superficiais) e poços (água subterrâneas). Além disso, a disponibilidade da água para consumo humano e para a prática agrícola vem sendo gradativamente reduzida tanto em qualidade como em quantidade, fazendo assim necessário o uso alternativo de água de qualidade inferior para atender a demanda da irrigação agrícola nessas regiões (SILVA *et al.*, 2014).

Toda água usada na irrigação contém sais dissolvidos. O efeito destes sais sobre as características químicas e físicas de solos irrigados, sobre a planta e sob o sistema de irrigação é de grande importância para manutenção da capacidade produtiva do sistema agrícola (CORDEIRO, 2001).

A qualidade da água para irrigação está relacionada a seus efeitos prejudiciais aos solos e às culturas, requerendo muitas vezes técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados à sua utilização. Os problemas causados pela qualidade da água podem ser resumidos nos seguintes efeitos principais: salinidade, permeabilidade do solo e toxidez às plantas cultivadas (AYERS; WESTCOT, 1976). Em se tratando de irrigação localizada devem ser avaliados também o risco potencial de obstrução dos emissores (HOLANDA, 2016).

O efeito da salinidade, que é medida pela condutividade elétrica da água ( $CE_a$ ), é de natureza osmótica, reduzindo a absorção de água pelas plantas e afetando diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade que é medida pela porcentagem de sódio trocável (PST), pela razão de adsorção de sódio (RAS) e pela relação RAS x salinidade, provoca danos nas propriedades físico-químicas do solo provocando problemas de infiltração (HOLANDA, 2016).

A toxicidade, diz respeito aos efeitos de toxidez pelo excesso de Cloro (Cl), Sódio (Na) e Boro (B) sobre as plantas. A magnitude do dano depende, além da concentração do íon, do tempo de exposição, da sensibilidade das plantas, do uso da água pelas culturas e do tipo de irrigação. Outro parâmetro importante é o teor de nitrogênio que quando elevado pode causar desequilíbrio nutricional, aumentando a suscetibilidade às doenças foliares e diminuindo a conservação pós-colheita dos frutos (HOLANDA *et al.*, 2016).

Com relação a salinidade a classificação mais usada é a proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos coordenada por Richards (1954) onde a água é classificada de acordo com a condutividade elétrica. A mesma recebe denominações C1, C2, C3 e C4 dependendo se a salinidade está: baixa, média, alta ou muito alta.

Quanto a sodicidade a classificação de Richards (1954) é a mais utilizada. Sendo esta modificada nas classes de salinidade do UCCC (PIZARRO, 1985) e nas classes de sodicidade/infiltração por Ayres; Westcot (1991).

Quanto a toxicidade dos íons Cloro, Sódio e Boro, entre seus efeitos, pode-se destacar: o desequilíbrio nutricional causado pelo teor de nitrogênio nas plantas e o surgimento de obstruções em sistemas de irrigação localizados. A classificação mais utilizada atualmente é a proposta por Ayres; Westcot (1991).

As diferentes espécies e cultivares de plantas respondem aos efeitos negativos da salinidade, havendo para cada espécie ou cultivar um limite tolerável de salinidade, que não causa redução na produtividade potencial a partir do qual a produtividade passa a diminuir, a medida que se incrementa a salinidade do solo (HOLANDA, 2016).

A tolerância e a sensibilidade das plantas à salinidade dependem, sobretudo, do tipo de sal, do método e da frequência de irrigação e das condições climáticas (RHOADES *et al.*, 2000).

Com base na tolerância e na sensibilidade das plantas à salinidade, estas são classificadas em glicófitas e halófitas. As glicófitas representam o grupo das plantas cultivadas que, na sua maioria, são as menos tolerantes aos efeitos dos sais, enquanto as halófitas compõem o grupo de plantas que acumulam grande quantidade de NaCl em seus tecidos e até podem se beneficiar do excesso de sódio.

### **3.1.2 Efeito dos sais na planta**

O efeito do estresse salino sobre as plantas é consequência de dois componentes distintos: do componente osmótico resultante da elevada concentração de solutos na solução do solo, que provoca um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico e do componente iônico decorrente dos elevados teores de sódio (Na) e cloro (Cl), e da alteração na relação Na / K (MENDES *et al.*, 2011).

A adição de 100 mM de NaCl a solução nutritiva no cultivo hidropônico de tomate reduziu a biomassa foliar, a taxa de crescimento das folhas, o teor de K nas folhas e de oxalato, e aumentou o acúmulo de NaCl nas folhas, da relação Na / K nas folhas, na atividade das enzimas (Malato desidrogenase (MDH), fumarase, fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC), citrato sintase (CS), isocitrato desidrogenase (ICDH), ácidos orgânicos (citrato e malato) (TORRE-GONZALEZ, *et al.*, 2017).

O uso de quatro níveis de salinidade da água (1,45; 3,80; 6,08 e 8,48 dS m<sup>-1</sup>) no preparo da solução nutritiva para o cultivo hidropônico de manjeriço contribuiu para: redução na altura de planta, redução nas massas de matéria fresca e seca da parte aérea, reduções no teor de água da parte aérea e redução no acúmulo de massa de matéria seca pela planta (MST) quando comparou-se a salinidade da água 8,48 com a 1,45 dS m<sup>-1</sup> (BIONE, *et al.*, 2014).

Os estudos realizados por Oliveira *et al.* (2014) com quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 3,5 e 5,0 dS m<sup>-1</sup>) na cultura do maxixe cultivado em vasos em casa de vegetação mostram que a resposta da cultura do maxixeiro à salinidade da água de irrigação

foi negativa e significativa, para todas as características: número de folhas (NF), comprimento do ramo principal (CRP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF), caule (MSC), frutos (MSFR) e total (MST), número de frutos (NFR) e produção) analisadas.

A tolerância da rúcula à salinidade da solução nutritiva através de nove soluções nutritivas salinas (1,8; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 10,5 dS m<sup>-1</sup>) obtidas com a adição de NaCl à água, Silva et al., (2013) mostram que houve redução no acúmulo de massa fresca, redução no acúmulo de massa seca, redução na massa seca de raiz e um aumento da relação massa seca de raiz/parte aérea.

Avaliando o efeito de diferentes níveis de salinidade (1,70; 2,28; 2,60; 3,11; 4,08; 6,03; 8,12; 10,15; 12,10; e 14,10 dS m<sup>-1</sup>) da solução nutritiva no cultivo hidropônico de berinjela, Bosco et al., (2009) concluíram que o aumento da salinidade da solução nutritiva proporcionou uma resposta negativa e significativa na produção de biomassa da parte aérea, taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, transpiração, concentração interna de CO<sub>2</sub> e condutância estomática. Entretanto, diferenças significativas não foram evidenciadas entre as CE de 1,7 e 6,03 dS m<sup>-1</sup>, para a produção de matéria seca de raiz e parte aérea e área foliar.

## **3.2 Hidroponia**

### ***3.2.1 Definição, principais sistemas e princípio de funcionamento***

O termo hidroponia é de origem grega: Hydro = água e Ponos = trabalho, cuja junção significa trabalho em água. Trata-se de uma técnica alternativa de cultivo, na qual o solo é substituído pela solução nutritiva onde estão contidos todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Esta técnica é, também, conhecida como cultivo sem solo (SEDIYAMA; PEDROSA, 1999).

Há, atualmente, em uso no mundo, grande número de diferentes métodos hidropônicos. A escolha e qual utilizar depende das necessidades do interessado e das condições locais. Todos, entretanto, tem em comum os mesmos princípios básicos e o mesmo objetivo final: o crescimento de plantas na ausência de terra e matéria orgânica. Desde que se disponha de um pequeno suprimento de água, as unidades hidropônicas, tanto pequenas quanto grandes, podem ser montadas em vilas e cidades para o entretenimento e proveito das populações urbanas. Da mesma maneira, povos que vivem em desertos ou em terras áridas poderão criar plantas saudáveis e atraentes em quantidade, mesmo nas condições de baixa fertilidade, como é comum nessas regiões (DOUGLAS, 1987).

O sistema hidropônico apresenta as seguintes vantagens e desvantagens (SILVA; MELO, 2003). Como vantagens podemos citar:

- a) Produção de melhor qualidade: pois as plantas crescem em um ambiente controlado, procurando atender as exigências da cultura e com isso o tamanho e a aparência de qualquer produto hidropônico são sempre iguais durante todo o ano;
- b) Trabalho mais leve e limpo: já que o cultivo é feito longe do solo e não são necessárias operações como arações, gradagens, coveamento, capinas, etc;
- c) Menor quantidade de mão de obra: diversas práticas agrícolas não são necessárias e outras, como irrigação e adubação, são automatizadas;
- d) Não é necessária rotação de cultura;
- e) Alta produtividade e colheita precoce: como se fornece às plantas boas condições para seu desenvolvimento não ocorre competição por nutrientes e água, e além disso, as raízes nestas condições de cultivo não empregam demasiada energia para crescer antecipando o ponto de colheita e aumentando a produção;
- f) Menor uso de agrotóxicos: como não se emprega solo, os insetos e microrganismos de solo, os nematoides e as plantas daninhas não atacam, reduzindo a quantidade de defensivos utilizada;
- g) Mínimo desperdício de água e nutrientes: já que o aproveitamento dos insumos em questão é mais racional;
- h) Maior higienização e controle da produção: além do cultivo ser feito sem o uso de solo, todo produto hidropônico tende a ser vendido embalado, não entrando em contato direto com mãos, caixas, veículos, etc;
- i) Melhor apresentação e identificação do produto para o consumo: na embalagem utilizada para acondicionamento dos produtos hidropônicos pode-se identificar a marca, cidade de origem, nome do produtor ou responsável técnico, características do produto, etc;
- j) Melhor possibilidade de colocação do produto no mercado: por ser um produto de melhor qualidade, aparência e maior tamanho, torna-se um produto diferenciado, podendo agregar a ele melhor preço e comercialização mais fácil;
- k) Maior tempo de prateleira;
- l) Pode ser realizado em qualquer local: uma vez que seu cultivo independe da terra, pode ser implantado mais perto do mercado consumidor.

Como desvantagens podemos citar:

- a) Os custos iniciais são elevados, devido à necessidade de terraplenagens, construção de casas de vegetação, mesas, bancadas, sistemas hidráulicos e elétricos e aquisição de equipamentos (CARMO JÚNIOR, 2003).
- b) Como é um sistema fechado, com alta população de plantas, poucos indivíduos doentes podem contaminar parte da produção (CARMO JÚNIOR, 2003).
- c) Necessidade de mão de obra especializada para um correto manejo do sistema e para manter um programa efetivo e menos agressivo à saúde e ao ambiente de controle de pragas e doenças (CARMO JÚNIOR, 2003; TEIXEIRA, 1996).
- d) O balanço inadequado dos nutrientes na solução nutritiva e a sua posterior utilização podem causar sérios problemas às plantas (CASTELLANE; ARAÚJO, 1995).

Existem vários sistemas de cultivo hidropônicos que diferem entre si quanto à forma de sustentação da planta (meio líquido e substrato), ao reaproveitamento da solução nutritiva (circulantes ou não circulantes), ao fornecimento da solução nutritiva (contínua ou intermitente). Quanto ao reaproveitamento da solução nutritiva, os sistemas hidropônicos são classificados em abertos e fechados. No primeiro caso, a solução nutritiva é aplicada uma única vez às plantas e posteriormente descartada, assemelhando-se à fertirrigação. No sistema fechado, a solução nutritiva aplicada é recuperada, e reutilizada, sendo periodicamente corrigida a composição da solução nutritiva, seja através da adição de água, ou de nutrientes minerais (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

Hoje dispõem-se de diversos tipos de hidroponia, como: hidroponia de aeração estática (floating), aeroponia, cultivo por submersão e drenagem (flood and drain), cultivo com substratos e a técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes.

O NFT é o tipo de hidroponia mais utilizada no Brasil e consiste em um sistema, onde as plantas são cultivadas em canais de cultivo por onde a solução nutritiva circula, intermitentemente, em intervalos definidos e controlados por um temporizador. As raízes das plantas ficam apenas parcialmente submersas na lâmina de solução nutritiva que circula, de forma a permitir a respiração normal das raízes. Existem no mercado perfis hidropônicos próprios para este sistema de cultivo, e também podem ser utilizados tubos de PVC inteiros ou cortados ao meio, longitudinalmente (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

Para o funcionamento dos sistemas de cultivo descritos acima é necessário a aquisição de um conjunto hidráulico composto de: reservatório, motobomba e encanamentos, bancadas ou mesas de cultivo, canais de cultivo e regulador de tempo ou temporizador. A escolha do sistema de cultivo implicará na aquisição de diferentes componentes para o conjunto hidráulico.

Os reservatórios ou tanques de solução podem ser construídos de diversos materiais, como plástico PVC, fibra de vidro ou de acrílico, fibrocimento e alvenaria. Os tanques de plástico PVC e de fibra tem sido os preferidos devido ao menor custo, facilidade de manuseio e, por serem inertes. A moto bomba e os encanamentos têm a função de levar a solução nutritiva às bancadas em quantidade suficiente para a irrigação das raízes, bem como conduzir a solução de volta ao tanque após a passagem pelas bancadas. As bancadas para hidroponia são compostas de suportes de madeira ou outro material formando uma base de sustentação para os canais de cultivo, que podem ser de diversos tipos. Também fazem parte da bancada os materiais para sustentação das plantas que são colocados sobre os canais. Os canais de cultivo, por onde escoar a solução nutritiva são determinantes para o sucesso do sistema hidropônico. A conformação do canal, sua profundidade e largura influem na qualidade do produto final colhido e diversos são os tipos de canais que podem ser utilizados. Podem ser utilizados os seguintes canais: Filme de polietileno/arame, telhas de amianto, tubos de PVC, canais individuais, Floating ou Piscina (DFT) e telhas (quando usa-se substratos). O último componente do sistema hidráulico é o regulador de tempo ou temporizador que comanda a circulação da solução nutritiva (FURLANI *et al.*, 2009).

### **3.2.2 Hidroponia de baixo custo**

A hidroponia de baixo custo, nada mais é do que a utilização da técnica da hidroponia de forma adaptada à realidade do produtor, especialmente, agricultores familiares, distribuídos em comunidades difusas pelo semiárido brasileiro. Devem possuir eficiência na utilização da água, energia, espaço e mão de obra, bem como ser construído com materiais disponíveis na propriedade ou de fácil acesso ao produtor, visando potencializar um processo alternativo de produção, dentro de métodos que vem sendo abordados por alguns pesquisadores e aplicada a diversas culturas (LUZ *et al.*, 2012; SANTOS JUNIOR *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2011).

Em contrapartida, algumas desvantagens são encontradas no uso dos sistemas hidropônicos convencionais, principalmente quando esses são intrínsecos à comunidades

difusas do Semiárido Brasileiro, tais como a necessidade de mão de obra especializada, alto custo inicial em razão do nível tecnológico exigido; problemas relacionados a defasagem de energia elétrica, o que provoca um expressivo índice de risco de perda da cultura e de acompanhamento permanente em função da solução nutritiva que requer cuidados especiais de manejo, assim como questões de mercado, incompatíveis com a agricultura familiar (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2016).

Estudou-se o manejo de águas salinas e residuárias na produção de flores de girassol em sistema hidropônico para regiões semiáridas e utilizou um protótipo hidropônico tipo “Pirâmide” constituído de um suporte de madeira impermeabilizada com tinta a óleo, com dimensões de 6 x 1,40 m, projetado com capacidade de suporte para 12 tubos de PVC de 6 m de comprimento e 100 mm de diâmetro. Nesses tubos foram perfuradas “células” circulares de 60 mm de diâmetro, espaçadas 20 cm, de modo equidistante, considerando-se o eixo central de cada célula. Acoplou-se aos tubos, joelhos de mesma bitola e, a estes, uma torneira para saída de água, num sistema “tipo vertedouro” que induzia a existência de um nível constante de 4 cm de líquido dentro do tubo, em toda a sua extensão disponibilizando, equitativamente, a solução para todas as plantas. Na saída dos joelhos colocou-se uma “luva hidráulica” perfurada que garantisse a troca gasosa por ocasião da queda de água de um tubo para o outro. O autor concluiu que o protótipo hidropônico utilizado disponibilizou uniformemente água e nutrientes às plantas, as quais produziram flores uniformes e com características similares de pós-colheita (SANTOS JUNIOR, 2013).

### ***3.2.3 Solução nutritiva***

A solução nutritiva é o meio pelo qual os nutrientes previamente dissolvidos em água, são colocados à disposição das plantas e, é tida como uma das partes mais importantes de todo o sistema hidropônico, sendo que o mau uso desta pode acarretar sérios prejuízos para as plantas (MARTINEZ; SILVA FILHO, 2006).

A solução nutritiva ideal para cada espécie vegetal pode ser sugerida a partir da determinação da composição química de plantas vigorosas da espécie com que se pretende trabalhar, em seus diversos estádios de desenvolvimento. Toda solução nutritiva deve conter os macro e micronutrientes minerais essenciais, dissolvidos em água em quantidade e proporção balanceada para atender às necessidades da espécie a se cultivar, além de apresentar um pH adequado à espécie a ser cultivada (MARSCHNER, 1995).

Os principais fatores que devem ser levados em consideração para se obter uma solução nutritiva de qualidade, são: a temperatura da solução ideal para as plantas cultivadas em hidroponia está na faixa de 18 a 24 °C no verão e 10 a 16 °C no inverno. Temperaturas muito acima ou abaixo desses limites causam danos à planta, pois as plantas têm dificuldade em absorver nutrientes em temperaturas extremas; é preciso manter a solução nutritiva oxigenada, para manter a absorção de nutrientes pelas raízes; o controle da condutividade elétrica é de grande importância, pois determina quanto de adubo há na solução (quantidade de íons). Quanto mais íons tivermos na solução, maior será a condutividade elétrica. As medidas ideais da solução ficam na faixa de 1,5 a 3,5 dS m<sup>-1</sup> e o controle do pH da solução nutritiva é importante pois interfere na sobrevivência das plantas e na disponibilidade dos minerais contidos na solução nutritiva. As plantas têm o seu desenvolvimento máximo entre pH 5,5 a 6,5 (FURLANI *et al.*, 1999).

A composição ideal da solução nutritiva depende não somente das concentrações dos nutrientes, mas também de outros fatores ligados ao cultivo, incluindo-se o tipo ou o sistema hidropônico, os fatores do ambiente, a época do ano (duração do período da luz), o estágio fenológico, a espécie vegetal e o cultivar em produção (FURLANI *et al.*, 2009). Atualmente é possível encontrar na literatura diversas formulações de soluções nutritivas, algumas, específicas para a espécie que se deseja cultivar.

Ao longo dos anos, muitas formulações têm sido empregadas para as soluções nutritivas. As primeiras formulações, desenvolvidas por Knop, na Alemanha, incluíam somente KNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> e sal de ferro. Naquela época, acreditava-se que tal solução nutritiva continha todos os minerais exigidos pelas plantas, mas aqueles experimentos foram conduzidos com produtos químicos contendo como impureza, outros elementos, hoje reconhecidos como essenciais, como boro ou molibdênio (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em seus estudos em nutrição mineral de plantas, Hoagland; Arnon (1950) desenvolveram duas soluções nutritivas que têm sido usadas amplamente em laboratórios por todo o mundo. A solução 1 fornece nitrato como a única fonte de nitrogênio, enquanto que a solução 2, contém amônio e nitrato, para melhor controle de pH (EPSTEIN; BLOOM, 2006). A solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) também foi adaptada para ser usada em experimentos com subtração de nutrientes minerais essenciais, com o objetivo acadêmico de estudar os sintomas de deficiência nutricional.

Outros autores (CARRASCO; IZQUIERDO, 1996; FURLANI, 1999; RESH, 1993, PAPADOPOULOS, 1991; PAPADOPOULOS, 1994) também dedicaram suas pesquisas a desenvolver receitas para o preparo de soluções nutritivas para diversas culturas em hidroponia.

Para diversas hortaliças folhosas o Instituto Agronômico de Campinas tem uma proposta de preparo e manejo de solução nutritiva para cultivo hidropônico, destinada para diversas espécies de plantas e já utilizada por muitos produtores em escala comercial (FURLANI, 1999). O produtor pode preparar sua própria solução nutritiva utilizando sais ou fertilizantes simples, de maneira fácil e rápida.

É importante salientar que a quantidade fornecida de N e P pode variar, dependendo da qualidade do fertilizante MAP (fosfato monoamônio), podendo-se optar entre o comum (22% de P) ou o purificado (26% de P). Devido às pequenas quantidades utilizadas, os micronutrientes podem ser fornecidos no preparo da solução inicial, através da alíquota de 100 mL de uma solução estoque contendo em um litro dez vezes as quantidades recomendadas de cada sal de micronutriente, com exceção do ferro que deve ser fornecido separadamente (FURLANI, 1999).

### ***3.2.4 Cultivo hidropônico de hortaliças***

Por princípio, todas as espécies vegetais podem ser cultivadas hidroponicamente, no entanto, em termos agronômicos e econômicos, as espécies mais adequadas ao cultivo hidropônico são as de pequeno porte. Na literatura há relatos das mais diversas espécies cultivadas em sistema hidropônico em escala comercial: hortaliças (alface, tomate, pepino, pimentão, repolho, couve, etc.), condimentares (cebolinha, coentro, manjeriço, mostarda, pimenta, salsa, etc.), medicinais (agrião, alecrim, alfavaca, arruda, aspirina, bálsamo, boldo, camomila, erva-doce, gengibre, hortelã, malva, etc.), ornamentais (antúrio, crisântemo, hortências, rosas, orquídeas, ores em geral, etc.), frutíferas (uva, melão, morango, melancia, etc.), forrageiras (milho, sorgo, cevada, alfafa, trigoilho, milheto, azevém, etc.) (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012). Hoje no Brasil as principais culturas cultivadas via hidroponia são: alface, morango, tomate e rúcula, devido ao seu valor agregado e ao curto tempo de cultivo.

### ***3.2.5 Hidroponia no Brasil e no Mundo: aspectos econômicos e sociais***

No Brasil não há dados oficiais sobre a produção hidropônica. Há, entretanto, sobre o cultivo protegido. Este engloba a produção em estufas, casas de vegetação e/ou viveiros que pode ser hidropônica, em solo e em substrato.

Nas últimas duas décadas (1990 e anos 2000), a adoção do cultivo protegido se expandiu rapidamente pelo mundo (SILVA *et al.*, 2014). Na década de 1990, estimativas

indicavam uma área de 716 mil hectares com estufas; em 2010, já eram 3,7 milhão de hectares (também com estufas). A maior parte desses plantios é de hortaliças, e a China concentra a maior área de cultivos protegidos – em 2010, eram 3,3 milhões de hectares de estufa. Naquele país, a propósito, a produtividade das hortaliças em estufas é o dobro da realizada em campo aberto.

Apesar de ter área de estufas bastante inferior à dos países que lideram o ranking de cultivo protegido no mundo, o Brasil lidera a posição quando se compara com os países da América do Sul. Segundo o presidente do Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura (Cobapla), o engenheiro agrônomo Antonio Bliska Junior, o Brasil tem 22 mil hectares de cultivo protegido (túneis e estufas), nos quais são produzidas hortaliças, flores e viveiros. Metade dessa área, cerca de 11 mil hectares, estão no estado de São Paulo (SILVA *et al.*, 2014).

Não há dados oficiais sobre a área de cultivo protegido destinada a hortaliças, mas, em 2007, o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT) publicou um dossiê técnico elaborado pelo Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília (CDT/UnB) onde era estimada em 2 mil hectares. Nessa área de plantio protegido predominavam pimentão, tomate, pepino e alface, sendo está última principalmente por meio da hidroponia. Aquela estimativa se baseou em informações coletadas com universidades e instituições ligadas à atividade (RODRIGUES, 2015).

### **3.3 A cultura da cebolinha**

#### ***3.3.1 Taxonomia, Aspectos morfológicos e fisiológicos***

A cebolinha (*Allium fistulosum* L.) possui folhas alongadas e tubulares, macias, aromáticas e de alto valor condimentar, muito apreciadas pela população humana. As cultivares mais conhecidas são Todo Ano, Futonegui e Hossonegui (FILGUEIRA, 2008; HEREDIA *et al.*, 2003).

É uma cultura pouco estudada, apesar de ser bastante cultivada no Brasil. Sua origem é o Oriente ou Sibéria, sendo na Idade Média difundida para a Europa (HEREDIA *et al.*, 2003). Foi introduzida no Brasil por imigrantes portugueses, por ser um condimento apreciado pela população.

A cebolinha tem folhas cilíndricas e fistulosas, com 30 a 50 cm de altura, de coloração verde escura, tendendo para o glauco. Produz pequeno bulbo cônico, envolvido por

uma película rósea, com perfilhamento e formação de touceira (FILGUEIRA, 2008). É considerada como cultura perene com faixa de temperatura média para o cultivo entre 8 e 22 °C, suportando frios prolongados e existindo cultivares que resistem bem ao calor, vegeta melhor em condições amenas, apresentando maior perfilhamento nos plantios de fevereiro a julho regiões produtoras do Brasil (MAKISHIMA, 1993).

O rebrotamento é aproveitado para novos cortes, podendo um cultivo ser explorado por dois a três anos, principalmente quando são conduzidos em condições de clima ameno. Na comercialização para consumo ao natural, ela aparece só ou formando um conjunto com a coentro (*Coriandrum sativum* L.), o popular cheiro-verde (MAKISHIMA, 1993; FILGUEIRA, 2008).

A colheita da cebolinha inicia-se entre 55 e 60 dias após o transplântio ou entre 85 e 100 dias após a sementeira, quando as folhas atingem de 0,20 a 0,40 m de altura. O rebrotamento é aproveitado para novos cortes, podendo o cultivo ser explorado por dois a três anos, principalmente quando são conduzidos em condições de clima ameno (MAKISHIMA, 1993; FILGUEIRA, 2008).

### **3.3.2 Exigência nutricional e adubação**

Avaliando-se a nutrição mineral e a carência de macronutrientes em cebolinha determinou-se a marcha de absorção dos nutrientes para o ciclo da cultura (BELFORT; HAAG, 1983). Na fase inicial, a absorção de nutrientes, calculada para a produção de folhas seguiu a ordem:  $K > N > Ca > Mg > S > P > B$ . A ordem na absorção repetiu-se para a fase de rebrota, com respeito as folhas, sendo o potássio o elemento mais extraído, seguido por nitrogênio e cálcio. Quanto aos bulbos, verificaram-se mudanças na ordem:  $N > K > P > Ca > Mg = S > B$ . Nas raízes ficou evidenciada a importância do fósforo e do boro, sendo a ordem  $P > K > N = Ca > Mg > B$ . Os autores concluíram que a cebolinha pode ser considerada pouco exigente quanto a nutrição, se comparada a outras aliáceas como alho e cebola, extraído por hectare, para população de 200.000 plantas (25 x 20 cm), 12,2 kg de N, 3,8 kg de P, 11,4 kg de K, 3,2 kg de Ca, 2,4 kg de Mg, 1,5 kg de S e 16,9 g de B.

Para o cultivo de cebolinha recomenda-se no plantio uma dosagem de adubação orgânica de 30 toneladas por hectare de esterco bovino ou um terço no caso de esterco de galinha. Recomenda-se também utilizar 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e com relação ao fósforo e o potássio recomenda-se seguir a tabela 3. A adubação com aos micronutrientes, principalmente o boro e o zinco, depende do histórico da área e da exigência da planta. Recomenda-se ainda na adubação

de cobertura utilizar preferencialmente o sulfato de amônia, na dosagem de 20 g.m<sup>-2</sup>, aos 15 dias após o pegamento das mudas e repetir esta operação a cada 15 dias, vindo o estágio nutricional das plantas (SEBRAE, 2011).

Tabela 1 - Recomendação de adubação mineral para as culturas coentro, salsinha e cebolinha para produção em latossolos no Distrito Federal (kg ha<sup>-1</sup>).

Fósforo		Potássio	
P (mg dm <sup>-3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )
menos de 10	350 – 250	menos de 60	100 – 75
de 10 a 30	250 – 150	de 60 a 120	75 – 50
de 30 a 60	150 – 50	de 120 a 240	50 - 0
Mais de 60	50 – 0	Mais de 240	0

Fonte: SEBRAE (2011)

Recomenda-se para solos de baixa fertilidade, em geral, 250 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônia, 1500 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio ou 2000 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante mineral 4-14-8 (SEBRAE, 2011). Nesta recomendação, utilizar 30 kg ha<sup>-1</sup> de Bórax e 30 kg ha<sup>-1</sup> de Sulfato de Zinco.

Para a cultivar cebolinha todo ano o pH do solo deve estar entre 6,0 e 6,5, a saturação de bases deve ser 80% e deve-se usar uma adubação básica de 30 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N; 200 a 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Na adubação de cobertura utilizar 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e 70 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Realizando também adubações foliares de S, Ca, Mg, Mn, B, Zn e Mo (ABCSEM, 2011).

### 3.4 A cultura do coentro

#### 3.4.1 Taxonomia, aspectos morfológicos e fisiológicos

O coentro (*Coriandrum sativum*) é uma hortaliça herbácea de ciclo anual, que pertence à família Apiaceae e é nativa da região do Mediterrâneo. No Brasil a cultura foi introduzida pelos portugueses durante a colonização. Devido ao amplo número de pequenos e médios produtores envolvidos com a sua exploração, esta cultura possui elevada expressividade socioeconômica para as regiões Norte e Nordeste (NASCIMENTO; PEREIRA, 2005).

O coentro apresenta sistema radicular superficial e ramificado, folhas verdes-brilhantes, alternadas e com formato recortado. As flores são pequenas, brancas ou arroxeadas

e são hermafroditas, reúnem-se em inflorescências do tipo umbela. O fruto é ovoide, globuloso, diaquênio, que pode ter de 2 a 4 mm de diâmetro (NASCIMENTO; PEREIRA, 2005; FILGUEIRA, 2008). Essa planta é rica em vitaminas A, B1, B2 e C, em cálcio e ferro (NASCIMENTO; PEREIRA, 2005). Esta hortaliça ainda tem propriedades medicinais tais como: antifúngicas (FREIRES *et al.*, 2014), diuréticas, sedativas (PATHAK *et al.*, 2011) e antioxidantes (HARSHA; ANILAKUMAR, 2012).

A planta adaptando-se bem em regiões de clima quente, é pouco exigente em temperatura podendo ser semeado durante todo o ano. Quanto ao solo, é tolerante a acidez e exige pouca fertilidade (ALMEIDA *et al.*, 2006; FILGUEIRA, 2008). Durante seu cultivo, necessita-se de pouquíssimos tratamentos culturais específicos, as vezes nenhum, e também não tem muitos problemas fitossanitários (FILGUEIRA, 2008).

O coentro tem sido cultivado tanto para o consumo *in natura*, com a produção de massa verde, como para a aquisição de sementes, muito utilizadas nas indústrias alimentícia e cosmética (OLIVEIRA *et al.*, 2005). No Brasil, a cultura é usada sobretudo como condimento, em que se usa, basicamente, as folhas frescas. Elas fazem parte dos principais temperos da culinária das regiões Norte e Nordeste. Nessas regiões, o coentro é comumente comercializado em conjunto com a cebolinha, conjunto conhecido popularmente por “cheiro-verde” (PEREIRA *et al.*, 2005).

### **3.4.2 Exigência nutricional e adubação**

Objetivando determinar o crescimento (acúmulo de matéria seca) e acúmulo de nutrientes em coentro, Granjeiro (2011) observou que a produção média de massa seca foi de 921,25 mg planta<sup>-1</sup>, sendo que o maior acúmulo ocorreu no período compreendido de 30 a 35 DAS, quando a taxa de incremento de massa seca foi de 65,20 mg<sup>-1</sup> planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. O coentro Verdão acumulou 10,37 mg planta<sup>-1</sup> de N, sendo que a maior demanda coincidiu com a época de maior acúmulo de massa seca na planta. O fósforo foi o nutriente de menor acúmulo pelo coentro, com o máximo de 3,47 mg planta<sup>-1</sup>, atingido aos 40 DAS. O potássio foi o nutriente mais absorvido pelo coentro Verdão, com acúmulo máximo de 25,43 mg planta<sup>-1</sup>. O cálcio é o segundo nutriente mais absorvido pela planta, com acúmulo máximo de 20,4 mg planta<sup>-1</sup> no final do ciclo. O total de Mg acumulado na planta foi de 10,18 mg planta<sup>-1</sup>. A ordem decrescente dos nutrientes extraídos foi: K, Ca, N, Mg e P. No terço final do ciclo, a cultura do coentro acumulou 51, 48, 41, 43 e 48% do total acumulado de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

A cultura do coentro segue as mesmas recomendações de adubação para cultura da cebolinha (SEBRAE,2011) (Tabela 3). Segundo Trani *et al.* (2014), para a cultura do coentro recomenda-se elevar a saturação por bases do solo a 80% e o teor de magnésio a um mínimo de 0,9  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Recomenda-se ainda que de 30 a 40 dias antes do plantio, incorporar ao solo 40 a 60  $\text{t ha}^{-1}$  de esterco bovino curtido ou composto orgânico, ou ainda 1/4 a 1/5 dessas quantidades de húmus de minhoca, esterco de frango, galinha, suínos, ovinos, caprinos ou equinos. Com relação a adubação mineral de plantio segue-se a recomendação da Tabela 4 e ainda recomenda-se aplicar junto com o NPK em pré-plantio, 20 a 30  $\text{kg ha}^{-1}$  de S e, em solos deficientes 1 a 2  $\text{kg ha}^{-1}$  de Mn. Com relação a adubação de cobertura recomenda-se aplicar 40 a 80  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, 10 a 20  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 20 a 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , parcelando em 2 a 4 aplicações durante o ciclo, ou a cada dois dias quando do uso de fertirrigação.

Tabela 2 - Adubação mineral de plantio para alface, almeirão, agrião d'água, chicória ou escarola, coentro, espinafre da Nova Zelândia e rúcula, conforme análise do solo.

Nitrogênio		P resina, $\text{mg dm}^{-3}$				K <sup>+</sup> trocável, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$			
		0-25	26-60	61-120	>120	0-15	16-30	31-60	>60
N, $\text{kg ha}^{-1}$		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , $\text{kg ha}^{-1}$				K <sub>2</sub> O, $\text{kg ha}^{-1}$			
30-50		320	180	100	60	120	80	50	30
B, $\text{mg dm}^{-3}$		Cu, $\text{mg dm}^{-3}$		Zn, $\text{mg dm}^{-3}$					
0-0,3	0,31-0,60	>0,6	0-0,2	0,3-1,0	>1,0	0-0,5	0,6-1,2	>1,2	
B, $\text{kg ha}^{-1}$		Cu, $\text{kg ha}^{-1}$		Zn, $\text{kg ha}^{-1}$					
1,5	1,0	0	3	1,5	0	3	1,5	0	

Fonte: TRANI et al., (2014)

### 3.5 Uso de silício na agricultura

O segundo elemento em maior quantidade no ambiente terrestre é o silício (Si). Com 27% em massa no solo, o silício é superado apenas pelo oxigênio (ZHU; GONG, 2014). O Silício é encontrado na natureza em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados (MALAVOLTA *et al.*, 1997). O ácido monossilícico, com fórmula química  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , também conhecido como silício solúvel, é a principal forma encontrada na solução do solo (EPSTEIN, 1999) e pode ser originária da decomposição de restos vegetais, que é a principal forma de absorção das plantas, seguido da modificação de compostos minerais do solo e fertilizantes silicatados (POSTEK, 1981). Por ser tão abundante, sua essencialidade para as plantas superiores é muito difícil de ser comprovada, baseado nos critérios de essencialidade dos elementos propostos por Arnon; Stout, (1939) mas de acordo com a mais recente definição de essencialidade dos elementos proposta por Epstein; Bloom (2005), o silício deve ser

considerado elemento essencial para plantas superiores pois na ausência de silício as plantas tendem a crescer de forma anormal, enquanto as plantas que foram suplementadas com silício crescem normalmente.

Entre as plantas cultivadas as gramíneas absorvem maior quantidade de silício, cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), arroz (*Oryza sativa*) e trigo (*Triticum spp.*) absorvem, por exemplo, 300–700, 150–300 e 50–150 kg Si ha<sup>-1</sup>, respectivamente (SNYDER *et al.*, 2006).

Embora o Si seja encontrado em todas as plantas, seu conteúdo nas plantas varia entre as espécies, devido as diferenças nas suas capacidades de absorção de Si (MA; YAMAJI, 2008). As plantas podem acumular Si da seguinte forma: (1) Acumuladores elevados, por exemplo, arroz e sorgo. A quantidade de Si absorvido por essas plantas é maior que a quantidade de Si que entra na planta através da captação de água. A quantidade de Si acumulada nas partes da planta acima do solo como SiO<sub>2</sub> é superior a 1% em peso seco. (2) Acumuladores intermediários, por exemplo, pepino. As taxas de absorção de Si das plantas são equivalentes às suas taxas de absorção de água. A quantidade de Si acumulada nas partes da planta acima do solo varia de 0,5 a 1%. (3) Excludentes, por exemplo, tomate. As taxas de absorção de Si dessas plantas são inferiores às taxas de absorção de água. A quantidade de Si acumulada nas partes da planta acima do solo é menor que 0,5% (COSKUN *et al.*, 2019; LANDI *et al.*, 2017; LIANG *et al.*, 2007).

A primeira proteína identificada no mecanismo de absorção de transporte de Si nas plantas foi no arroz e está se chama Lsi1(OsNIP2;1). Suas homólogas pertencem à subfamília das aquaporinas (AQPs) com proteínas intrínsecas (NIPs) do tipo nodulina 26 (MA *et al.*, 2006). Após o primeiro transportador de Si ser caracterizado em arroz (OsLsi1), mais transportadores de Si (por exemplo, Lsi2 e Lsi6) foram identificados em monocotiledôneas, como arroz (MA *et al.*, 2006), milho (MITANI *et al.*, 2009), cevada (CHIBA *et al.*, 2009) e trigo (MONTPETIT *et al.*, 2012) e dicotiledôneas, como abóbora (MITANI *et al.*, 2011) e pepino (SUN *et al.*, 2017). A localização destes transportadores variam nas células do sistema radicular das diversas espécies de plantas.

Estudando aquaporinas, utilizando 25 sequenciamentos genéticos de plantas, Deshmukh *et al.* (2015) identificaram que um subgrupo distinto de proteínas, NIP-III, para plantas superiores deve ter uma distância de 108 aminoácidos (AA) entre os domínios NPA, em filtro de seletividade GSGR, facilitando assim o transporte de silício. Foram encontrados 108 AA no arroz e no sorgo, que acumulam mais de 3,5% de Si na folha (peso seco) (LUX *et al.*, 2002). O tomate acumula relativamente menos Si (apenas 0,2% de Si) de acordo com Heine; Tikum; Horst (2005) e foi classificado como "excludente de Si", com um espaçamento de 109

AA entre os dois domínios NPA (DESHMUKH *et al.*, 2015). Pepino é uma das poucas dicotiledôneas com alta capacidade relativamente de acumulação de Si (1,4% de Si em peso seco da parte aérea) (WU *et al.*, 2015), com uma distância de 107 AA entre os dois domínios NPA (DESHMUKH *et al.*, 2015). Esses resultados sugeriram que a distância do espaçamento de aminoácidos entre o NPA domínios podem ser uma base molecular importante para a classificação de acumuladores ou excludores de Si nas plantas (DESHMUKH *et al.*, 2015).

Pode-se resumir o impacto do Si na planta sob estresse salino em (ZHU; GONG; YIN, 2019):

- a) O Si poderia melhorar a fotossíntese mantendo a integridade dos órgãos fotossintéticos, aumentando a taxa de utilização de CO<sub>2</sub> nas plantas e aumentando a abertura e a atividade do centro de reação PSII;
- b) O Si regula a homeostase de íons através da mediação da absorção, transporte e compartimentação de Na<sup>+</sup> e expressão correspondente do gen;
- c) O Si pode regular a atividade/concentração de antioxidantes enzimáticos e/ou não enzimáticos e o acúmulo endógeno de poliamina para aliviar os danos oxidativos causados pelo estresse de salinidade.
- d) O Si aprimora a condutância hidráulica das raízes, regulando as atividades da aquaporinas e melhorando a capacidade osmorregulatória, o que contribui para aumento na captação e transporte de água.
- e) O Si pode mediar a homeostase de íons e diminuir o dano oxidativo através da regulação do metabolismo da poliamina.

Com o objetivo de estudar o estágio de crescimento mais tolerante ao efeito da salinidade, Daoud *et al.* (2018) cultivaram 30 plantas de trigo em vasos utilizando soluções nutritivas suplementadas com NaCl (0, 60, 90 e 120 mM) e também verificou-se o efeito na presença e ausência de Silício (Si) (0 e 0,78 mM de Si) nestas soluções. Para ser realizada as determinações foram colhidas aos a 22 (I), 43 (II), 80 (III) e 120 (IV) dias a partir da emergência de plântulas. Quando não se usou silício, na salinidade de 120 mM de NaCl, houve redução de 70% da massa fresca e seca no período I e nos períodos II e III uma redução de 51% em relação ao I. A inclusão de Si nos meios salinos colaborou para: diminuição acentuada na folha do conteúdo Na<sup>+</sup>; aumento do teor de K<sup>+</sup> ao longo dos tratamentos (principalmente nos períodos I e IV); aumento da relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>; aumento dos pigmentos fotossintéticos totais durante os períodos de colheita, principalmente no período II; redução do teor de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nas folhas de plantas

estressadas com 120 mM de NaCl (no período II e III redução de 33 e 31%; aumento aditivo na atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) ao longo dos 4 períodos e ainda aumento significativo da atividade da enzima catalase (CAT).

Para determinar os efeitos da salinidade do solo na cultura do trigo Ibrahim *et al.* (2016) cultivaram 10 plantas de trigo em vaso e adicionou NaCl ao solo até proporcionar uma condutividade elétrica de 2,74, 5,96, 8,85, 10,74 e 13,38 dSm<sup>-1</sup>. Estudou-se também o efeito de cinco doses de Si (0,0, 2,1, 4,2, 6,3 e 8,4 mg Si / 10 plantas) aplicadas via pulverização foliar em três vezes durante os estádios de crescimento, perfilhamento e enchimento de grãos (30, 45 e 60 dias após a semeadura). Os teores de clorofila a, clorofila b, carotenoides, altura de plantas e os teores de N, P e K (nas folhas e nos grãos de trigo) diminuíram com o aumento da salinidade em cada dose de Si foliar, mas o aumento das taxas de Si (até a dose de 6,3 mg de Si) aplicadas aumentaram os parâmetros na concentração de salinidade individual. Com relação a concentração de prolina houve aumento da mesma com o incremento da salinidade em cada taxa de Si e houve uma redução da mesma com o aumento da dose de Si. Houve um aumento significativo do teor de Na<sup>+</sup> na planta com o aumento do teor de Na<sup>+</sup> no solo, mas com o uso do Si houve uma redução nestes teores quanto mais se aplicou Si.

#### 4 APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM COENTRO SOB ESTRESSE SALINO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

**RESUMO** - A hidroponia é uma opção importante para o cultivo de hortaliças com uso de águas salobras, principalmente na região semiárida. Objetivou-se então com este trabalho analisar o crescimento, rendimento e composição nutricional de coentro cv. Verdão, em cultivo hidropônico, submetido aos níveis de salinidade da solução nutritiva com adubação suplementar de silicato de potássio. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental com blocos casualizados, consistindo em seis níveis de condutividades elétricas da solução nutritiva (CEsn: 2,3; 2,8; 3,3; 3,8; 4,3 e 4,8 dS m<sup>-1</sup>) e dois níveis de silicato de potássio (presença e ausência). Foram avaliadas as seguintes características: altura da planta, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, massa de matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, consumo hídrico total, eficiência do uso da água e o conteúdo nutricional da parte aérea. Após os ciclos foram determinados os teores de macronutrientes, sódio e cloro. De acordo com os resultados, houve redução por incremento unitário da CEsn na massa de matéria fresca com valores de 3,317 e 2,5937 g molho<sup>-1</sup> para presença e ausência de silicato de potássio, respectivamente. A adubação com silicato de potássio contribuiu para aumentar significativamente as características de produção, além de reduzir os teores de sódio e cloro, contribuindo assim para uma redução nos danos causados pelos respectivos íons.

Palavras-chave: Salinidade. Silício. *Coriandrum sativum*. Solução nutritiva.

Use of potassium silicate in coriander under saline stress in low cost hydroponic system

**ABSTRACT** – Hydroponics is an important option for growing vegetables using brackish waters, especially in the semiarid region. The objective of this work was to analyze the growth, yield and nutritional composition of coriander cv. Verdão, in hydroponic cultivation, submitted to the salinity levels of the nutrient solution with supplementary fertilization of potassium silicate. The treatments were distributed in a randomized block design, consisting of six levels of electrical conductivities of the nutrient solution (CEsn: 2.3; 2.8; 3.3; 3.8; 4.3 and 4.8 dS m<sup>-1</sup>) and two levels of potassium silicate (presence and absence). The following characteristics were evaluated: plant height, absolute growth rate, relative growth rate, fresh and dry mass of shoot and root system, total water consumption, efficiency of water use and the nutritional content of the shoot. After the cycles, the contents of macronutrients, sodium and chlorine were determined. According to the results, there was a reduction by unit increment of the CEsn in the fresh matter mass with values of 3.317 and 2.5937 g sauce<sup>-1</sup> for the presence and absence of potassium silicate, respectively. Fertilization with potassium silicate contributed to significantly increase production characteristics, in addition to reducing the levels of sodium and chlorine, thus contributing to a reduction in the damage caused by the respective ions.

Key words: Salinity. Silicon. *Coriandrum sativum*. Nutritional solution.

## 4.1 Introdução

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma hortaliça herbácea de ciclo anual, que pertence à família Apiaceae, e devido ao amplo número de pequenos e médios produtores envolvidos com a sua exploração, esta cultura possui elevada expressividade socioeconômica para as regiões Norte e Nordeste (NASCIMENTO; PEREIRA, 2005). Somente no estado de São Paulo no ano de 2017 foi cultivada uma área de 970 ha com uma produção de 5906 t (CAMARGO FILHO; CAMARGO, 2019).

A hidroponia é uma técnica utilizada em todos os estados brasileiros produzindo principalmente diversos tipos de hortaliças dentre estas a cultura do coentro (LUZ *et al.* 2012). Apesar desta técnica possuir várias vantagens, ainda é pouco utilizada por pequenos produtores rurais devido principalmente ao alto investimento inicial e necessidade de mão de obra qualificada (ZEN; BRANDAO, 2019). Em contraponto a esta realidade, surgiu a hidroponia de baixo custo, que é uma forma adaptada à realidade do produtor, (LUZ, *et al.*, 2012; SANTOS JUNIOR *et al.*, 2016) tornando esta técnica uma realidade na agricultura familiar.

A produção hidropônica com uso de águas salobras é uma alternativa importante para regiões que utilizam águas de poços com elevada condutividade elétrica (SILVA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2011), já que devido a ausência de solo e conseqüentemente do potencial matricial, há uma redução no efeito do potencial total nas plantas. Estudos como os de Soares *et al.* (2016) na cultura do alface e Silva *et al.* (2018) no coentro demonstram a mitigação do uso de águas salobras em sistemas hidropônicos e seus efeitos nutricionais e produtivos nas plantas.

No Brasil o silício foi incluído na lista de micronutrientes pelo decreto-lei nº 4.954 de 14 de janeiro de 2014 (BRASIL, 2004) pelos benefícios advindos da sua utilização na agricultura. O silício está normalmente associado à resistência das plantas a fatores bióticos e abióticos, como ataque de pragas e doenças, resistência a estresse hídrico e salino (KORNDORFER, 2006).

Objetivou-se com este trabalho analisar o crescimento, rendimento e composição nutricional de coentro cv. Verdão, cultivada em hidroponia de baixo custo, submetido aos níveis de salinidade da solução nutritiva na presença e ausência de adubação com silicato de potássio.

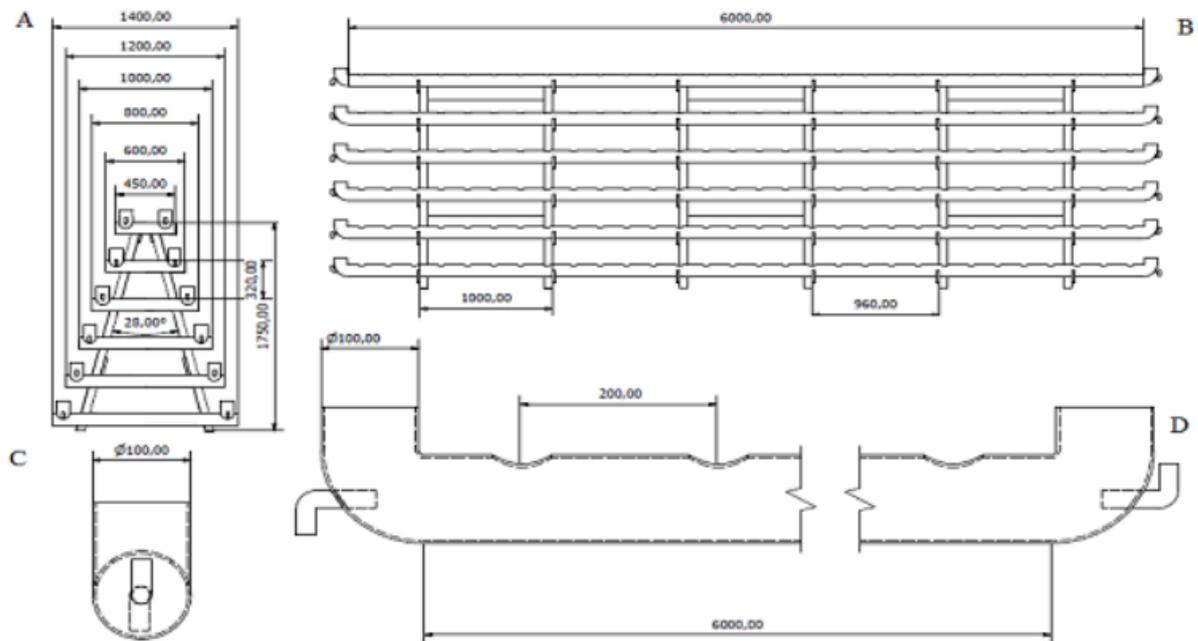
## 4.2 Material e métodos

Foram conduzidos dois ciclos experimentais entre os meses de agosto a outubro de 2018 em casa de vegetação na Estação Experimental do Instituto Federal do Piauí – Campus Campo Maior (4°51'45.3" S e 42°08'41.6" W). A casa de vegetação foi composta por uma estrutura metálica, com 8 metros de largura e 12 metros de comprimento. As laterais são preenchidas com tela anti-afídica branca e a cobertura é preenchida com plástico difusor com espessura de 100 micra. Visando uma redução na temperatura interna foi instalada uma tela freshnet prata com 50% de reflectância no interior da mesma.

O sistema hidropônico utilizado foi uma adaptação do sistema proposto por Santos Junior *et al.*, (2016) (Figura 1). O experimento foi realizado com a cultivar de coentro ‘Verdão’. Foi semeado 12 sementes (molho) em copos plásticos descartáveis de 200 mL, perfurados nas laterais e no fundo e preenchidos com substrato fibra de coco, conforme descrito por Silva *et al.*, (2016). Inicialmente não se utilizou solução nutritiva e após 10 dias da germinação foram implantados os tratamentos previamente estabelecidos.

Durante a condução do experimento, conforme dados da estação meteorológica automática do Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia do IFPI – Campus Campo Maior, que fica a 100 m do local, a temperatura máxima, média e mínima foi de 40,3; 30,0 e 19,2 ° C e a umidade relativa do ar máxima, média e mínima foi de 91,3; 49,0 e 13,6%.

Figura 1 - Desenho esquemático do módulo hidropônico utilizado. (A) vista frontal e (B) vista lateral da estrutura. (C) vista frontal e (D) vista lateral do tubo e visão do experimento (E).



Fonte: SANTOS JÚNIOR, (2013); Foto: Mateus Santos Machado

Nos dois ensaios, os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental com blocos casualizados, distribuídos em esquema fatorial  $6 \times 2$ , com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de seis níveis de condutividades elétrica da solução nutritiva (CE), e presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP). Como fonte de silício foi utilizado o silicato de potássio (SIFOL<sup>®</sup> - 12% de Si e 15% de  $K_2O$ ) na dose e

frequência recomendada pelo fabricante para sistemas hidropônicos ( $0,4 \text{ L m}^{-3}$ , durante todo o ciclo da cultura), usando-se então a mesma na frequência semanal de tempo, no momento da reposição da água evaporada do reservatório de nutrientes.

A solução nutritiva usada foi proposta por Furlani *et al.*, (1999), resultando em uma condutividade elétrica da solução original de  $3,7 \text{ dS m}^{-1}$ . Esta solução nutritiva foi diluída equitativamente com água de poço profundo (Tabela 1), obtendo-se CE de  $2,3 \text{ dS m}^{-1}$  (Testemunha). Para obtenção dos tratamentos salinos adicionaram-se quantidades crescentes de NaCl na solução diluída, conforme Richards, (1954), resultando em CE de 2,3; 2,8; 3,3; 3,8; 4,3 e  $4,8 \text{ dS.m}^{-1}$ .

Tabela 1 - Resultado da análise de água de poço profundo do IFPI – Campus Campo Maior.

Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sup>-3</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	CE	RAS	pH
----- mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----							dS m <sup>-1</sup>		
0,7	0,8	10,0	0,1	5,7	4,8	1,4	1,18	8,28	8,1

Fonte: Laboratório de Água e Solo (FUNCEME) – UFC

Para um manejo da solução nutritiva fez-se a reciclagem de água e nutrientes, ou seja, preparou-se um volume inicial de 90 L (2,5 litros de solução por planta cultivada) de solução nutritiva por tratamento, em reservatório específico; às 9 h adicionavam-se manualmente 9 L de solução por tubo, e às 16 h este volume era retirado, despejado no reservatório e, após a homogeneização, coletavam-se novamente 9 L e aplicavam-se ao tubo. A condutividade elétrica e o pH foram medidos diariamente e este foi mantido entre 5,5 e 6,5 com a adição de ácido fosfórico.

A altura das plantas (AP) foi mensurada com fita métrica, do ponto de corte até o ápice, aos 5, 10, 15 e 20 dias após o início dos tratamentos, calculou-se também a taxa de crescimento absoluto (TCA) e a taxa de crescimento relativo (TCR).

Determinaram-se as seguintes características de rendimento e consumo hídrico: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca do sistema radicular (MFR), massa seca do sistema radicular (MSR). As massas secas foram obtidas após 96 horas em estufa de circulação forçada à temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , determinados em balança de precisão (0,01 g). Foi determinado também o consumo hídrico total (CHT), sendo este feito no reservatório de solução nutritiva, com intervalo semanal, quando era reposta a água evaporada do reservatório de solução nutritiva. Para a determinação da eficiência do uso da água, com base na massa fresca da parte aérea ( $\text{EUA}_{\text{MFPA}}$ ) e massa seca da parte aérea

( $EUA_{MSPA}$ ), utilizou-se as equações preconizadas por Silva *et al.*, (2012) e Jabro *et al.*, (2012). Para determinação do índice de clorofila total Falker (ICTF), utilizou-se o CLOROFILOG (medidor eletrônico de teor de clorofila) da marca Falker®.

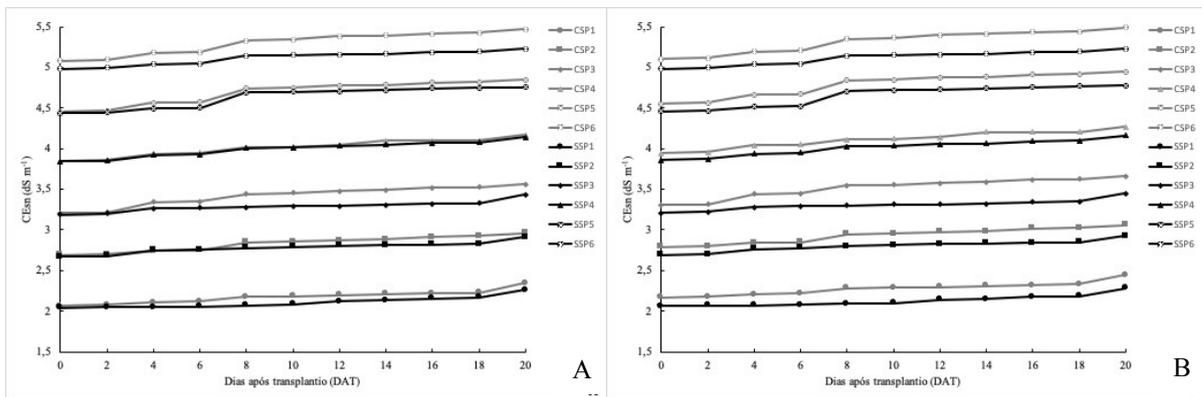
Amostras da parte aérea das plantas foram utilizadas para determinação dos teores de macronutrientes, sódio e cloro de acordo com o Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (SILVA, 2009).

Com os dados obtidos fez-se a análise de variância (ANOVA). Quando constatados efeitos significativos ( $F < 0,05$ ) na Anova para presença e ausência de silicato de potássio fez-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, e quando efeitos significativos para CE da solução nutritiva, fez-se a análise de regressão, utilizando os softwares PAST® (Paleontological Statistical) 2.71 (Hammer, *et al.*, 2001) e SISVAR® v. 5.6 (FERREIRA, 2011).

### 4.3 Resultados e discussão

Após 20 dias da aplicação do silicato de potássio (SP) a CE foi superior na solução nutritiva CSP em relação a SSP (Figura 2 A e B). Houve aumento médio na CE de 9,9% na solução nutritiva CSP e de 7,9% na SSP, no primeiro cultivo do coentro (Figura 2 A), e de 9,4% na CSP e de 7,6% no SSP, no segundo cultivo (Figura 2 B). Houve tendência de aumento da CEsn devido ao uso de água salobra na reposição da água evapotranspirada pela cultura e adubação com silicato de potássio.

Figura 2 - Condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) com presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) (A) e segundo cultivo do coentro (B).



Ao analisar o efeito do fator ASP e CEsn nas características avaliadas (Tabela 2), observa-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da interação entre os fatores (ASP x CEsn) nas TCR, MFPA, MSPA, MFR e MSR. Enquanto o fator CEsn influenciou de maneira significativa ( $p < 0,01$ ) todas as características avaliadas e o fator ASP somente a MFPA, MSPA, MFR, MSR e ICTF.

Tabela 2 - Valores de F da análise de variância para as variáveis: altura (ALT), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) e índice de clorofila total Falker (ICTF).

F.V.	ALT	TCA	TCR	MFPA	MSPA	MFR	MSR	ICTF
ASP	0,715 <sup>ns</sup>	0,614 <sup>ns</sup>	0,475 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,049 <sup>*</sup>
CEsn	0,00 <sup>**</sup>	0,004 <sup>**</sup>	0,091 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>				
ASP x CEsn	0,694 <sup>ns</sup>	0,901 <sup>ns</sup>	0,0151 <sup>**</sup>	0,007 <sup>**</sup>	0,005 <sup>**</sup>	0,003 <sup>**</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,854 <sup>ns</sup>

C.V (%)	15,79	24,19	9,42	6,07	6,00	6,06	6,17	8,91
---------	-------	-------	------	------	------	------	------	------

\* e \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F.

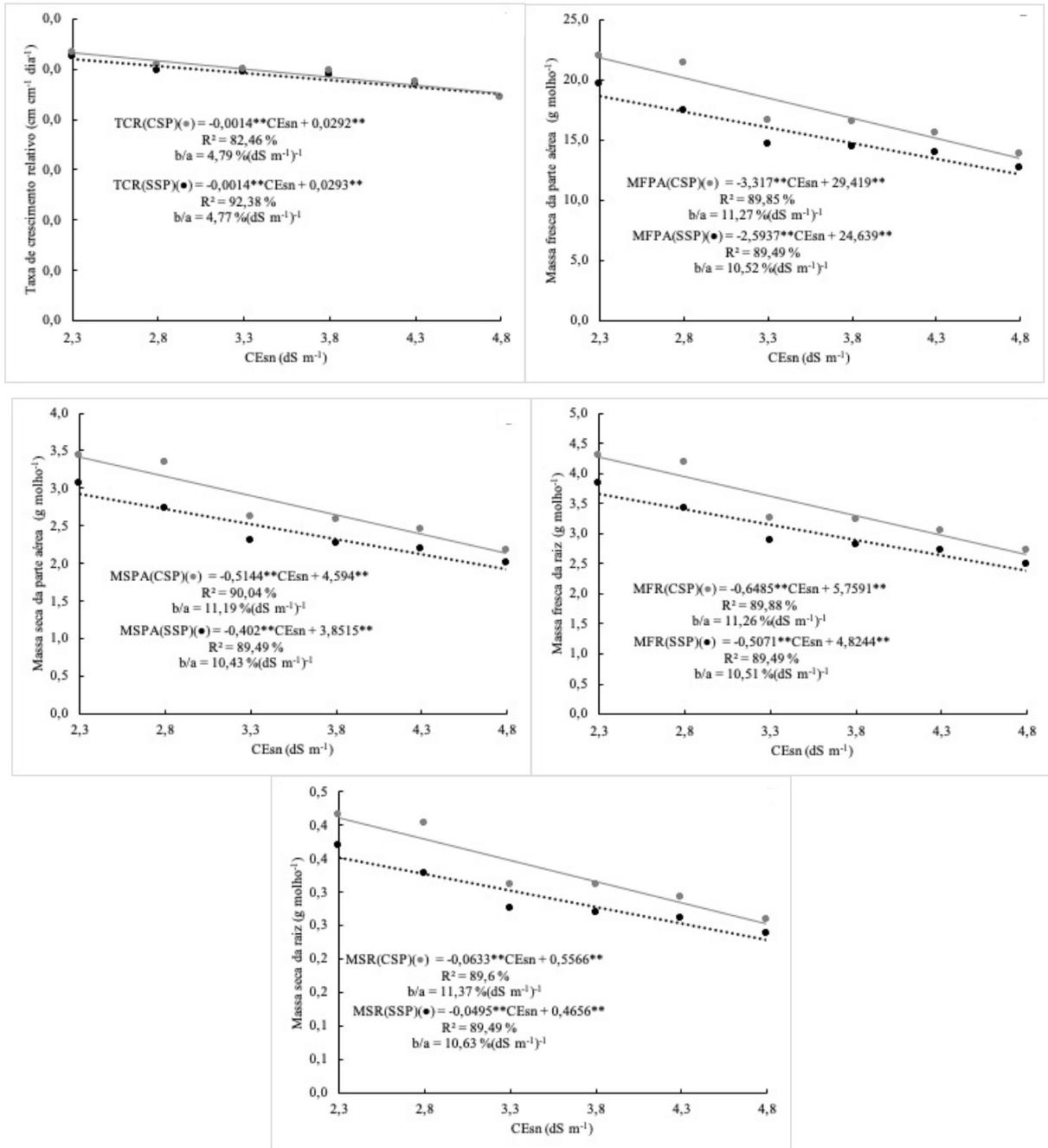
Ao analisar a Figura 3, observa-se aumento médio de 1,31; 14,33; 14,17; 14,30 e 14,53% respectivamente nas TCR (Figura 3A), MFPA (Figura 3B), MSPA (Figura 3C), MFR (Figura 3D) e MSR (Figura 3E) em relação ao tratamento SSP, evidenciando assim o efeito positivo do silicato de potássio na cultura, aumentando os valores das produtivas.

Quanto a CEs<sub>n</sub> observou-se decréscimo das variáveis com o aumento unitário da CEs<sub>n</sub>. Houve redução por incremento unitário da CEs<sub>n</sub> na TCR de 0,0014 cm cm<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> (CSP e SSP), na MFPA de 3,317(CSP) e 2,5937 (SSP) g molho<sup>-1</sup> e na MSPA de 0,5144 (CSP) e 0,402 (SSP) g molho<sup>-1</sup>. Para a MFR foram observados valores de 0,6485 (CSP) e 0,5071 (SSP) g molho<sup>-1</sup>, enquanto a MSR os valores foram de 0,063 (CSP) e 0,495 (SSP) g molho<sup>-1</sup>.

A partir da análise da interação entre fatores de variação (Figura 3) observa-se que para todas as variáveis analisadas o efeito salinidade foi superior nos tratamentos onde foi utilizado a ASP, observando-se isso pela maior redução (b/a) por incremento unitário da CEs<sub>n</sub>. Esses resultados diferem dos encontrados por Jamila *et al.* (2019), onde foram observados maiores reduções nas variáveis na ausência da adubação com silício.

O estresse salino causa redução no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas, afetando a massa fresca e seca da parte aérea e raiz. Esses efeitos têm sido reduzidos com o uso da adubação com silício nas culturas da abobora (WANG *et al.*, 2015), arroz (CUONG *et al.*, 2017) e quiabeiro (ABBAS *et al.*, 2015). Foi observado que a redução desses efeitos na cultura da abobora se deu por um aumento significativo na razão raiz/parte aérea na abobora (WANG *et al.*, 2015). Na cultura do coentro submetida a dois tratamentos salinos (50 mM e 100 mM de NaCl) foi observada um aumento de 60 e 72 % na MFPA, 59 e 84 % na MSPA, 67 e 60% na MFR e 51 e 70% na MSR para os dois tratamentos salinos, respectivamente, com a adição de silício.

Figura 3 - Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CEs<sub>n</sub>) na presença e ausência de silicato de potássio sobre taxa de crescimento relativo (TCR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca da raiz (MFR) e matéria seca da raiz (MSR).



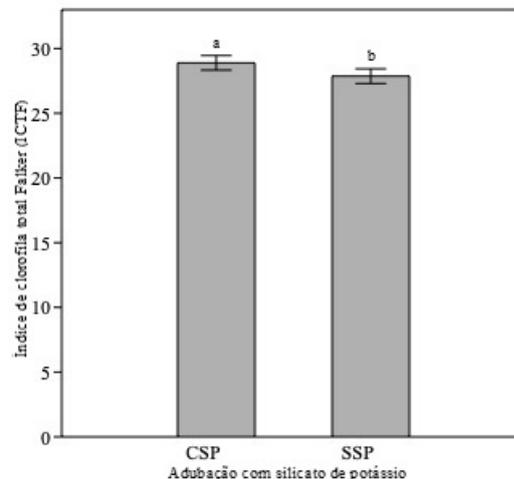
\* e \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Na figura 4 observou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da ASP na variável ICTF com maiores valores observados para o tratamento CSP conforme teste de Tukey. O tratamento CSP foi superior em relação ao tratamento SSP com incremento de 3,69 %. Possivelmente o uso de silicato de potássio reduziu os efeitos deletérios da salinidade, aumentando a concentração de nitrogênio nas folhas, sendo possível a manutenção dos índices de clorofila nas folhas e consequentemente o processo fotossintético.

Um dos primeiros processos metabólicos a serem afetados pelo estresse salino é a fotossíntese. Este é um processo desempenha funções no crescimento da planta e também é

responsável pelo rendimento das culturas. O aumento nas variáveis de produção (MFPA, MSPA, MFR e MSR) como observado na Figura 3 pode ser explicado pelo efeito benéfico da adubação com silício neste processo. No quiabeiro foi relatado um aumento significativo da área foliar e índice de área foliar (ABBAS *et al.*, 2017); aumento significativo da taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática, tamanho e número de estômatos e carotenoides. (ABBAS *et al.*, 2015). Na cultura do coentro também foi verificada um aumento dos carotenoides dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila a e b) (JAMILA *et al.*, 2019).

Figura 4 - Efeito da presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) sobre o índice de clorofila total Falker (ICTF).



Letras iguais não diferem do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Outro importante benefício do silício para o processo fotossintético é a redução do estresse oxidativo. Isso pode ser comprovado pela redução do potencial de vazamento de eletrólitos (ELP), redução do malondialdeído (MDA) e aumento do nível de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (MANIVANNAN, *et al.*, 2016); aumento da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), guaiacol peroxidase (GPX), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (ABBAS, *et al.*, 2015; MANIVANNAN, *et al.*, 2016; ABBAS, *et al.*, 2017) e aumento de prolina, no conteúdo de glicina betaina, de aminoácidos livres, de açúcares solúveis, de proteínas solúveis e no conteúdo de fenólicos (ABBAS, *et al.*, 2015).

Ao analisarmos a Tabela 3 para as variáveis consumo hídrico total, eficiência do uso da água para produção de matéria fresca e seca da parte aérea, observa-se que não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) da interação entre os fatores (ASP x CESn), contudo, para cada fator individualmente houve um efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para as variáveis estudadas.

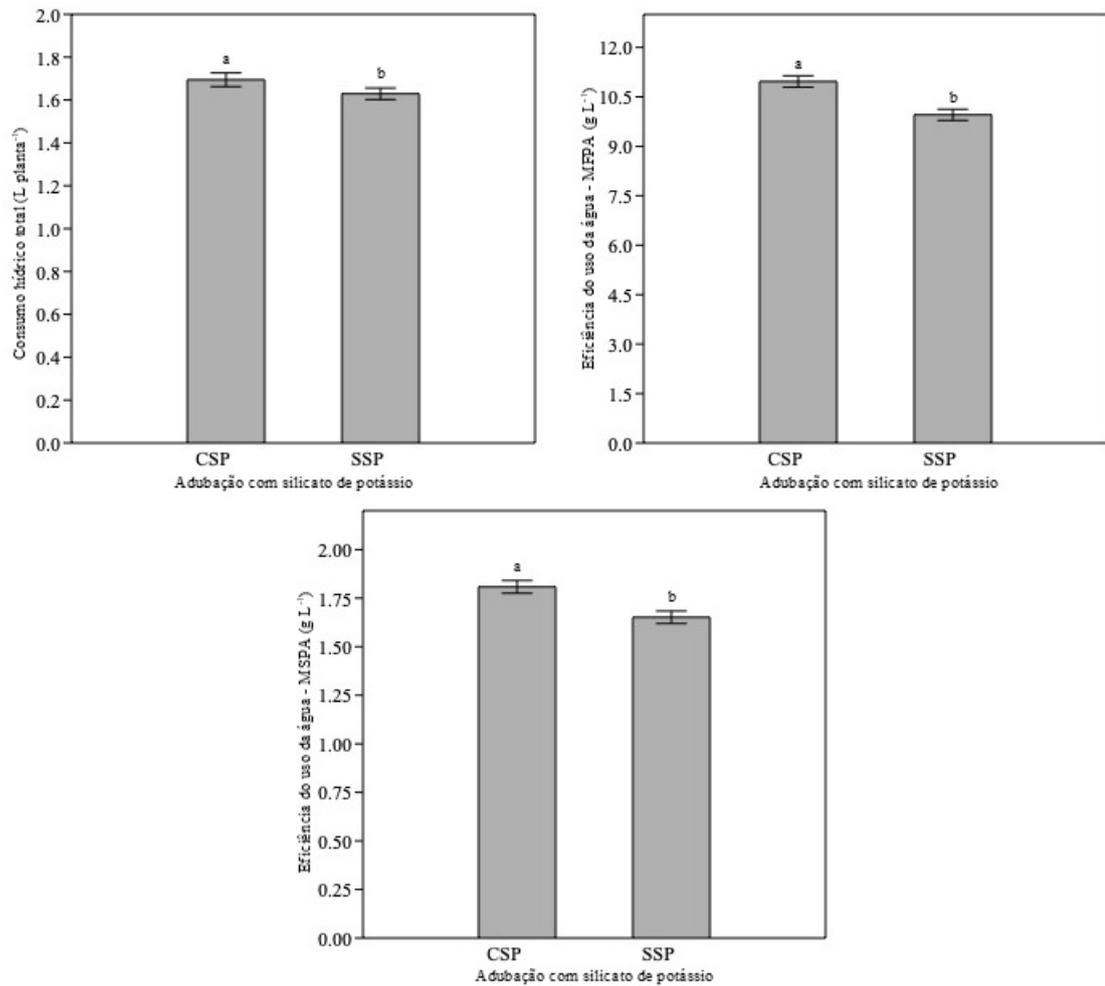
Tabela 3 – Valores de F da análise de variância para as variáveis: consumo hídrico total (CHT), eficiência do uso da água para produção de matéria fresca da parta aérea ( $EUA_{MFPA}$ ) e eficiência do uso da água para produção de matéria seca da parta aérea ( $EUA_{MSPA}$ ).

F.V.	CHT	$EUA_{MFPA}$	$EUA_{MSPA}$
ASP	0,001**	0,00**	0,00**
CEsn	0,00**	0,00**	0,00**
ASP x CEsn	0,082 <sup>ns</sup>	0,973 <sup>ns</sup>	0,973 <sup>ns</sup>
C.V (%)	5,78	7,52	7,05

\*, \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F.

Observa-se na figura 5 as médias dos valores das variáveis CHT (Figura 5A),  $EUA_{MFPA}$  (Figura 5B) e  $EUA_{MSPA}$  (Figura 5C) submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. O tratamento CSP foi superior em relação ao tratamento SSP com incrementos de 4,00% para CHT; 10,13% para  $EUA_{MFPA}$  e 9,47 % para  $EUA_{MSPA}$ . Tal fato pode ser atribuído ao aumento dos componentes de produção conforme Figura 3, o que ocasionou maior demanda hídrica e necessidades nutricionais, sendo portanto considerar o efeito benéfico do silicato de potássio no presente experimento.

Figura 5 - Efeito da presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) sobre o consumo hídrico total (CHT), eficiência de uso de água para produção de matéria fresca da parta aérea ( $EUA_{MFPA}$ ) e eficiência de uso de água para produção de matéria seca da parta aérea ( $EUA_{MSPA}$ ).



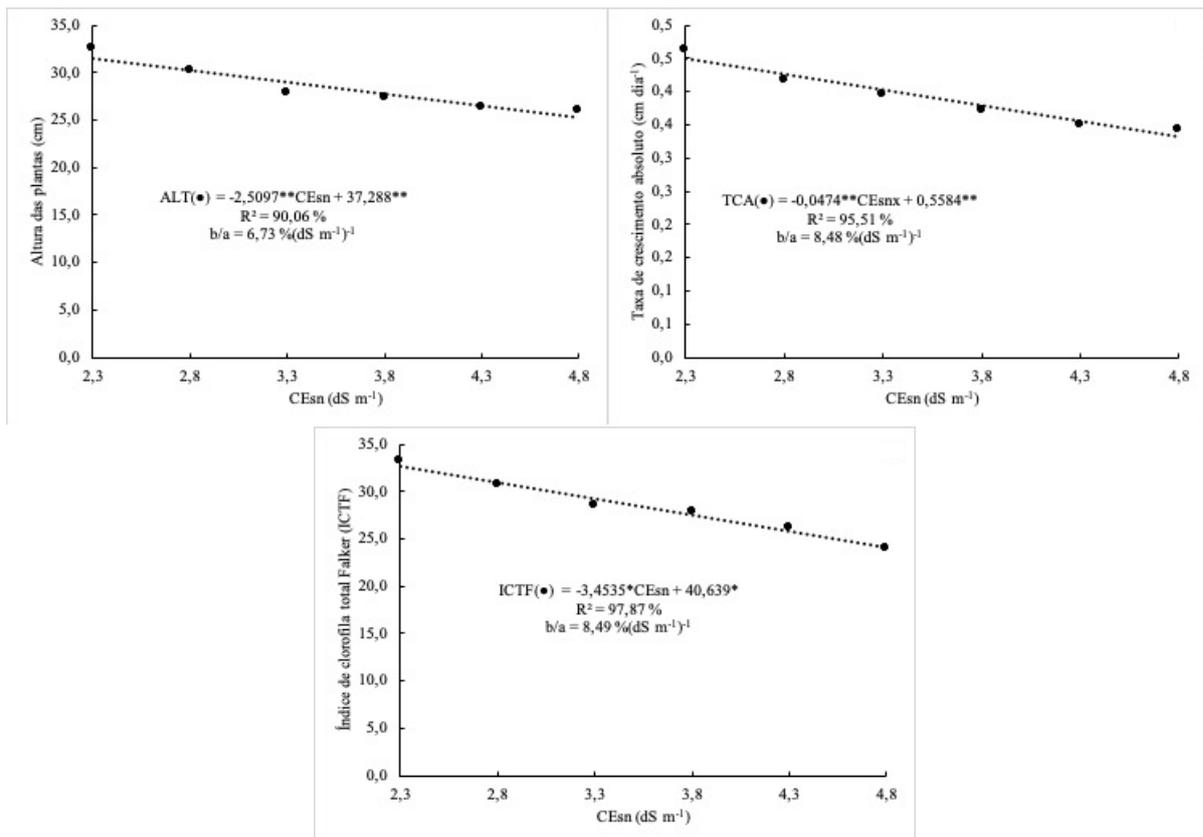
(1) Médias seguidas de mesma letra não diferem, entre si, pelo teste de Tukey.

Diversas culturas são afetadas pela salinidade do solo e da água, além de fatores externos que dificultam o consumo hídrico das plantas e maior eficiência do uso da água. Abbas *et al.* (2017), observam na cultura do quiabo maior consumo hídrico total e eficiência no uso da água, devido ao aumento do potencial de água da folha, potencial de turgor da folha, potencial osmótico da folha e aumento do conteúdo relativo de água e também pelo aumento da eficiência intrínseca do uso da água (ABBAS *et al.*, 2015). Na cultura do sorgo, Liu *et al.* (2015) observaram uma redução do potencial de água, aumento da condutância hidráulica da raiz, aumento da condutância hidráulica da planta e aumento da atividade das aquaporinas, enquanto na cultura do coentro, Jamila *et al.* (2019) observaram um aumento do conteúdo relativo de água.

Ao analisarmos a Figura 6 observa-se ajuste linear da análise de regressão para as variáveis ALT (Figura 6A), TCA (Figura 6B) e ICTF (Figura 6C) com decréscimo unitário de 6,73; 8,48 e 8,49 %, respectivamente para cada incremento unitário da CEs<sub>n</sub>. Observa-se uma redução no crescimento e desenvolvimento da cultura. Outros estudos mostram que os efeitos

negativos do estresse salino no crescimento, desenvolvimento e produção de coentro. Na variável altura de plantas (ALT), experimentos demonstram que em cultivos hidropônicos há uma redução de 2,95% (SILVA *et al.*, 2018), enquanto em cultivos em solo, houve redução de 6,28% (LIRA *et al.*, 2015).

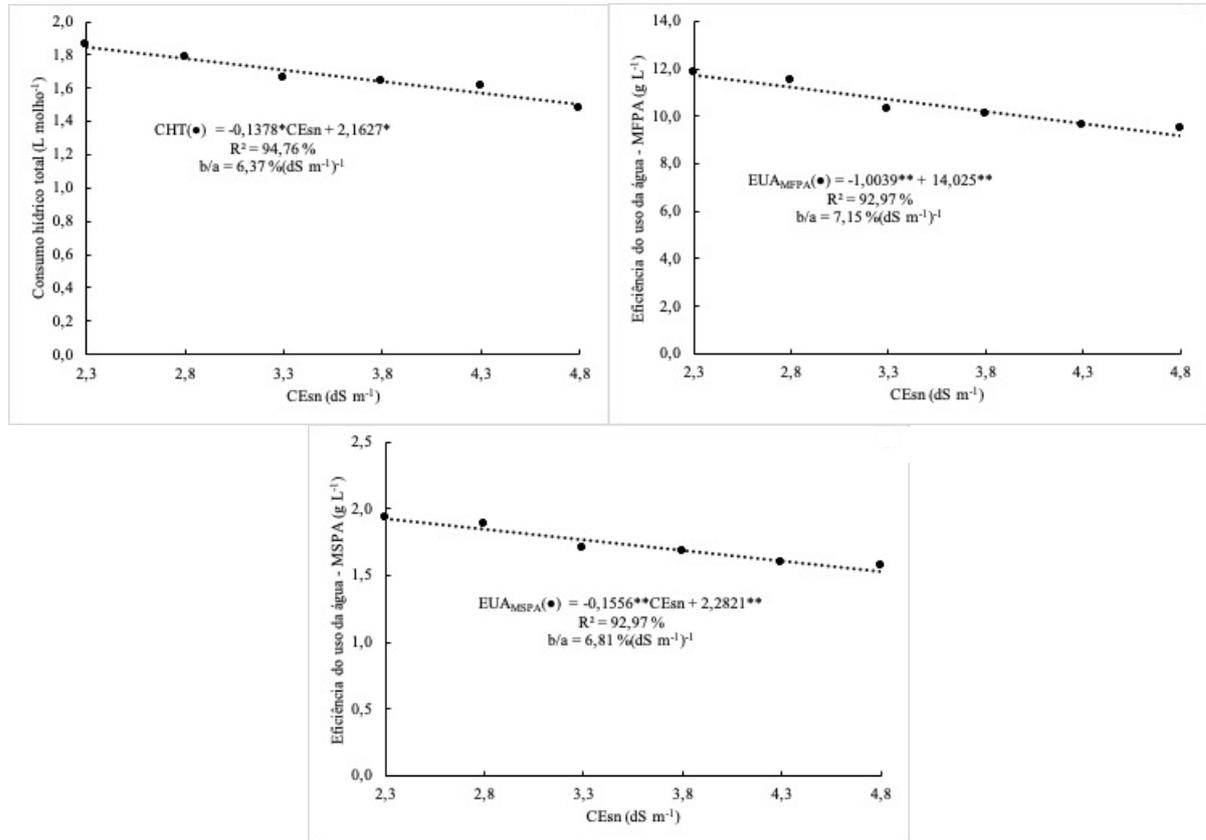
Figura 6 – Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CESn) sobre a altura de plantas (ALT), taxa de crescimento absoluto (TCA) (B) e índice de clorofila total Falker (ICTF).



\* e \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Em relação ao efeito da CESn nas de CHT (Figura 7A),  $EUA_{MFPA}$  (Figura 7B) e  $EUA_{MSPA}$  (Figura 7C) observou-se decréscimo de 6,37; 7,15 e 6,81 %, respectivamente, para cada incremento unitário da CESn. O aumento da condutividade elétrica na água, mesmo em sistemas hidropônicos é um fator determinante para a queda de rendimento das culturas, reduzindo consequentemente o consumo de águas pelas plantas, devido ao aumento do potencial osmótico e a eficiência do uso da água pelas plantas.

Figura 7 – Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) sobre o consumo hídrico total (CHT), eficiência de uso de água para produção de matéria fresca da parte aérea ( $EUA_{MFPA}$ ) e eficiência de uso de água para produção de matéria seca da parte aérea ( $EUA_{MSPA}$ ).



\* e \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Devido ao efeito osmótico o consumo hídrico total das culturas tem sido afetado, apresentando uma redução neste com o aumento da CEsn. Na cultura do coentro corroborando com os resultados do presente estudo, Silva *et al.* (2018) observaram uma redução de 5,85% por aumento unitário da CEsn com volume de água de 0,89 L para produzir 12 plantas de coentro.

No presente experimento para os teores de macronutrientes, sódio e cloro na parte aérea das plantas, pela análise de variância, observou-se que a interação entre os fatores (ASP e CEsn) não foi significativa para o conteúdo nutricional da parte aérea. O fator CEsn não influenciou de maneira significativa ( $p > 0,05$ ) a variável Mg e o fator ASP as variáveis N e K.

Tabela 4 - Valores de F da análise de variância para as variáveis (conteúdo nutricional da parte aérea): nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e Cloro (Cl).

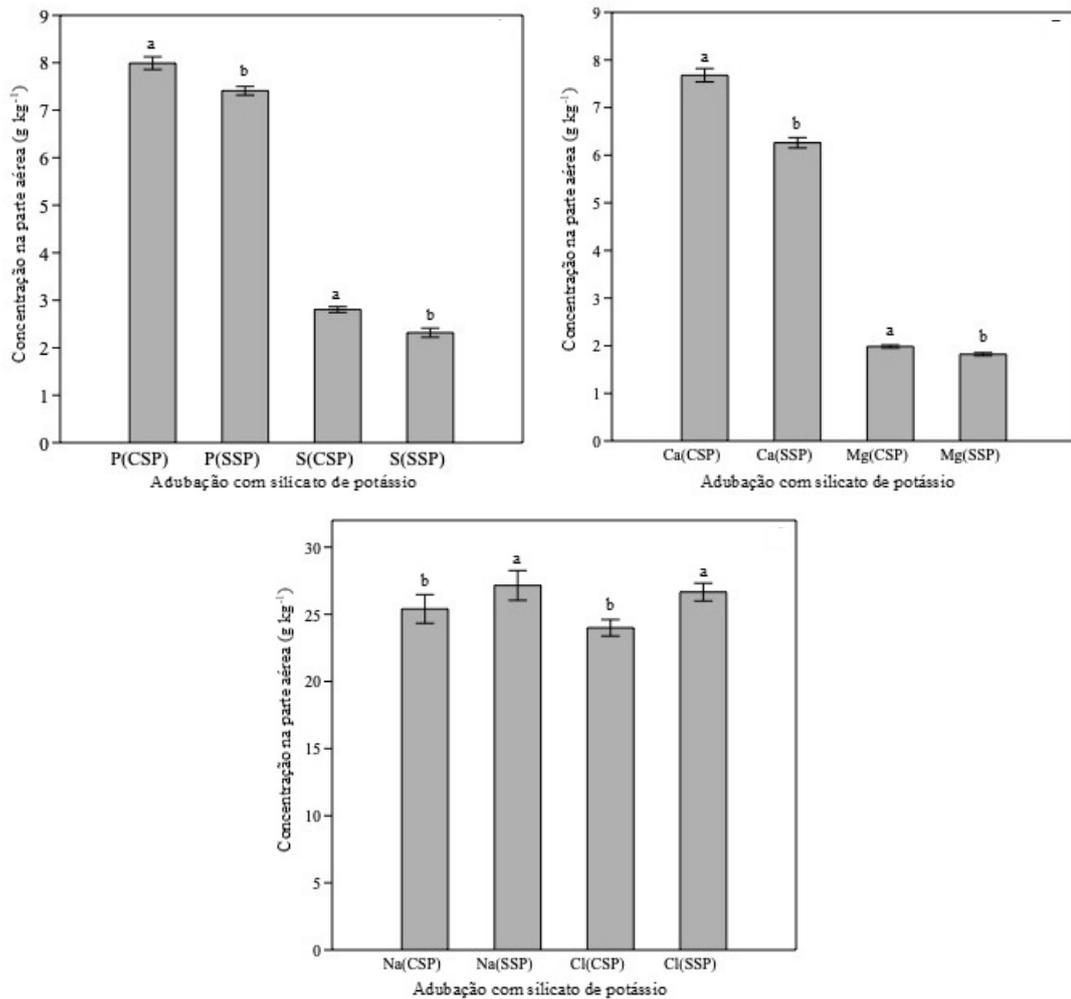
F.V.	N	P	S	K	Ca	Mg	Na	Cl
------	---	---	---	---	----	----	----	----

ASP	0,953 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,051 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>
CEsn	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,04 <sup>*</sup>	0,246 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>
ASP x CEsn	0,984 <sup>ns</sup>	0,4388 <sup>ns</sup>	0,488 <sup>ns</sup>	0,475 <sup>ns</sup>	0,769 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	0,860 <sup>ns</sup>	0,578 <sup>ns</sup>
C.V (%)	11,38	7,7	17,77	6,17	11,54	9,75	10,12	10,11

\*, \*\* significativo a 0,05, 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F.

O efeito da ASP no conteúdo nutricional da parte aérea pode ser observado na figura 8, analisada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Houve acréscimo significativo de 7,26 e 17,43% para P e S (Figura 8A) e 18,46 e 8,20% para Ca e Mg (Figura 8B) nas concentrações dos nutrientes estudados para CSP. Observa-se também diminuição significativa de 6,88 e 11,09% nas concentrações de Na e Cl (Figura 8C) no tratamento CSP, tal efeito demonstra que o silicato de potássio, possivelmente, reduziu a toxicidade destes nutrientes, fator esse importante para o desenvolvimento da cultura.

Figura 8 - Efeito da presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) sobre os teores foliares de P e S; Ca e Mg; e Na e Cl.



<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem, entre si, pelo teste de Tukey.

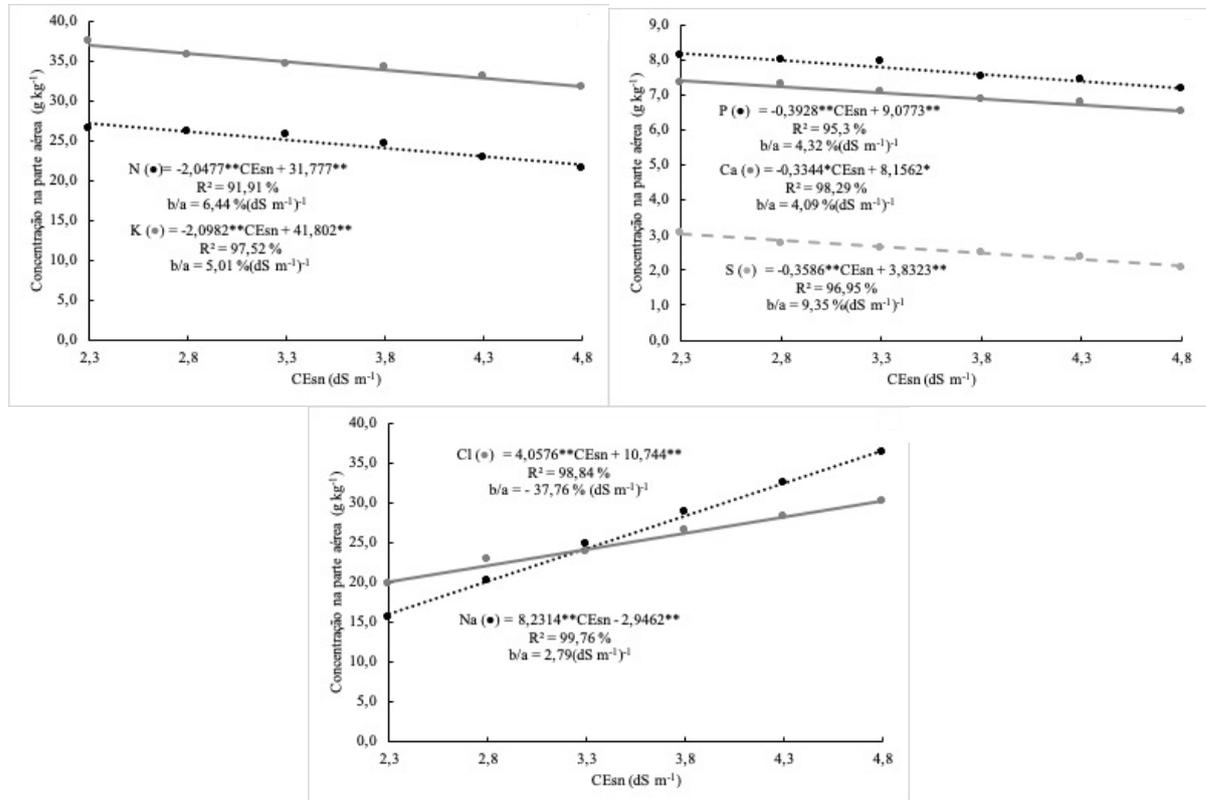
Como o efeito a interação entre os fatores não foi significativa a ASP, independente da CEsN, provocou principalmente uma redução nos teores foliares de Na e Cl. Em condições de salinidade da solução nutritiva, segundo alguns autores, a adubação com silício interfere no ajuste osmótico e aumenta a atividade das enzimas antioxidantes minimizando o choque osmótico criado pelo estresse salino devido a toxicidade dos íons Na e Cl (ETESAMI; JEONG, 2018).

Ainda é importante frisar que os estudos sobre os mecanismos pelos quais o Si alivia o estresse de salinidade nas plantas concentram-se principalmente na diminuição do Na<sup>+</sup> na raiz e / ou na parte aérea. No entanto, os mecanismos para essas reduções ainda são amplamente desconhecidos na maioria das espécies, exceto no arroz (ZHU, *et al.*, 2019).

O efeito da CEsN nos teores foliares pode ser observado na figura 9. Houve decréscimo de 6,44 e 4,32% para N e K (Figura 9A) e 5,01; 9,35 e 4,09% nos teores de P, Ca e S (Figura 9B), respectivamente. Para a variável Na<sup>+</sup> houve um acréscimo unitário significativo

de 37,76% e para a variável  $\text{Cl}^-$  houve um acréscimo unitário e significativo de  $2,79 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 9C).

Figura 9 - Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) sobre os teores foliares de N e K; P, Ca e S; e Na e Cl.



\* e \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Em sistema Nutrient Film Technique (NFT), utilizando águas salobras no preparo da solução nutritiva, segundo estudos de Soares *et al.* (2016), com o teor de nutrientes da parte aérea determinado para a cultura do alface, os autores observaram a mesma tendência de redução da concentração de nutrientes com o aumento da CEsn. Os teores de P e K reduziram em 10,42 e 7,5%, além de um acréscimo significativo nos teores de Na e Cl de 39,44 e 30,45%, respectivamente (SOARES *et al.* 2016).

À medida que os íons salinos se acumulam em excesso no citosol das células das plantas surgirão problemas de toxicidade nas plantas expostas à salinidade. O excesso de íons no citosol, especialmente o Na, causa grandes alterações sobre a atividade de enzimas e estrutura funcional de proteínas, causando efeitos diretos de toxicidade. Nessas condições, a salinidade pode induzir problemas sérios no transporte de água e de nutrientes minerais,

acarretando “seca por salinidade” e desbalanço nutricional, especialmente na relação Na/K no citosol (SILVEIRA *et al.*, 2016).

## **5 APLICAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO EM CEBOLINHA SOB ESTRESSE SALINO EM HIDROPONIA**

**RESUMO** - A hidroponia é uma opção importante para o cultivo de hortaliças com uso de águas salobras, principalmente na região semiárida. Objetivou-se com este trabalho foi avaliar o crescimento, rendimento e composição nutricional de cebolinha cv. Todo Ano, cultivada em hidroponia, submetido aos níveis de salinidade da solução nutritiva com adubação suplementar de silicato de potássio. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos casualizados, consistindo em seis níveis de condutividades elétricas da solução nutritiva (CESn: 2,3; 3,3; 4,3; 5,3; 6,3 e 7,3 dSm<sup>-1</sup>) e dois níveis de silicato de potássio (presença e ausência). Foram avaliadas as seguintes características: altura da planta, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, consumo hídrico total, eficiência do uso da água e teores de nutrientes, sódio e cloro na parte aérea. O uso do silicato de potássio aumentou em 19,18 % a produção de massa fresca da cultura. A adubação com silicato de potássio contribuiu para mitigar os impactos causados pela salinidade no presente experimento reduzindo os teores de cloro nas plantas.

Palavras-chave: Condutividade elétrica. Silício. *Allium fistulosum*. Solução nutritiva.

## Use of potassium silicate in chives under saline stress in low cost hydroponic system

**ABSTRACT** - Hydroponics is an important option for growing vegetables using brackish waters, especially in the semiarid region. The objective of this work was to evaluate the growth, yield and nutritional composition of chives cv. Every year, grown in hydroponics, subjected to the salinity levels of the nutrient solution with supplementary fertilization of potassium silicate. The treatments were distributed in a randomized block design, consisting of six levels of electrical conductivities of the nutrient solution (CEsn: 2.3; 3.3; 4.3; 5.3; 6.3 and 7.3 dS m<sup>-1</sup>) and two levels of potassium silicate (presence and absence). The following characteristics were evaluated: plant height, absolute growth rate, relative growth rate, fresh and dry mass of the aerial part and root system, total water consumption, water use efficiency and nutrient, sodium and chlorine contents in aerial part. The use of potassium silicate increased the production of fresh mass of the crop by 19.18%. Fertilization with potassium silicate contributed to mitigate the impacts caused by salinity in the present experiment, reducing chlorine levels in plants.

Key words: Electric conductivity. Silicon. *Allium fistulosum*. Nutritional solution.

## 5.1 Introdução

A cebolinha (*Allium fistulosum* L.) possui folhas alongadas e tubulares, macias, aromáticas e de alto valor condimentar, muito apreciadas pela população humana. As cultivares mais conhecidas são Todo Ano, Futonegui e Hossonegui (Filgueira, 2008). Na comercialização para consumo natural, ela aparece só ou formando um conjunto com o coentro (*Coriandrum sativum* L.), o popular cheiro-verde. Somente no estado de São Paulo no ano de 2017 foi plantada uma área de 1450 ha com uma produção de 6393 t (CAMARGO FILHO; CAMARGO, 2019).

A utilização de águas salobras na hidroponia tem se mostrado vantajoso pois esta, em relação ao cultivo no solo, proporciona maior potencial da água, representando maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, com menor gasto energético e menores prejuízos morfofisiológicos, para a mesma quantidade de sais dissolvidos na água de irrigação (SOARES *et al.*, 2016). Mas a hidroponia ainda apresenta algumas desvantagens como os custos iniciais elevados e a necessidade de mão de obra especializada (Carmo Júnior, 2003). Visando reduzir essas desvantagens pode-se utilizar sistemas hidropônicos de baixo custo. Estes são adaptados à realidade do produtor, especialmente, agricultores familiares, e devem possuir eficiência na utilização da água, energia, espaço e mão de obra, bem como ser construído com materiais disponíveis na propriedade ou de fácil acesso ao produtor. (LUZ *et al.*, 2012; SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2011).

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre e está associado a resistência das plantas a estresses, como o estresse salino, em culturas como o coentro (JAMILA *et al.*, 2019), abóbora (WANG, *et al.*, 2015), arroz (CUONG *et al.*, 2017) e quiabeiro (ABBAS *et al.*, 2015). No cultivo de abóbora a plântula após 7,5 dias de tratamento salino a adubação com silício proporcionou aumento de 37% na massa fresca da parte aérea além de menor decréscimo na relação raiz/parte aérea (WANG, *et al.*, 2015).

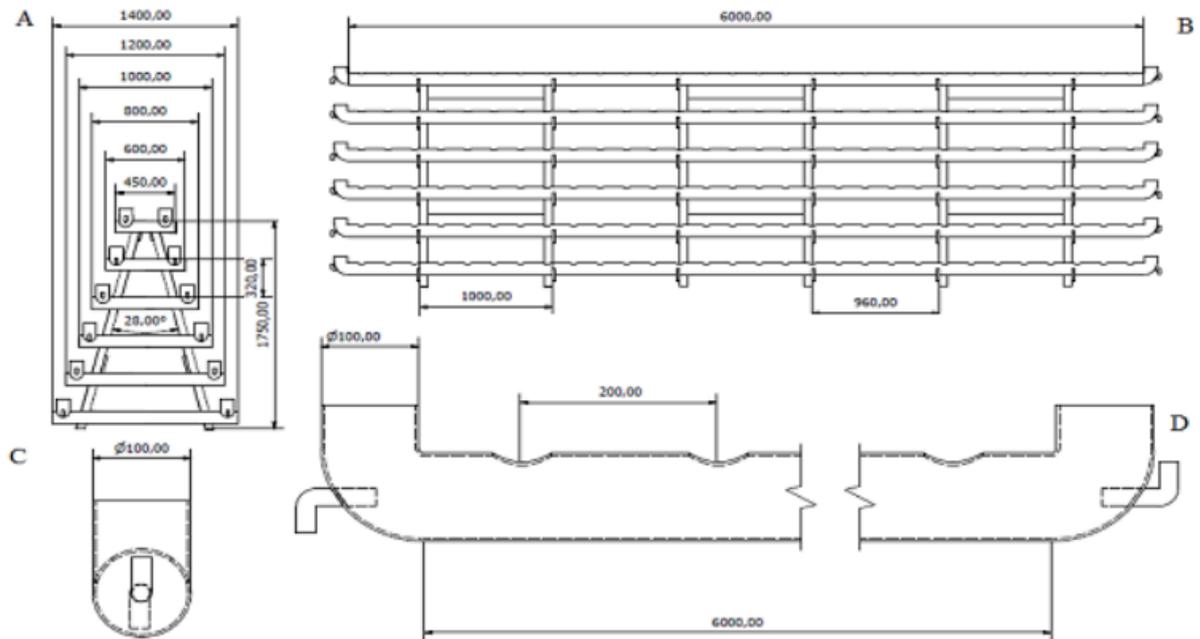
Objetivou-se com este trabalho analisar o crescimento, rendimento e composição nutricional da cebolinha cv. Todo Ano, cultivada em hidroponia, submetido aos níveis de salinidade da solução nutritiva na presença e ausência de adubação com silicato de potássio.

## 5.2 Material e métodos

Foram conduzidos dois cultivos entre os meses de janeiro a junho de 2018 em casa de vegetação na Estação Experimental do Instituto Federal do Piauí – Campus Campo Maior (4°51'45.3" S e 42°08'41.6" W). A casa de vegetação é composta por estrutura metálica, com 8 metros de largura e 12 metros de comprimento. As laterais são preenchidas com tela anti-afidica branca e a cobertura é preenchida com plástico difusor com espessura de 100 micra. Visando uma redução na temperatura interna foi instalada uma tela freshnet prata com 50% de reflectância no interior da mesma.

O sistema hidropônico utilizado foi uma adaptação do sistema proposto por Santos Junior, *et al.*, (2016) (Figura 1). Os experimentos foram realizados com a cultivar de cebolinha cv. Todo Ano, onde a mesma foi semeada em copos plásticos descartáveis de 200 mL, perfurados nas laterais e no fundo e preenchidos com substrato fibra de coco. Inicialmente não se utilizou solução nutritiva e após 20 dias da germinação realizou-se desbaste, mantendo-se uma planta por recipiente, procedendo-se então a implantação dos tratamentos previamente estabelecidos. No período dos experimentos conforme dados da estação meteorológica automática do Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia do IFPI – Campus Campo Maior, localizada a 100 m do experimento. A temperatura máxima, média e mínima registrada foi de 36,7, 26,46 e 20,9 ° C e a umidade relativa do ar máxima, média e mínima foram de 95,1, 76,48 e 30,9%.

Figura 1 - Desenho esquemático do módulo hidropônico utilizado (A), vista frontal e (B) vista lateral da estrutura, (C) vista frontal, (D) vista lateral do tubo e (E) experimento com coentro



Fonte: SANTOS JÚNIOR, (2013); Foto: Mateus Santos Machado

Nos dois ensaios, os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental com blocos casualizados, analisados em esquema fatorial 6 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de seis níveis de condutividades elétrica da solução nutritiva (CEsn), e presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP). Como fonte de silício foi utilizado o silicato de potássio (SIFOL® - 12% de Si e 15% de

K<sub>2</sub>O) na dose e frequência recomendada pelo fabricante para sistemas hidropônicos (0,4 L m<sup>-3</sup>, durante todo o ciclo da cultura), usando-se então a mesma na frequência semanal de tempo, no momento da reposição da água evaporada do reservatório da solução nutritiva.

A solução nutritiva usada foi proposta por Furlani *et al.*, (1999), resultando na condutividade elétrica da solução original de 3,7 dS m<sup>-1</sup>. Esta solução foi diluída equitativamente com água de poço profundo (Tabela 1), obtendo-se CESn de 2,3 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha). Para obtenção dos tratamentos salinos adicionaram-se quantidades crescentes de NaCl na solução diluída, conforme Richards, (1954), resultando em CESn de 2,3; 3,3; 4,3; 5,3; 6,3 e 7,3 dS m<sup>-1</sup>.

Tabela 1 - Resultado da análise de água de poço profundo do IFPI – Campus Campo Maior.

Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sup>-3</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	CE	RAS	pH
----- mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----							dS m <sup>-1</sup>		
0,7	0,8	10,0	0,1	5,7	4,8	1,4	1,18	8,28	8,1

Fonte: Laboratório de Água e Solo (FUNCEME) – UFC

Para o manejo da solução nutritiva fez-se a reciclagem de água e nutrientes, ou seja, preparou-se um volume inicial de 90 L (2,5 litros de solução por planta cultivada) de solução nutritiva por tratamento; às 9 h adicionavam-se manualmente 9 L de solução por tubo, e às 16 h este volume era retirado, despejado no reservatório e, após a homogeneização, coletavam-se novamente 9 L e aplicavam-se ao tubo. A condutividade elétrica e o pH foram medidos a cada 2 dias e este foi mantido entre 5,5 e 6,5 com a adição de ácido fosfórico.

Foram avaliadas as seguintes características de crescimento: altura da planta (AP) aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias após o início dos tratamentos. As medidas de altura da planta foram determinadas por meio de fita métrica do ponto de corte até o ápice e calculou-se também a taxa de crescimento absoluto (TCA) e a taxa de crescimento relativo (TCR).

Determinou-se as seguintes características de rendimento e consumo hídrico: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca do sistema radicular (MFR), massa seca do sistema radicular (MSR). As massas secas foram obtidas após serem submetidas por 96 horas em estufa de circulação forçada à temperatura de 65 °C. Os valores de MFPA, MFR, MSPA e MSR foram determinados em balança de precisão (0,01 g). Foi determinado também o consumo hídrico total (CHT), sendo este feito no reservatório de solução nutritiva, com intervalo semanal, quando era reposta a água evaporada do reservatório.

Para a determinação da eficiência do uso da água – massa fresca da parte aérea ( $EUA_{MFPA}$ ) e eficiência do uso da água – massa seca da parte aérea ( $EUA_{MSPA}$ ) utilizou-se as equações preconizadas por Silva *et al.* (2012) e Jabro *et al.* (2012). Para determinação do índice de clorofila total (ICTF) utilizou-se o CLOROFILOG (medidor eletrônico de teor de clorofila) da marca Falker®.

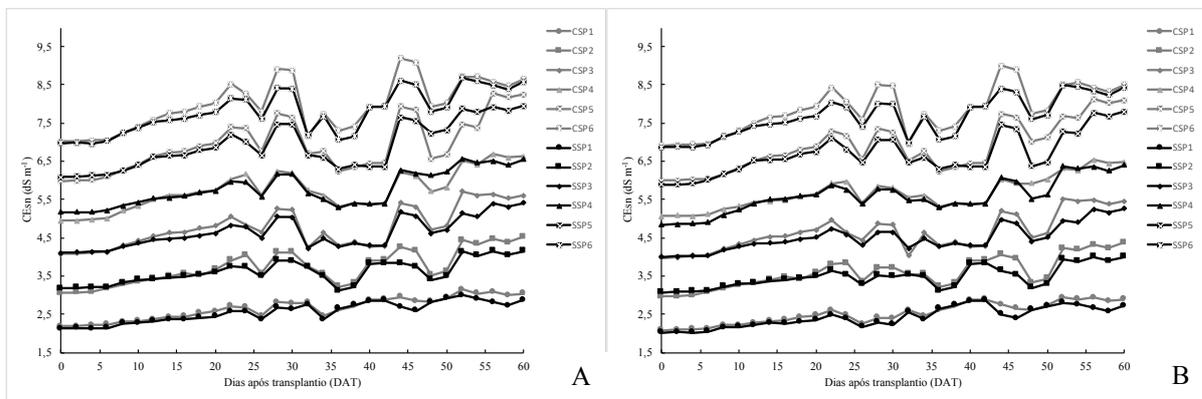
Também foi determinado os teores dos nutrientes ( $g\ kg^{-1}$ ): nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl), determinados na parte aérea, seguindo a metodologia descrita por SILVA(2009).

Com os dados obtidos fez-se a análise de variância (ANOVA). Quando constatados efeitos significativos ( $F < 0,05$ ) na Anova para presença e ausência de silicato de potássio fez-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, e quando efeitos significativos para CE da solução nutritiva, fez-se a análise de regressão, utilizando os softwares PAST® (Paleontological Statistical) 2.71 (Hammer, *et al.*, 2001) e SISVAR® v. 5.6 (FERREIRA, 2011).

### 5.3 Resultados e discussão

A condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) mensurada nos dois ciclos experimentais após os 60 dias do transplântio (DAT) variou entre os tratamentos com a presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP). O CSP apresentou valores superiores em ambos os ciclos, com aumento médio de 31,69% (Figura 2A) e 27,40% (Figura 2B) na CEsn, sendo estes valores superiores aos preconizados por Furlani *et al.*, (1999) para substituição da solução nutritiva. Já nos tratamentos SSP houve aumento médio de 25,25 % (Figura 2A) e 21,51 % (Figura 2B) na CEsn.

Figura 2 - Condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) com presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) no primeiro (A) e segundo cultivo da cebolinha (B).



Na análise da variância avaliando o efeito dos fatores ASP e CEsn (Tabela 2) para as variáveis de crescimento e rendimento, observou-se efeito não significativo ( $p < 0,01$ ) da interação (CEsn x ASP) em todas as variáveis estudadas. Para o fator CEsn observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ), exceto para a variável TCR, enquanto o fator ASP observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) apenas nas variáveis MFPA, MSPA, MFR e MSR.

Tabela 2 - Valores de F da análise de variância para as variáveis: altura (ALT), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR).

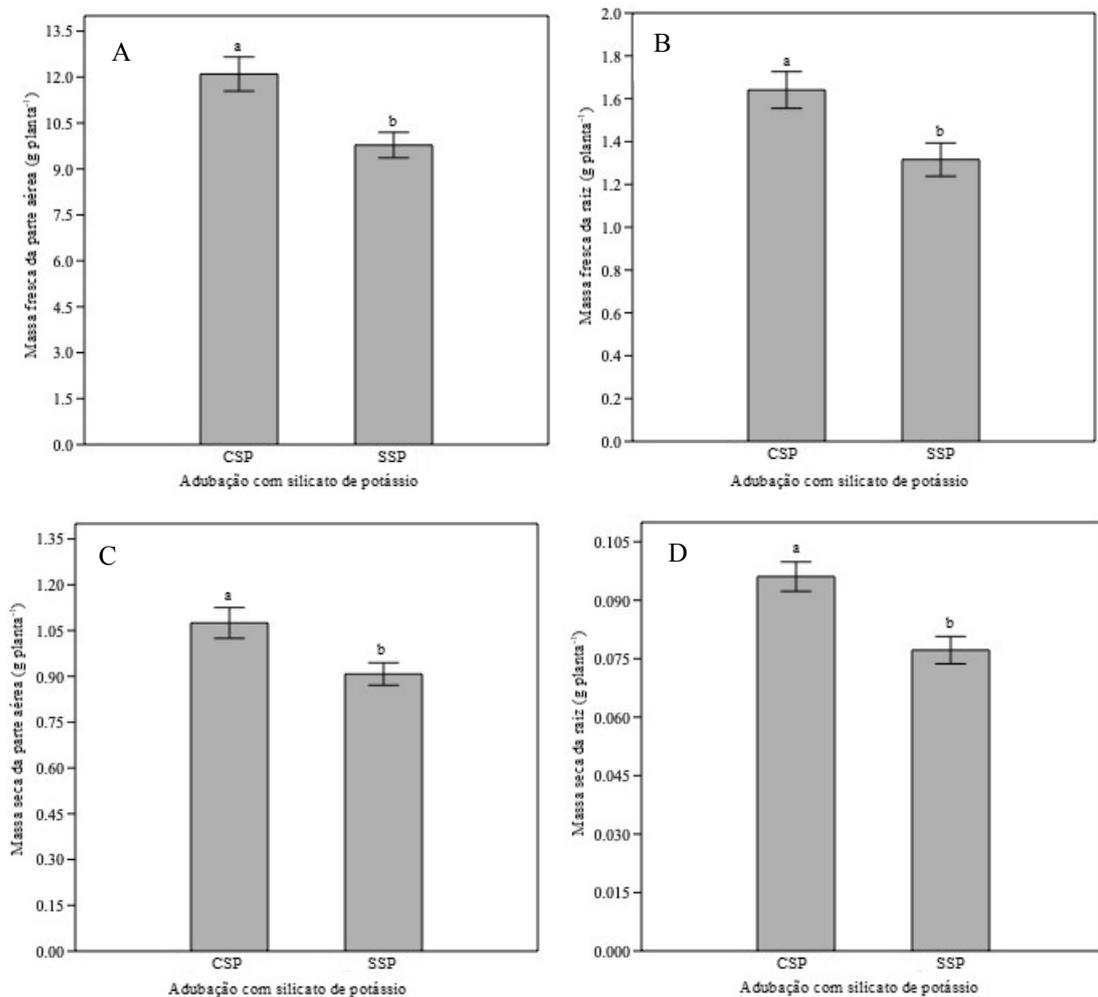
F.V.	ALT	TCA	TCR	MFPA	MSPA	MFR	MSR
ASP	0,69 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>

CEsn	0,00**	0,00**	0,06 <sup>ns</sup>	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
ASP x CEsn	0,98 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>
C.V (%)	9,43	15,21	76,15	21,57	22,95	27,78	22,95

\* e \*\* significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F.

O efeito da ASP pode ser observada com auxílio do teste de média de Tukey a 5% de probabilidade na Figura 3, onde as variáveis MFPA (Figura 3A), MSPA (Figura 3B), MFR (Figura 3C) e MSR (Figura 3D) obtiveram aumento médio de 19,18, 15,58, 19,82 e 19,97 %, respectivamente, em relação ao tratamento SSP, evidenciando assim o efeito positivo do silicato de potássio na cultura, aumentando os valores das variáveis produtivas.

Figura 3 – Efeito da presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) sobre a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR).

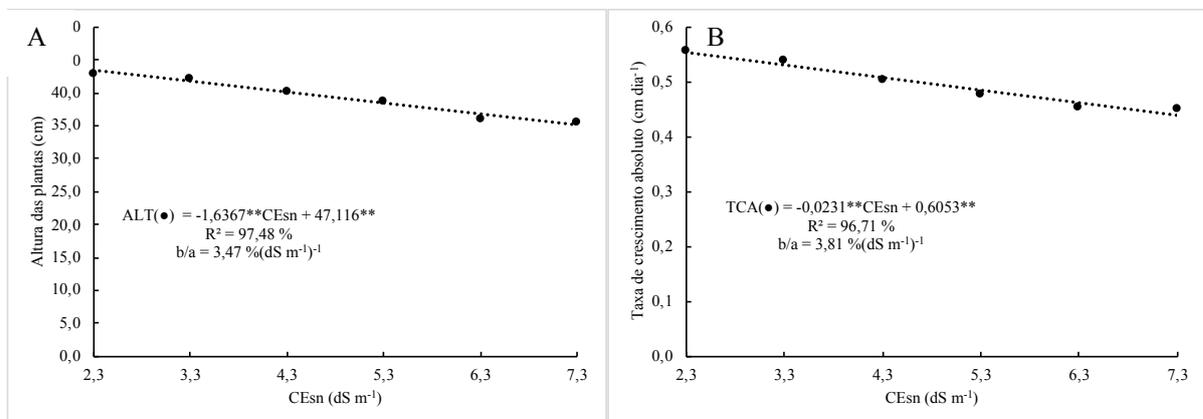


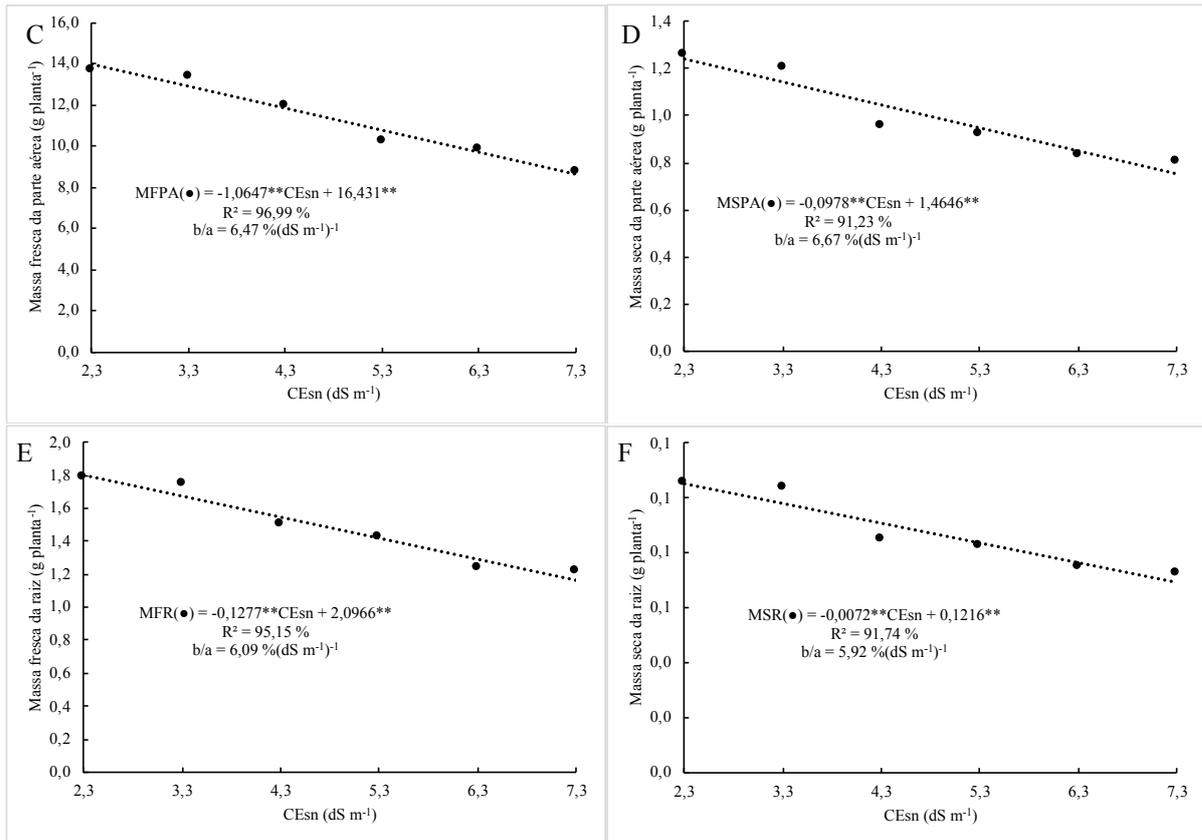
<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem, entre si, pelo teste de Tukey.

Para este estudo, independente da salinidade, a adubação com silício mostrou-se eficiente no aumento da MFPA, MSPA, MFR e MSR. Outros estudos mostram um efeito positivo da adubação com silício somente em condições de estresse salino como em coentro (JAMILA *et al.*, 2019), borage (*Borago officinalis* L.) (TORABI; MAJD; ENTESHARI, 2015), abóbora (WANG, *et al.*, 2015) e trigo (DAOUD, *et al.*, 2018). Outras variáveis que tem sido influenciadas pelo silício em condições de estresse salino são a taxa de expansão da área foliar, taxa de crescimento absoluto, matéria seca das hastes e folhas na cultura da uva para vinho (*Vitis vinifera* L.) (QIN *et al.*, 2016), aumento da taxa fotossintética, aumento da transpiração e aumento da condutância estomática (LIU *et al.*, 2015; QIN *et al.*, 2016).

O efeito da CESn (Figura 4) nas variáveis ALT, TCA, MFPA, MSPA, MFR e MSR foi linear e observou-se um decréscimo significativo ( $p < 0,05$ ) de 3,47; 3,81; 6,47; 6,67; 6,09 e 5,92% para as variáveis, respectivamente. Os resultados observados nos experimentos também foram observados por Silva *et al.* (2014), que usando água salina na irrigação da cebolinha, proporcionaram redução de 7% na ALT, 13,67 % na MFR e 15,13 % na MSR. Estudos com cultivo em solo de cebolinha francesa (*Allium schoenoprasum*) e o uso de águas de diferentes salinidades, também mostraram redução (em relação a testemunha) de 43% na MFPA, 22% na ALT e 43,10% na MSPA (ARSLAN; KIREMIT; GUNGOR, 2018).

Figura 4 - Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CESn) sobre a altura de plantas (ALT), Taxa de crescimento absoluto (TCA), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR).





Observa-se pela análise de variância (ANOVA) na Tabela 3, que não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) da interação entre os fatores ASP e CEsN. Para o fator ASP apenas a variável ICTF não foi influenciada ( $p > 0,05$ ), enquanto para o fator CEsN houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) nas variáveis CHT e ICT.

Tabela 3 - Valores de F da análise de variância para as variáveis: consumo hídrico total (CHT), eficiência do uso da água para produção de matéria fresca da parte aérea ( $EUA_{MFPA}$ ), eficiência do uso da água para produção de matéria seca da parte aérea ( $EUA_{MSPA}$ ) e índice de clorofila total Falker (ICTF).

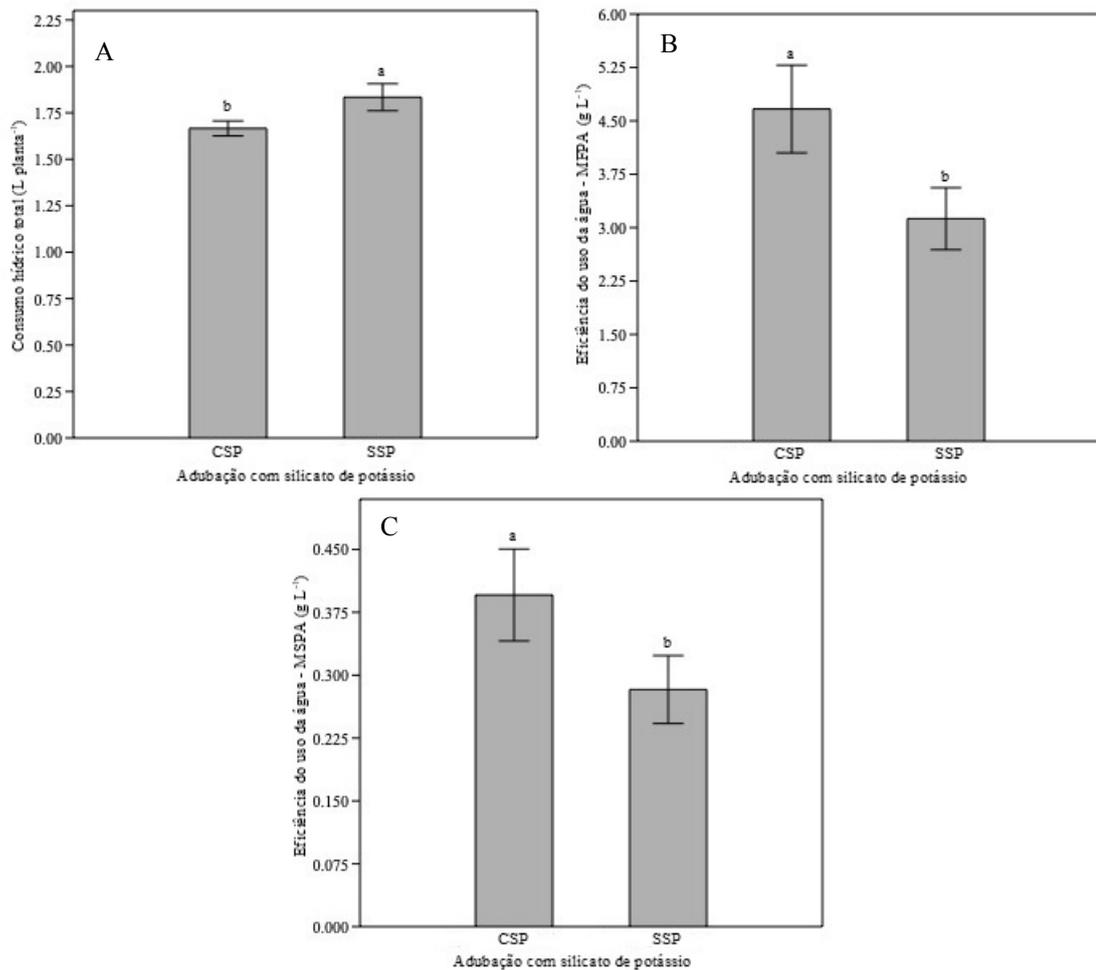
F.V.	CHT	$EUA_{MFPA}$	$EUA_{MSPA}$	ICTF
ASP	0,02*	0,00**	0,00**	0,17 <sup>ns</sup>
CEsn	0,00**	0,09 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,00**
ASP x CEsN	0,52 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	20,02	41,35	44,28	10,80

\* e \*\* significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F.

Conforme teste de média por Tukey a 5% de probabilidade, a ASP proporcionou redução significativa ( $p < 0,05$ ) de 10,07% na CHT (Figura 5A) e proporcionou aumento

significativo ( $p > 0,05$ ) de 33,01 % na  $EUA_{MFPA}$  (Figura 5B) e 28,56% na variável  $EUA_{MSPA}$  (Figura 5C). Como verificado anteriormente (Figura 3) houve um aumento nas variáveis de produção e este também pode ser explicado pela maior eficiência do uso da água como observado na Figura 5. Diferentemente de outros estudos o efeito da ASP aconteceu independente da CEs<sub>n</sub> e estes mostram que em condições de salinidade o silício proporcionou um aumento do potencial de água da folha, potencial de turgor da folha e potencial osmótico das folhas (ABBAS *et al.*, 2017); aumento do conteúdo relativo de água, redução do potencial de água e da planta e aumento da atividade das aquaporinas (LIU *et al.*, 2015); aumento da condutância hidráulica da raiz (WANG, *et al.*, 2015) e aumento da eficiência intrínseca do uso da água (QIN *et al.*, 2016), contribuindo assim para mitigação dos efeitos deletérios do estresse salino.

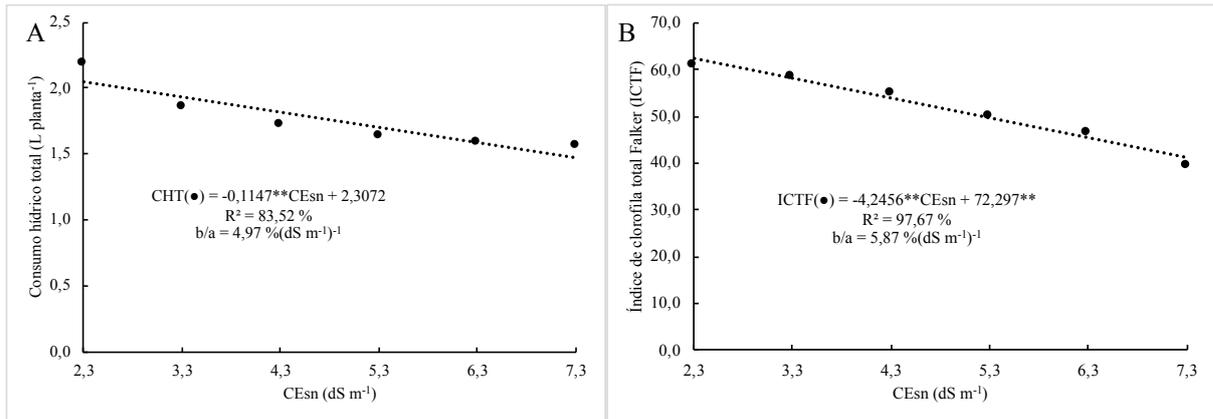
Figura 5 - Efeito da presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) sobre o consumo hídrico total (CHT), eficiência do uso da água para produção de matéria fresca da parta aérea ( $EUA_{MFPA}$ ) e eficiência do uso da água para produção de matéria seca da parta aérea ( $EUA_{MSPA}$ ).



<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem, entre si, pelo teste de Tukey.

O modelo ajustado da análise de regressão foi o linear onde pode-se observar na figura 6 o efeito deletério do aumento da CEs<sub>n</sub>, causando redução de 4,97% na CHT e 5,87% na ICTF. Também é observado um consumo hídrico médio de 1,75 L planta<sup>-1</sup>. Apesar da quase inexistência do potencial matricial em sistemas hidropônicos, devido a ausência de solo, o aumento da condutividade elétrica, devido ao uso de águas salobras, se apresenta danosa para o desenvolvimento das plantas (SILVA *et al.*, 2012), necessitando sempre de monitoramento constante entre os produtores rurais.

Figura 6 - Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE<sub>s</sub>) sobre o consumo hídrico total (CHT) e índice de clorofila total Falker (ICTF).



Silva Júnior *et al.* (2019), avaliando o consumo hídrico de cebolinha cultivada em hidroponia observaram redução no CHT com o aumento da CESn e valores médios de 0,33 L planta<sup>-1</sup>, para as condições climáticas de Recife – PE, tal redução também foi observada no presente experimento, demonstrando que mesmo em condições hidropônicas as plantas não conseguem uma absorção adequada quando existe aumento da CESn.

Conforme a análise de variância (Tabela 4), o efeito da interação entre os fatores para o conteúdo nutricional da parte aérea na cultura da cebolinha não foi significativo ( $p > 0,05$ ). Para o fator ASP houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) apenas para as variáveis S, K e Cl. Para o fator CESn apenas a variável S, não foi influenciada.

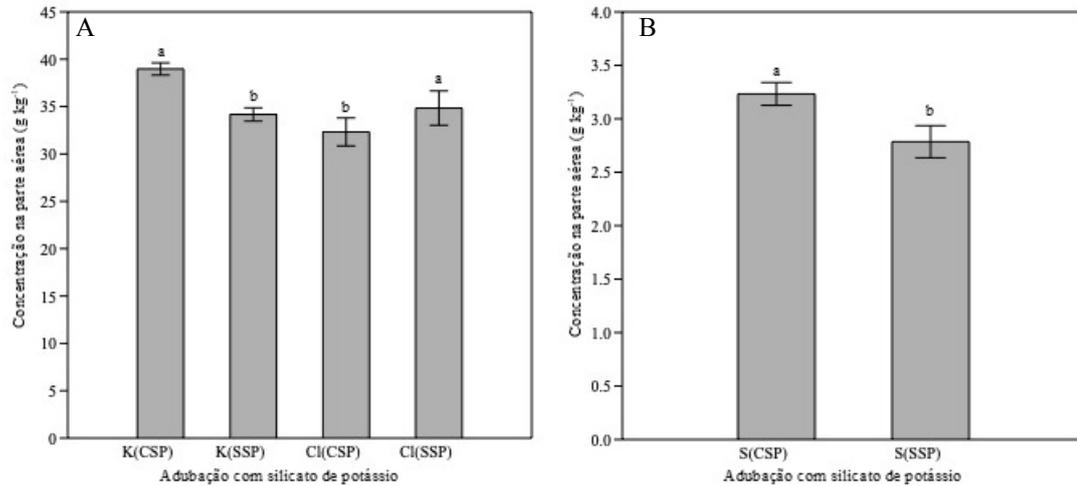
Tabela 4 - Valores de F da análise de variância para as variáveis (conteúdo nutricional da parte aérea): nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e Cloro (Cl).

F.V.	N	P	S	K	Ca	Mg	Na	Cl
ASP	0,052 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>*</sup>
CESn	0,00 <sup>**</sup>	0,00 <sup>**</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>**</sup>				
ASP x CESn	0,75 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>
C.V (%)	10,03	6,20	39,27	11,40	15,29	18,67	8,22	16,84

\* e \*\*, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F.

O efeito positivo da ASP pode ser observado na Figura 7 através do teste de Tukey, onde observa-se um efeito significativo ( $p < 0,05$ ) no aumento da concentração foliar de K (Figura 7A) e S (Figura 7B) em 12,32 e 13,82%, respectivamente, e uma redução na concentração foliar de Cl de 7,77% (Figura 7A). A redução de Cl pode ser considerada benéfica no presente estudo, devido as elevadas concentrações do mesmo na solução nutritiva, o que poderia acarretar elevadas concentrações nas plantas.

Figura 7 - Efeito da presença (CSP) e ausência (SSP) de adubação com silicato de potássio (ASP) sobre os teores foliares de K, Cl e S.



Médias seguidas de mesma letra não diferem, entre si, pelo teste de Tukey.

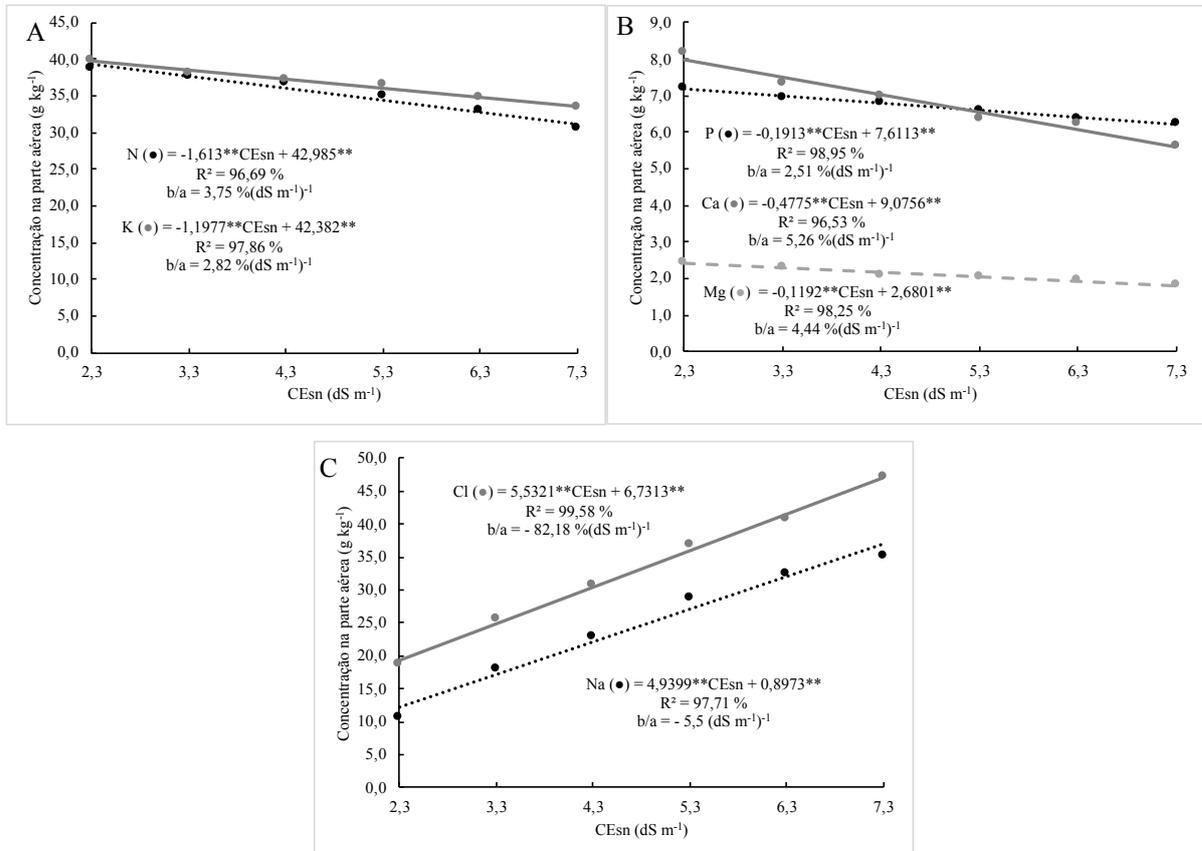
Diferentemente do observado por outros autores (IBRAHIM *et al.*, 2016; MATEOS-NARANJO; ANDRADES-MORENO; DAVY, 2013; QIN *et al.*, 2016) a ASP não teve efeito significativo no aumento das concentrações foliares de P, Ca e Mg e redução de Na<sup>+</sup>. Embora a concentração de K tenha aumentado significativamente ( $p < 0,05$ ) o que foi observado também por Ibrahim *et al.* (2016) e Mateos-Naranjo; Andrades-Moreno; Davy, (2013) e reduzido significativamente ( $p < 0,05$ ) a concentração de Cl também observado por Xu; Ma; Liu, (2015) e Qin *et al.* (2016).

Romero-Aranda; Jurado; Cuartero (2006) em estudos envolvendo a cultura do tomate e adubação com sílicio, observaram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na MFPA, MSPA e área foliar, contudo, similarmente ao presente experimento, também não foram observados reduções nos teores foliares de Na. Contudo, estes autores observaram aumento na  $EUA_{MFPA}$  e  $EUA_{MSPA}$ , como observado no presente experimento, além de aumento no potencial de água, potencial osmótico e potencial de turgor na folha, aumento na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e transpiração. A adubação com sílicio não reduziu os teores foliares de Na e Cl mas aumentou o conteúdo de água da planta podendo assim explicar o alto crescimento e a consequente mitigação dos efeitos de toxicidade da salinidade pela diluição do cloreto de sódio.

Com o aumento da CEs<sub>n</sub> houve redução significativa ( $p < 0,05$ ), dos teores foliares de N e K (Figura 8A) e P, Ca e Mg (Figura 8B) em 3,75, 2,82, 2,51, 5,26 e 4,44%, respectivamente. No teor foliar de Cl (Figura 8C) houve aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de

82,18 % e para o teor foliar de Na (Figura 8C) houve aumento na concentração no valor de 5,5 g kg<sup>-1</sup> para cada aumento unitário da CEsn.

Figura 8 - Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) sobre os teores foliares de N e K; P, Ca e Mg e Na e Cl.



Alguns trabalhos (SANTOS *et al.*, 2017; SOARES *et al.*, 2016; VASCONCELOS *et al.*, 2014) mostram a redução no conteúdo nutricional das culturas e aumento na concentração de Na e Cl com o aumento da CEsn. À medida que os íons salinos se acumulam em excesso no citosol das células das plantas surgirão problemas de toxicidade (fase tóxica ou iônica) nas plantas expostas à salinidade. o excesso de íons no citosol, especialmente o Na<sup>+</sup>, causa grandes alterações sobre a atividade de enzimas e estrutura funcional de proteínas, causando efeitos diretos de toxicidade. Nessas condições, a salinidade pode induzir problemas sérios no transporte de água e de nutrientes minerais, acarretando “seca por salinidade” e desbalanço nutricional, especialmente na relação Na/K no citosol (SILVEIRA *et al.*, 2016).

## 6 CONCLUSÃO

Na cultura do coentro a adubação com silicato de potássio contribuiu para minimizar o efeito da salinidade nas plantas de coentro em condições hidropônicas. Reduziu também os teores de sódio e cloro, contribuindo assim para redução nos danos causados pelos respectivos íons.

Na cultura da cebolinha a interação entre a adubação com silicato de potássio e a condutividade elétrica da solução nutritiva não foi significativa, não contribuindo assim para mitigar os impactos causados pela salinidade no presente experimento. A adubação com silicato de potássio reduziu o teor de cloro, aumentou o de potássio, mas não teve influência nos teores foliares dos outros nutrientes avaliados.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, T. *et al.* Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v.37, n. 6, p.1-15, 2015.
- ABBAS, T. *et al.*, Exogenous Silicon Application Alleviates Salt Stress in Okra. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, Wanju-Gun, v. 58, n.4, p. 342-349, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**, 2017. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>. Acesso em: 20 de mar. 2020.
- ALMEIDA, D. **Manual de culturas hortícolas**. Lisboa, v. 1, Ed. Presença, 346p. 2006.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v.14, p. 371-375, 1939.
- ARSLAN, H.; KIREMIT, M. S.; GUNGOR, A. Impacts of different water salinity levels on salt tolerance, water use, yield, and growth of chives (*Allium schoenoprasum*). **Communications in soil science and plant analysis**, Philadelphia, v. 49, n. 20, p.1-12, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Manual Técnico: Cultivo de Hortaliças**. Campinas, SP, 2011.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BELFORT, C. C.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de hortaliças - LVI - carência de macronutrientes em cebolinha (*Allium schoenoprasum*). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v.40, n.1, p.221-234, 1983.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Recife, v. 8 e 9, p.107-137, 2011/2012.
- BIONE, M. A. A. *et al.* Crescimento e produção de manjeriço em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.12, p.1228–1234, 2014.
- BOSCO, M. R. de O. *et al.* Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.3, p. 296-302, 2009.
- BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União - Seção 1** Pág. 2, 15 jan. 2004.
- BRASIL. **Plano safra da agricultura familiar 2017-2020**. Secretária especial de agricultura familiar e do desenvolvimento agrário, 2017.

- CAMARGO FILHO, W. P. D.; CAMARGO, F. P. D. **PIB da produção de hortaliças no Estado de São Paulo**. Revista Attalea Agronegócios, 2017. Disponível em: <https://revistadeagronegocios.com.br/iea-instituto-de-economia-agricola-pib-da-producao-de-hortalicas-no-estado-de-sao-paulo-2017/>. Acesso: 27 de abr. de 2020.
- CARMO JÚNIOR, R. R. O que é hidropônia. Disponível em: <http://www.terravista.pt/bilene/7810/oque.htm>. Acesso em: 01 jan. 2018.
- CARRASCO, G.; IZQUIERDO, J.A. **A média empresa hidropônica: A técnica da solução nutritiva recirculante (“NFT”)**. Talca, Chile, Universidade de Talca, Escritório Regional da FAO para a América Latina e o Caribe, 91 p.1996.
- CASTELLANE, P. D.; ARAUJO, J. A. C. **Cultivo sem solo – hidroponia**. 2ª ed. Jaboticabal: Funesp, 1995. 43p.
- CHIBA, Y. *et al.* HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. **The Plant Journal**, United Kingdom, v.57, p. 810–818, 2009.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 10 de jun. de 2020.
- CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação** (Conceitos básicos e práticas). Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2001. 32 p.; il.; 21 cm - (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 167).
- COSKUN, D. *et al.* The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. **Frontiers in Plant Science**, Lousanne, v.7, p.1-7, 2016.
- CUONG, X. T. *et al.* Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. **Rice Science**, Amsterdam, v. 24, n.5, p. 283-290, 2017.
- DAOUD, A.M. *et al.* Effect of silicon on the tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salt stress at different growth stages: case study for the management of irrigation water. **Plants**, Basel, v. 7, n. 29, 2018.
- DESHMUKH, R. *et al.* A precise spacing between the NPA domains of aquaporins is essential for silicon permeability in plants. **The Plant Journal**, Hoboken, v. 83, p. 489-500, 2015.
- DOUGLAS, J.S. **Hidroponia: cultura sem terra**. São Paulo: Nobel, 150 p. 1987.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2ª ed. Trad. NUNES, M.E.T. Londrina: Editora Planta, 2006, 403 p.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v. 147, p. 881–896, 2018.

FAO. 2016. **AQUASTAT** Base de dados. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/aquastat>. Acesso em 15 de ago. de 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. revisada e ampliada. Ed. UFV. Viçosa. 421 pp, 2008.

FREIRES, I. A. *et al.* Coriandrum sativum L. (Coriander) essential oil: antifungal activity and mode of action on Candida spp., and molecular targets affected in human whole-genome expression. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 6, p. 1-13, 2014.

FURLANI, P.R. *et al.* **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 5p. (Boletim técnico, 180).

FURLANI, P.R. *et al.* **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_1/hidroponiap1/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm). Acesso em: 4/4/2017

FURLANI, P.R. *et al.* **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/hidroponiap2/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm). Acesso em: 4/4/2017

GRANGEIRO, L. C. *et al.* Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **AGRARIA - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p.11-16, jan.-mar., 2011

GUALBERTO, R.; RESENDE, F.V.; BRAZ, L.T. Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico ‘NFT’ em três diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 155-158, jul. 1999.

HAMMER, O.; HARPER, D.; RYAN, P. Past: Paleontological statistics software Packaged for education and data analysis. **Palaentologia Electronica**, v. 4, p. 1-9, 2001.

HARSHA, S. N.; ANILAKUMAR, K. R. In vitro free radical scavenging and DNA damage protective property of Coriandrum sativum L. leaves extract. **Journal Food Science Technology**, New Delhi, v. 51, n. 8, p. 1533-1539, 2012.

HEINE, G.; TIKUM, G.; HORST, W.J. Silicon nutrition of tomato and bitter gourd with special emphasis on silicon distribution in root fractions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.168, p.600–606, 2005.

HEREDIA Z., N. A. *et al.* Produção e renda bruta de cebolinha e de salsa em cultivo solteiro e consorciado. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n.3, p.574-577, Set 2003.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California. Agricultural Experimental Station, 347p., 1950.

HOLANDA, J.S. de *et al.* **Qualidade da água para Irrigação**. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C.F. de. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCTsal, 2016.

IBRAHIM, M. A. *et al.* Application of silicon ameliorated salinity stress and improved wheat yield. **Journal of Soil Science and Environmental Management**.v. 7, n. 7, p. 81-91, July, 2016.

JABRO, J. D.; IVERSEN, W. M.; EVANS, R. G. Water use productivity of sugarbeet, malt barley, and potato as affected by irrigation frequency. **Agronomy Journal**, Hoboken, v. 104, p. 1510-1516, 2012.

JABRO, J. D.; IVERSEN, W. M.; EVANS, R. G. Water use productivity of sugarbeet, malt barley, and potato as affected by irrigation frequency. **Agronomy Journal**, Honoken, v. 104, p. 1510-1516, 2012.

JAMILA, F. *et al.* Effect of Silicon Application on Coriandrum sativum (L) Under Salt Stress. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v.10, n. 11, p. 26-33, 2019.

KORNDORFER, G. H. Elementos Benéficos. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solo – SBCS, 2006. cap. XIV, p 355-374.

LANDI, S.*et al.* Poaceae vs. abiotic stress: Focus on drought and salt stress, recent insights and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.8, p. 1214,2017.

LIANG, Y.*et al.* Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Environmental Pollution**, Kidlington, v.147, p. 422–428, 2007.

LIMA, M. A. *et al.* Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 398–403, 2011.

LIRA, R. M. *et al.* Cultivo de coentro em diferentes níveis de salinidade e umidade do solo. **Revista GEAMA**, Recife, v.1, n.3, p. 293-303, 2015.

LIU, P. *et al.* Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in Sorghum bicolor L. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v. 111, p. 42–51, 2015.

LUX, A. *et al.* Silicification in sorghum (Sorghum bicolor) cultivars with different drought tolerance. **Plant Physiology**, Rockville, v.115, p. 87–92, 2002.

LUZ, J. M. Q. *et al.* Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n. 4, p. 589-597, 2012.

- MA, J.F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v.65, p. 3049–3057, 2008.
- MAKISHIMA, N. **O cultivo de hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-CNPq: EMBRAPA-SPI, 1993. 116 p. (Coleção Plantar, 4).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 319 p, 1997.
- MANIVANNAN, A. *et al.* Silicon Mitigates Salinity Stress by Regulating the Physiology, Antioxidant Enzyme Activities, and Protein Expression in *Capsicum annum* ‘Bugwang’. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, New York, v. 2, p.1-16, 2016.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTINEZ, H. E. P.; SILVA FILHO, J. B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. 3ª. Ed. Viçosa: UFV, 111p., 2006.
- MARTINEZ, H.E.P.; BARBOSA, J.G. **O cultivo de flores sob hidroponia**. Viçosa: Boletim de extensão, n. 38, 1996. 25p.
- MATEOS-NARANJO, E.; ANDRADES-MORENO, L.; DAVY, A. J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy-Les-Moulineaux, v. 63, p. 115-121, 2013.
- MENDES, B. S. da S. *et al.* Mecanismo fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.
- MITANI, N. *et al.* Identification and characterization of maize and barley Lsi2-Like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. **Plant cell**, Rockville, v.21, p. 2133–2142, 2009.
- MITANI, N. *et al.* Isolation and functional characterization of an influx silicon transporter in two pumpkin cultivars contrasting in silicon accumulation. **The Plant Journal**, Hoboken, v.66, p.231–240, 2011.
- MONTPETIT, J. *et al.* Cloning, functional characterization and heterologous expression of TaLsi1, a wheat silicon transporter gene. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 79, p.35–46, 2012.
- NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. S. Coentro: a hortaliça de mil e uma utilidades. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, 2005. Nota de Capa.
- OLIVEIRA, E. Q. *et al.* Produção e valor agroeconômico no consórcio entre cultivares de coentro e de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 285-289, 2005.
- OLIVEIRA, F. de A. de *et al.* Tolerância do maxixeiro, cultivado em vasos, à salinidade da água de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.1, p. 147-154, 2014.

PAPADOPOULOS, A. P. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Ottawa: **Agriculture Canada Publication**, 1991, 79p. (Publication 1865/E).

PAPADOPOULOS, A.P. Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media. Ottawa: **Agriculture Canada Publication**, 1994, 126p. (Publication 1902/E).

PATHAK, N.L. et al. Phytopharmacological properties of Coriander sativum as a potential medicinal tree: an overview. **Journal Applied Pharmaceutical Science**, v. 1, n. 4, p. 20-25, 2011.

PAULUS, D. **Produção, qualidade e parâmetros fisiológicos e bioquímicos de alface sob hidroponia com águas salinas**. 2008. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PEREIRA, R.S; MUNIZ, M.F.B.; NASCIMENTO, W.M. Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p.703-706, 2005.

POSTEK, M. T. The occurrence of silica in leaves of Magnolia grandiflora. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 142, n. 1, p. 124-134, 1981.

QIN, L. *et al.* The influence of silicon application on growth and photosynthesis response of salt stressed grapevines (*Vitis vinifera* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 38, n. 68, 2016.

RESH, H.M. **Hydroponic food production**. 5th ed. Califórnia, EUA, Woodbridge Press Publishing Company, 1996, 527 p.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. United States Department of Agriculture. U. S. Government Printing, Office, D. C. ed. Washington, 1954.

RICHARDS, L.A. (Ed.). **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos**. 5. ed. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 172p. il (Centro Regional de Ayuda Técnica. Manual de Agricultor, 60).

RODRIGUES, P. Cooperação prevê avanços tecnológicos no cultivo protegido de hortaliças. In: **Hortaliças em Revista**. Embrapa Hortaliças. Ano IV - Número 17 Julho-Setembro de 2015.

ROMERO-ARANDA, M. R.; JURADO, O.; CUARTERO, J. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal of Plant Physiology**, Munich, v. 163, p.847-855, 2006.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Crescimento de girassóis ornamentais sob estresse salino em Hidroponia de baixo custo. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 591-604, julho - setembro, 2016.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, p.842-849, 2011.

SANTOS JÚNIOR, J. A. **Manejo de águas salinas e residuárias na produção de flores de girassol em sistema hidropônico para regiões semiáridas**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 236f, 2013.

SANTOS, A. N. D. *et al.* Concentração de nutrientes em tomate cereja sob manejos de aplicação da solução nutritiva com água salobra. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 576-585, 2017.

SEBRAE. **Cheiro-verde: Saiba como cultivar hortaliças para semear bons negócios**. Série Agricultura Familiar: Coleção Passo a Passo. 2011. Disponível em: [http://uc.sebrae.com.br/files/institutional-publication/pdf/cartilha\\_cheiro\\_verde\\_passo\\_a\\_passo.pdf](http://uc.sebrae.com.br/files/institutional-publication/pdf/cartilha_cheiro_verde_passo_a_passo.pdf). Acesso em 20 de Abr. de 2017.

SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W. Hidroponia: uma técnica alternativa de cultivo. **Informe Agropecuário** Belo Horizonte, v. 20, p. 200-201, 1999.

SILVA JUNIOR, F. J. da *et al.* Water relations of chives in function of salinity and circulation frequency of nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, n.5, 2019.

SILVA, A. O. *et al.* Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido - PE e rejeito de dessalinizador. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p. 147-155, 2011.

SILVA, A. P. P.; MELO, B. **Hidroponia**. 2003. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.htm>. Acesso em 1 de abril de 2020

SILVA, A.O. da *et al.* Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido - PE e rejeito de dessalinizador. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 147-155, 2011.

SILVA, B. A.; SILVA, A. R. da; PAGIUCA, L. G. Cultivo protegido: Em busca de mais eficiência produtiva. **Hortifruti Brasil**. 2014. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/cultivo-prottegido-versus-campo-aberto.aspx>. Acesso em 15 de mar. 2020.

SILVA, F. C. D. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 628p.

SILVA, F. V. da *et al.* Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.8, n.3, p.476-482, 2013.

SILVA, M. G. D. *et al.* Crescimento e produção de coentro hidropônico sob diferentes densidades de semeadura e diâmetros dos canais de cultivo. **Irriga**, Botucatu, v.21, n.2, p. 312-326, 2016.

SILVA, M. G. d. *et al.* Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system using brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n.8, p. 547-552, 2018.

- SILVA, P. F. da *et al.* Análise quantitativa da cebolinha irrigada com água salina. **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 5, n. 3, p. 241-251, 2014.
- SILVEIRA, J. A. G. *et al.* Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: H. R. Gheyi, N. d. S. Dias & C. F. d. Lacerda, eds. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, p. 504, 2016.
- SIVANESAN, I.; SON, M. S.; JEONG, B. R. Effect of soaking of seeds in potassium silicate and uniconazole on germination and seedling growth of tomato cultivars, Seogeon and Seokwang. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n.35, p. 6743-6749, 2011.
- SNYDER, G. H.; MATICHENKOV; DATNOFF, V. V.; L. E. **Silicon, in Plant Nutrition**, pp. 551–562, Taylor & Francis, Belle Glade, Fla, USA, 2006.
- SOARES, H. R. e *et al.* Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 656–664, 2016.
- SOARES, T.M. *et al.*, Uso de águas salobras em sistemas hidropônicos de cultivo. In: H. R. Gheyi, N. d. S. Dias & C. F. d. Lacerda, eds. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, p. 504, 2016.
- SUN, H. *et al.* Isolation and functional characterization of CsLsi1, a silicon transporter gene in *Cucumis sativus*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 159, p. 201–214, 2017.
- TAIZ L; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.
- TEIXEIRA, N.T. **Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas**. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86p.
- TORABI, F.; MAJD, A.; ENTESHARI, S. The effect of silicon on alleviation of salt stress in borage (*Borago officinalis* L.). **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxfordshire, v.61, p. 788–798, 2015.
- TORRE-GONZALEZ, A. de la *et al.* Comparative study of the toxic effect of salinity in different genotypes of tomato plants: Carboxylates metabolism. **Scientia Horticulturae**, Leuven, 217, 173–178, 2017.
- TRANI, P. E. *et al.* **Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula**. Campinas: Instituto Agronômico, 2014, 16p. (Informações Tecnológicas IAC, 97).
- VASCONCELOS, L. S. B. de *et al.* Desenvolvimento de plantas de coentro em função da força iônica da solução nutritiva. **Pesquisa agropecuária pernambucana**, Recife-, v. 19, n. 1, p. 11-19, jan./jun, 2014.
- WANG, S. *et al.* Silicon enhanced salt tolerance by improving the root water uptake and decreasing the ion toxicity in cucumber. **Frontiers in Plant Science**, Leusanne, v. 6, p.1-15, 2015.

WU, J. *et al.* Distinct physiological responses of tomato and cucumber plants in silicon-mediated alleviation of cadmium stress. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 453, 2015.

XU, C.; MA, Y.; LIU, Y. Effects of silicon (Si) on growth, quality and ionic homeostasis of aloe under salt stress. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 98, p. 26–36, 2015.

ZEN, H. D.; BRANDAO, J. B. Competitividade da produção hidropônica de hortaliças folhosas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 115-128, 2019.

ZHU, Y.-X.; GONG, H.-J.; YIN, J.-L. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A review. **Plants**, Basel, v. 8, p. 147-170, 2019.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 34, n. 2, p. 455- 472, 2014.