

LUCAS YAGO DE CARVALHO LEAL

RELAÇÕES HÍDRICAS EM ESPINAFRE (*Spinacia oleracea* L.)
CULTIVADO COM ÁGUAS SALOBRAS SOB SISTEMAS HIDROPÔNICO
E SOLO COM E SEM COBERTURA.

RECIFE - PE
2018

LUCAS YAGO DE CARVALHO LEAL

RELAÇÕES HÍDRICAS EM ESPINAFRE (*Spinacia oleracea* L.)
CULTIVADO COM ÁGUAS SALOBRAS SOB SISTEMAS HIDROPÔNICO
E SOLO COM E SEM COBERTURA.

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador:

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza

Co-Orientador:

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior

RECIFE - PE
2018

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L435r Leal, Lucas Yago de Carvalho
Relações hídricas em espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cultivado com águas salobras sob sistemas hidropônico e solo com e sem cobertura / Lucas Yago de Carvalho Leal. – 2018.
93 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.
Coorientador: José Amilton Santos Júnior
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências.

1. Salinidade 2. Potencial osmótico 3. Trocas gasosas 4. Cobertura plástica 5. Hidroponia I. Souza, Edivan Rodrigues de, orient. II. Santos Júnior, José Amilton, coorient. III. Título

CDD 631

LUCAS YAGO DE CARVALHO LEAL

RELAÇÕES HÍDRICAS EM ESPINAFRE (*Spinacia oleracea* L.)
CULTIVADO COM ÁGUAS SALOBRAS SOB SISTEMAS HIDROPÔNICO
E SOLO COM E SEM COBERTURA.

Dissertação defendida e aprovada em 09 de agosto de 2018 pela banca examinadora:

Orientador:

Edivan Rodrigues de Souza, Prof. Dr.

DEPA - UFRPE

Examinadores:

José Amilton Santos Júnior, Prof. Dr.

DEAGRI - UFRPE

Monaliza Alves dos Santos, Dra

DA – UFRPE

“Tente aprender alguma coisa sobre tudo e tudo sobre alguma coisa”.

Thomas Henry Huxley

À Deus;

Aos meus pais Emmanoel de Queiroz Leal
e Carmen Lucia de Lima Carvalho Leal;

Meu irmão Diego José de Carvalho Leal;

A minha noiva Zingara Magalhães;

E a tantos outros que fizeram parte direta
e indiretamente deste trabalho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Começarei agradecendo a Deus, pois sempre esteve comigo nos bons e nos maus momentos, quando me senti só ou até mesmo deixei de acreditar que conseguiria, a fé foi a minha principal ferramenta para seguir em frente.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo que recebi, em especial aos meus pais Emmanoel de Queiroz Leal e Carmen Lucia de Lima Carvalho Leal, bem como ao meu irmão Diego Leal por estarem ao meu lado me dando todo o suporte que eu precisava nas diversas fases da vida, estando ao meu lado até hoje. Sei que por mais que eu agradeça será pouco, mas passarei a vida tentando retribuir todo o amor e carinho que me foi dado e sem dúvida buscando formas de orgulha-los.

A minha noiva, maior companheira e melhor amiga, Zíngara Magalhães, por apoiar, aconselhar e, especialmente, por estar junto a mim ao longo dos últimos quase oito anos, fazendo do nosso relacionamento um porto seguro. Agradeço-a, também, por literalmente tornar possível a realização tanto deste, quanto de outros trabalhos que já realizei durante a minha carreira acadêmica, pois certamente ela é o meu grande incentivo.

Aos meus amigos e colegas que fizeram ou ainda fazem parte da minha vida acadêmica Juliana Martins, Martha Paulino, João Loreto, Vitor Nepomuceno, Olimpio Arroxellas, Anízio e diversos outros que tornaram menos árdua esta caminhada.

Aos meus colegas que fizeram e ainda fazem parte do grupo de pesquisa Solo Água Planta (SAP), Cintia Lins, Pablo Magalhães, Danilo Monteiro e Hidelblandi Farias por todo o conhecimento teórico e prático que adquiri e continuo adquirindo ao longo de nossos bons anos de convivência. Em especial à PNPd Monaliza Alves e à doutoranda Aglair Alves, que estiveram presentes, me ajudando, nos momentos em que mais precisava de apoio, sempre muito disponíveis e dedicadas.

Aos alunos de Iniciação Científica Francisco, Isaias e Lucas, pela ajuda na realização deste trabalho, como também pela boa convivência.

Ao meu Orientador Edivan Rodrigues de Souza, por todos os ensinamentos que recebi e continuo a receber, além do incentivo que me fez despertar o interesse pela carreira acadêmica. Não podendo deixar de destacar as inúmeras demonstrações de ética, respeito e profissionalismo ao longo de todos esses anos aos quais graças a ele, tive a oportunidade de fazer parte deste grupo de pesquisa.

Ao meu co-orientador José Amilton Santos Junior, pelas conversas, incentivo e ensinamentos e, certamente, pelas palavras sinceras, as quais levo comigo e tenho certeza, de que por meio delas, me tornarei um profissional cada vez melhor.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela equipe docente, técnicos e estrutura, em especial ao Coordenador do programa Ênio Farias de França e Silva, que forneceu, dentro do possível, todo o suporte necessário para minha formação e realização desta pesquisa.

A CAPES pela concessão da bolsa, tornando possível a realização desta e de tantas outras pesquisas em todo o Brasil.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
RESUMO GERAL	12
GENERAL ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL / REVISÃO DE LITERATURA	14
1.1. INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO II - STATUS HÍDRICO DO SOLO, SOLUÇÃO NUTRIVA E ESPINAFRE (<i>Spinacia oleracea</i> L.) CULTIVADO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA SALOBRA.....	31
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	33
2.1. INTRODUÇÃO	34
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	36
2.3. VARIÁVEIS ANALISADAS	41
2.4. ANÁLISE DOS DADOS	44
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
2.6. CONCLUSÕES.....	58
2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPÍTULO III - TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM ESPINAFRE (<i>Spinacia oleracea</i> L.) CULTIVADO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA SALOBRA	66
RESUMO.....	67
ABSTRACT.....	68
3.1. INTRODUÇÃO	69
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	70
3.3. PARÂMETROS AVALIADOS.....	75
3.4. ANÁLISE DE DADOS.....	76
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
3.6. CONCLUSÕES.....	87
3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

Lista de Figuras

Capítulo 2

Figura 01. Estufa utilizada durante o experimento.....	36
Figura 02. Esquema do sistema hidropônico <i>floating</i> , representando uma parcela experimental.	40
Figura 03. Croqui da área experimental com quatro blocos e um total de 72 vasos.	40
Figura 04. Área foliar do espinafre nos diferentes sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) e com os crescentes níveis de água de reposição. Letras iguais Maiúsculas não diferem entre si as CE da água e letras minúsculas ao sistema de cultivo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.	45
Figura 05. Teor relativo de Água (TRA) do espinafre irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.	47
Figura 06. Suculência foliar do espinafre em diferentes sistemas de cultivo (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.	48
Figura 07. Correlação entre o potencial osmótico dos sistemas adotados e a suculência foliar do espinafre.	48
Figura 08. Massa fresca da parte aérea do espinafre para os três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.	49
Figura 09. Massa seca da parte aérea do espinafre nos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.	50
Figura 10. Potencial osmótico final dos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	51
Figura 11. Condutividade elétrica final dos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	52
Figura 12. Potencial hídrico foliar do espinafre nos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	53
Figura 13. Potencial osmótico final dos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.	54
Figura 14. Potencial de pressão do espinafre para os três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.	55
Figura 15. Eficiência do uso da água (EUA) para os diferentes sistemas adotados irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	57
Figura 16. Lamina do consumo hídrico acumulado para os diferentes sistemas adotados irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	57

Capítulo 3

Figura 01. Estufa utilizada durante o experimento.	70
Figura 02. Esquema do sistema hidropônico <i>floating</i> , representando uma parcela experimental.	74
Figura 03. Croqui da área experimental com quatro blocos e um total de 72 vasos.	74
Figura 04. Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo Analyzer LICOR XT6400).	75
Figura 05. Conteúdo de clorofila <i>a</i> do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	78
Figura 06. Conteúdo de clorofila <i>b</i> do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	79
Figura 07. Conteúdo de carotenoides do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	80
Figura 08. Condutância Estomática do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	83

Figura 09. Concentração interna de CO ₂ em espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT Letras iguais, minúsculas entre os sistemas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.	84
Figura 10. Fotossíntese líquida (A) do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	85
Figura 11. Transpiração (E) do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.	86

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Tabela 01. Classificação de solos afetados por sais, de acordo com a CEes, pH e PST.	17
Tabela 02. Tolerância e potencial de rendimento de algumas culturas, influenciado pela salinidade da água de irrigação (CEa) ou pela salinidade do solo (CEes) expressas em dS/m.	20

Capítulo 2

Tabela 01. Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.	37
Tabela 02. Caracterização Química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.	38
Tabela 03. Número de folhas do espinafre em solo com e sem cobertura e em sistema hidropônico sob diferentes níveis de água salobra.	46
Tabela 04. Status hídrico do espinafre para as diferentes concentrações salinas.	57

Capítulo 3

Tabela 01. Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.	71
Tabela 02. Caracterização Química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.	72
Tabela 03. Análise de variância (ANOVA) para os pigmentos fotossintéticos e sua relação.	77
Tabela 04. Relação das clorofilas <i>a</i> e <i>b</i>	79
Tabela 05. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis de fluorescência da clorofila <i>a</i> e suas respectivas relações.	81
Tabela 06. Fluorescência variável, máxima e rendimento quântico do fotossistema II em espinafre cultivado em sistema solo (com e sem cobertura) e em hidropônico para as diferentes concentrações salinas da água de reposição.	81
Tabela 07. Análise de variância (ANOVA) das variáveis de trocas gasosas do espinafre.	82

LEAL, LUCAS YAGO DE CARVALHO. Me. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Agosto de 2018. **Relações hídricas em espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cultivado com águas salobras sob sistemas hidropônico e solo com e sem cobertura.**

Orientador: Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Co-orientador: Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior

RESUMO GERAL

Devido à escassez hídrica, comum em regiões de clima árido e semiárido, o uso de águas salobras na irrigação é cada vez mais comum. Entretanto, o manejo inadequado destas águas atrelado as características climáticas da região propicia a salinização do solo. Este processo causa uma série de efeitos deletérios que afetam características químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, do próprio cultivo. As hortaliças, de maneira geral, são culturas sensíveis aos estresses abióticos, ao mesmo tempo em que desempenham importante papel socioeconômico. O espinafre (*Spinacia oleracea* L.) apresenta altos teores nutricionais e é uma das culturas que vem crescendo na produção da agricultura familiar, seja pelo cultivo convencional ou hidropônico. Neste trabalho, objetivou-se comparar aspectos hídricos, fisiológicos e produtivos de espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cultivada com e sem solo arrojando águas salobras no processo de cultivo. Para isso, foi realizado um experimento com delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições em arranjo fatorial 6 x 3, sendo 6 (seis) níveis de concentrações de cloreto de sódio representados em termos de condutividades elétrica de 0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e 7,5 dSm^{-1} e 3 (três) sistemas de cultivo, sendo dois deles em solo, um com cobertura plástica e o outro sem cobertura e o terceiro sistema de cultivo foi representado pelo modelo hidropônico tipo *floating*. Determinaram-se os potenciais da água nos três sistemas de cultivo e em espinafre, além de associa-los com variáveis de crescimento e consumo de água (abordados no capítulo II), como também, foi analisado parâmetros de trocas gasosas, fluorescência da clorofila e pigmentos fotossintéticos do espinafre (capítulo III). Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F (0,05) e quando constatado efeito significativo, realizou-se à análise de regressão em relação aos diferentes níveis de salinidade e à análise de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As principais variáveis analisadas foram os potenciais do solo (osmótico), da planta (potencial hídrico foliar e osmótico) e da solução nutritiva (potencial osmótico), além da área foliar, biomassa, parâmetros de trocas gasosas, fluorescência da clorofila e pigmentos fotossintéticos. Os resultados demonstraram que houve redução dos potenciais do espinafre e do solo com aumento da condutividade elétrica, sendo as menores reduções para o sistema hidropônico. Os três sistemas apresentaram aumento do ajustamento osmótico com o aumento da salinidade da água. O Teor Relativo de Água reduziu linearmente para os três sistemas adotados, ao mesmo tempo que houve aumento da suculência foliar em decorrência da redução dos potenciais dos sistemas. O sistema hidropônico apresentou maior eficiência do uso da água seguido pelo solo com cobertura plástica e o solo sem cobertura. Houve redução dos pigmentos fotossintéticos, bem como dos parâmetros de trocas gasosas do espinafre em decorrência do aumento da salinidade. A fluorescência da clorofila *a* só apresentou diferença entre os sistemas adotados. Os potenciais de água no sistema e no espinafre é uma importante ferramenta para o monitoramento do status hídrico da cultura e o uso de técnicas como hidroponia e cobertura plástica são importantes para redução dos efeitos do uso da água salobra no espinafre, além de propiciarem maiores eficiências do uso da água.

Palavras-chave: Salinidade; potencial osmótico; trocas gasosas; cobertura plástica; hidroponia.

LEAL, LUCAS YAGO DE CARVALHO. MSc. Federal Rural University of Pernambuco.
August of 2018. **Water relations in spinach (*Spinacia oleracea* L.) cultivated with brackish water under hydroponic systems and soil with and without mulching.**

Advisor: Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Co-advisor: Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior

GENERAL ABSTRACT

Due to the water scarcity, common in arid and semiarid regions, the use of brackish water in irrigation is common. However, the inadequate management of these waters, coupled with the climatic characteristics of the region, leads to soil salinization. This process causes a number of deleterious effects that affect the chemical, physical and biological characteristics of soil and, consequently, of crop itself. In general, vegetables are sensitive to abiotic stresses, while at the same time they play an important socioeconomic. Spinach (*Spinacia oleracea* L.) has high nutritional contents and is a crops that has been growing in the production of family agriculture, either by conventional or hydroponic cultivation. In this work, the objective was to compare the water, physiological and productive aspects of spinach (*Spinacia oleracea* L.) cultivated with and without soil, arrograting brackish water in the growing process. For this, an experiment was carried out with a randomized block design, with four replications in a 6 x 3 factorial arrangement, with six (6) levels of sodium chloride concentrations in terms of electrical conductivity of 0; 1.5; 3.0; 4,5; 6 and 7 dSm⁻¹ and 3 (three) cultivation systems, two of them in soil, one with plastic mulching and the other without cover, and the third cropping system was represented by the floating type hydroponic model. The potentials of water in the three cropping systems and in spinach were determined, besides associating them with variables of growth and water consumption (discussed in chapter II), as well as parameters of gas exchange, chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments of spinach (Chapter III). The data were submitted to analysis of variance by the F-test (0.05) and when a significant effect was verified, the regression analysis was performed in relation to the different levels of salinity and the analysis of means comparison by the Tukey test at 5 % probability. The main variables analyzed were soil (osmotic), plant potential (leaf and osmotic water potential) and nutrient solution (osmotic potential), leaf area, biomass, gas exchange parameters, chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments. The results showed that there was a reduction in potentials of spinach and soil with an increase in electrical conductivity, being the smallest reductions for the hydroponic system. The three systems showed increased osmotic adjustment with increased salinity of water. The relative water content reduced linearly for the three systems adopted, while there was an increase in leaf succulence due to the reduction of the systems potentials. The hydroponic system showed higher efficiency of water use followed by soil with plastic mulching and soil without cover. There was a reduction of the photosynthetic pigments, as well as the parameters of gas exchange of the spinach due to the increase of the salinity. The chlorophyll a fluorescence only showed a difference between the systems adopted. The potentials of water in the system and spinach is an important tool for monitoring the water status of the crop and the use of techniques such as hydroponics and plastic mulching are important to reduce the effects of the use of brackish water in spinach, in addition to providing greater efficiencies of water use.

Keywords: Salinity; osmotic potential; gas exchange; mulching plastic; hydroponics

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL / REVISÃO DE LITERATURA

1.1. INTRODUÇÃO GERAL

A salinização do solo é um problema recorrente em áreas de clima árido e semiárido, podendo ser acentuada pelo manejo inadequado da irrigação, gerando perdas de produção em função de afetar características físico-hídricas do solo, como a dispersão das argilas e a diminuição da retenção de água e consequente absorção de nutrientes pela planta (FAO & ITPS, 2015). Causa ainda uma série de alterações de caráter fisiológico, sendo de suma importância o entendimento e monitoramento do sistema solo-planta, principalmente quando se visa um manejo adequado da salinidade na agricultura (GHEYI et al., 2016).

A salinidade pode afetar a planta de duas maneiras distintas, uma delas ocorre pela componente osmótica, que em decorrência das altas concentrações de íons na solução do solo, reduzem o potencial osmótico do meio acarretando um déficit hídrico na planta. Há outra maneira se dá pela componente iônica, decorrente da absorção de íons em altas concentrações, causando injúrias à planta (principalmente pelos íons sódio e cloro), além de afetar relações de absorção como Na/K entre outras (WILLADINO & CAMARA, 2010).

O Semiárido brasileiro é a principal região do país acometida pela salinização do solo e da água, devido as condições climáticas e a própria formação rochosa que propicia a formação de poços com altas concentrações de sais, em especial com águas cloretadas sódicas que, por sua vez, são utilizadas para irrigação e causam sérios problemas de ordem socioeconômica (SILVA JÚNIOR; GHEYI & MEDEIROS, 1999). Dentre as variáveis de solos afetadas pode-se incluir, ainda, a densidade, infiltração, complexo de troca, pH e condutividade elétrica do solo (VASCONCELOS, 2014).

A utilização do *mulching*, seja plástica ou matéria orgânica oriunda de restos de tratos culturais, vem demonstrando excelentes resultados em diversos aspectos da produção, como a redução do aparecimento de ervas daninhas e a redução da evaporação do solo, tornando-a uma importante técnica em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (CANTU et al., 2013; SOUZA et al., 2016a; LAMBERT et al., 2017).

Em decorrência da escassez hídrica e da presença de águas com altas concentrações de sais no semiárido, outra técnica que também surge como alternativa de produção é a hidroponia, sendo estudada mesmo quando a água utilizada no preparo das soluções nutritivas apresenta altos teores de sais, principalmente quando comparada ao cultivo no solo (SOARES et al., 2010; BIONE et al., 2014; SANTOS JÚNIOR et al., 2016). Nesse contexto, a avaliação de espécies vegetais em diferentes sistemas de cultivo auxilia em tomadas de decisão mais acertadas.

O espinafre (*Spinacia oleracea* L.) é uma das hortaliças folhosas com maiores quantidades de vitaminas e minerais, além de possuir antioxidantes e ômega 3, sendo estes especialmente aproveitados quando consumida *in natura* ou cozida. Apresenta benefícios como nutrientes de suporte ósseo, combate a radicais livres e o ajuste da pressão sanguínea (AVŞAR, 2011).

Essa cultura possui alta sensibilidade ao estresse hídrico e moderadamente sensível à salinidade (YURTYERI; CEMEK & ÜNLÜKARA, 2014). Há evidências de tolerância do espinafre ao estresse salino segundo Ünlükara, Yurtyeri & Cemek (2017).

Com o objetivo de comparar aspectos hídricos, fisiológicos e produtivos de espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cultivada com e sem solo arrojando águas salobras no processo de cultivo, este documento está estruturado em três capítulos, sendo o primeiro referente ao estado da arte (revisão de literatura) sobre o tema de investigação, o segundo capítulo intitulado: Status hídrico do solo, solução nutritiva e espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cultivado sob diferentes concentrações de água salobra e o terceiro capítulo intitulado: Trocas gasosas, fluorescência da clorofila e pigmentos fotossintéticos em espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cultivado sob diferentes concentrações de água salobra.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. Processos de salinização do solo

A salinização do solo poderá ocorrer por diversos fatores, sejam eles oriundos de causas naturais como intemperismo de rochas com altos teores de sódio, atrelado a áreas de lixiviação restrita, ou mesmo pela ação antrópica, em decorrência do inadequado manejo da terra e da água, como pelo uso indiscriminado de águas salobras na irrigação, drenagem deficiente, entre outras práticas inadequadas principalmente atreladas a agricultura irrigada (FAO & ITPS, 2015).

Com base em três critérios técnicos, o Ministério da Integração Nacional (2017) institui que é considerado área de clima semiárido locais que apresentem, pelo menos, uma das três características, sendo elas: precipitação média anual inferior a 800 mm, índice de aridez de até 0,5 e que apresente percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%. Com base nesses critérios, em julho de 2017, foram adicionados 54 municípios na delimitação do Semiárido.

Segundo Audry & Suassuna (1995), devido a características geológicas e climáticas, o Nordeste brasileiro apresenta diversos corpos d'água com elevadas concentrações de sais, além de acúmulo dos íons sódio e cloro tendenciados pela evaporação local, sendo de suma importância a verificação, tanto qualitativa, quanto quantitativa dos mesmos, tendo em vista que a salinização ou sodificação causada pelo uso de água, originam efeitos deletérios distintos.

Um dos pioneiros (Richards, 1954) no estudo e classificação de solos afetados por sais estabeleceu que, um solo pode ser classificado como salino, salino-sódico, sódico ou sódico degradado de acordo com os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e porcentagem de sódico trocável (PST), sendo essa classificação a mais adotada mundialmente até hoje (Tabela 01).

Tabela 01. Classificação de solos afetados por sais, de acordo com a CEes, pH e PST.

Classificação do solo quanto a presença ou não de sais	Condutividade Elétrica do Extrato de saturação (CEes) dS/m	pH	Porcentagem de Sódio Trocável (PST)
Sem problema de salinidade	<4	<8,5	<15
Salino	> 4	< 8,5	<15
Sódico	< 4	>8.5	> 15
Salino-sódico	> 4	< 8,5	> 15

Segundo Dias & Blanco (2016), a salinização do solo pode acarretar uma série de problemas, desde a redução do potencial osmótico do solo, dificultando assim a absorção de água pelas plantas, até a própria toxidez resultante da concentração salina de um íon específico.

Nos casos de solo sódico ou salino-sódico, os efeitos poderão ir além daqueles já citados e afetar propriedades físicas do solo devido, entre outros fatores, a dispersão dos coloides, dificultando desde a aeração e movimentação de água no solo, o que afeta diretamente o desenvolvimento radicular (PEREIRA, 1983; SÁ et al., 2015).

As principais causas do acúmulo de sais no solo, devem-se ao manejo inadequado das áreas agrícolas, seja por meio da irrigação, uso de técnicas incompatíveis com as características do clima e solo da região (como muitas vezes ocorre no Nordeste brasileiro), ou mesmo pela aplicação indiscriminada de fertilizantes (LIMA JUNIOR & SILVA, 2010; SILVA et al., 2013).

Os fatores inerentes às regiões, como clima e qualidade da água, certamente contribuem para a salinização e em casos mais graves, para a desertificação do mesmo (SILVA, 2006; FREIRE et al., 2014).

1.2.2. Efeitos do excesso de sais no solo e na planta

A salinização do solo, quando não monitorada adequadamente, corre o risco de passar despercebida durante anos, podendo alcançar situações mais graves como o próprio abandono de extensas áreas (SILVA et al., 2013; PEDROTTI et al., 2015).

Devido às preocupações com a salinidade do solo, surgem novas formas de acompanhar a evolução da salinidade do mesmo, sendo uma delas por meio do uso de cápsulas extratoras porosas, como uma alternativa para extração da solução do solo sem que haja uma perturbação do meio e a partir da solução é possível realizar o monitoramento da condutividade elétrica, do potencial osmótico e da composição iônica (SOUZA et al., 2013).

O estresse nos vegetais acarreta uma série de problemas de caráter fisiológico como, por exemplo, a redução da fotossíntese, condutância estomática e transpiração que, por consequência, prejudicam o desenvolvimento das culturas (FURTADO et al., 2013). Por isso é importante saber como irá afetar o solo e a planta ao serem submetidos a uma água de irrigação considerada salina, principalmente quando se visa realizar um manejo adequado do solo para um cultivo em escala comercial. (DIAS & BLANCO, 2016).

Plantas sob estresse hídrico e salino reduzem as trocas gasosas em resposta ao estresse, ocorrendo por meio do fechamento estomático, uma vez que, o aumento da resistência estomática poderá afetar negativamente a concentração interna de CO₂, fotossíntese líquida e a transpiração (PRAZERES et al., 2015). O fechamento estomático é realizado no intuito de preservar o conteúdo de água na planta (TAIZ & ZAIGER, 2013), além de em algumas plantas promover o aumento da eficiência do uso de água, quando a mesma estiver sob estresse (BOTA et al., 2016).

A fluorescência da clorofila e os pigmentos fotossintéticos podem ser afetados pelo estresse salino (OLIVEIRA et al., 2018), seja afetando a formação da clorofila por meio da inibição de produtos essenciais para sua produção ou mesmo pelo aumento da atividade da enzima clorofilase, que degradam a clorofila e conseqüentemente reduzem o conteúdo de pigmentos nas plantas (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Plantas submetidas à estresse salino apresentam redução na absorção de macronutrientes como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, comportamento esse contrário àquele apresentado pelos íons Na⁺ e Cl⁻. Isso pode ser constatado a partir das avaliações dos teores desses íons em folhas de diferentes espécies, comprovando que o aumento da absorção de sódio e cloro provoca um desequilíbrio na absorção de nutrientes essenciais. Além disso, é possível constatar um aumento da relação Na⁺/K⁺ em raízes, caules e folhas em plantas submetidas a estresse salino (GARCIA et al., 2007; BOSCO et al., 2009).

A toxidez causada pela absorção excessiva de determinado íon, promove, dentre outros processos, uma série de efeitos danosos à planta, como o desbalanceamento nutricional e danos no citoplasma, ocasionados principalmente na bordadura e no ápice das folhas (DIAS & BLANCO, 2016). Este tipo de problema pode ser observado quando hortaliças como a couve chinesa e a alface são submetidas a níveis elevados de salinidade, apresentando, dentre outros sintomas, a clorose e a necrose nas folhas (SANTOS et al., 2010; DANTAS et al., 2015).

1.2.3. Tolerância de plantas à salinidade

As plantas podem ser classificadas de acordo com sua tolerância à salinidade, sendo halófitas quando são capazes de se desenvolver em ambientes salinos e glicófitas quando não são capazes de se desenvolver em ambiente que contenha altas concentrações de sais o que, neste caso, representa a maioria das culturas comumente cultivadas (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Dentre os mecanismos de adaptação, o ajustamento osmótico, que tem por característica o aumento líquido de solutos na célula, por meio dos quais as plantas são capazes de reduzir o potencial osmótico das células, contribui para a absorção de água e, conseqüente, aumento do seu potencial de turgescência, resultando na manutenção do crescimento celular (SILVEIRA et al., 2010).

Com base em Ayers & Westcot (1976), as culturas podem ter um rendimento potencial atrelado às concentrações de sais, seja a partir da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) ou mesmo a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), onde à medida que se aumenta a condutividade elétrica da água ou do solo, a cultura terá uma redução de seu rendimento, sendo possível classificar, ainda, quanto ao grau de tolerância à salinidade (Tabela 02).

Tabela 02. Tolerância e potencial de rendimento de algumas culturas, influenciado pela salinidade da água de irrigação (CEa) ou pela salinidade do solo (CEes) expressas em dS/m.

CULTURA	PRODUTIVIDADE POTENCIAL									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	CEes	CEa	CEes	CEa	CEes	CEa	CEes	CEa	CEes	CEa
Beterraba	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorgo	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Feijão	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Abobrinha	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Amendoim	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Couve-flor	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
<i>Espinafre</i>	<i>2.0</i>	<i>1.3</i>	<i>3.3</i>	<i>2.2</i>	<i>5.3</i>	<i>3.5</i>	<i>8.6</i>	<i>5.7</i>	<i>15</i>	<i>10</i>
Repolho	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
Milho	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Batata Doce	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
Alface	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Cebola	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Cenoura	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4

FONTE: tabela adaptada de Ayers e Westcot, 1976.

* Condutividade elétrica máxima ou Potencial de rendimento zero simboliza as condições onde cessa o desenvolvimento da cultura.

1.2.4. Status hídrico da cultura e avaliação dos estresses abióticos

O potencial da água pode ser definido como a energia livre por unidade de volume de água e geralmente é expresso na unidade de pressão (MPa), já o teor relativo de água como sendo a relação em percentual do conteúdo de água na folha em relação ao mesmo a, sendo que a pleno turgor (FITTER & HAY, 2002). Ainda segundo o mesmo autor ressalta-se a importância de realizar as medições do potencial de água na folha durante a antemanhã,

principalmente em plantas sob estresse, pois assume que durante a noite o potencial de água na planta e no solo entraram em equilíbrio.

Plantas submetidas a estresses abióticos, como seca e salinidade, reduzem o potencial hídrico foliar e o teor relativo de água, uma vez que estes parâmetros estão intimamente ligados com a disponibilidade hídrica (CASCARDO et al., 1993; NOGUEIRA et al., 2001; MARQUES et al., 2011).

Segundo Marouelli et al. (2011), para o correto manejo e reconhecimento do status hídricos da cultura, faz-se necessário o monitoramento por meio de diversos equipamentos e parâmetros, a exemplo da câmara de Scholander e dos tensiômetros, que são usados no monitoramento dos potenciais da planta e do solo, respectivamente. O que ainda segundo o autor, é possível porque o potencial hídrico foliar pode ser comparado com o potencial total de água no solo e, assim, estabelece-se faixas que indicam a necessidade de irrigação, já os tensiômetros no solo acompanham a disponibilidade de água a partir do potencial mátrico.

É possível realizar o monitoramento e consequente avaliação do status hídrico da cultura por métodos mais simples, como a determinação de variáveis de crescimento e produção, ou por avaliações que exigem um nível de tecnificação mais elevado, a exemplo das medições de fluorescência e trocas gasosas que ocorrem por meio do uso de fluorômetros e do IRGA (Analisador de gás no infravermelho), respectivamente (DIAS et al., 2005; MAIA et al., 2008; MAGALHÃES FILHO et al., 2008; SOUZA et al., 2012; COELHO, 2012).

Existem diversas variáveis de crescimento que podem ser usadas para avaliar plantas sob estresse salino, sendo elas: crescimento da planta, fitomassa da parte aérea, diâmetro do caule, área foliar e o número de folhas, tendo em vista se tratarem de variáveis inversamente proporcionais ao aumento da salinidade, ou seja, reduzem à medida que se aumenta o teor de sais na água de irrigação ou no solo (CAVALCANTI et al., 2005; SILVA et al., 2008; NOBRE et al., 2011; NOBRE et al., 2012).

Outra variável relevante para o monitoramento de solos salinos é a componente osmótica para o somatório dos potenciais presentes no solo, pois Duarte & Souza (2016), avaliando pimentão irrigado com diferentes níveis de salinidade, constataram a sua importância, uma vez que a mesma apresentou forte influência no potencial do total de água no solo.

1.2.5. Cobertura do solo

A cobertura do solo ou *mulching*, seja oriunda de material orgânico, como restos de tratamentos culturais, ou mesmo por filme plástico de polietileno promove a manutenção da umidade do solo, ao mesmo tempo que reduz o aparecimento de plantas daninhas, e melhora a qualidade do produto final (MENESES et al., 2016; SOUZA et al., 2016a).

O uso desta técnica vem demonstrando resultados promissores em diversas áreas de conservação do solo, dentre elas, na aplicação da mesma como forma de reduzir a erosão hídrica do solo de maneira econômica e eficaz, além de realizar a manutenção da umidade do solo (SOUZA; MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2008; PROSDOCIMI; TAROLLI & CERDÀ, 2016).

Souza et al. (2016b), estudando feijão-caupi, constataram que o uso da cobertura reduziu os efeitos deletérios do estresse hídrico quando o mesmo foi submetido a diferentes níveis de água disponível no solo. Já Jafari & Jalali (2017), encontraram que o uso do *mulching* (especialmente se o mesmo for transparente) sob irrigação com água salobra, pode atenuar os efeitos da salinidade, aumentando o rendimento da cultura e a eficiência do uso da água quando comparado a um solo sem cobertura.

1.2.6. Hidroponia

A palavra hidroponia é originada dos radicais gregos *hydor* e *ponos* que, por sua vez, significam água e trabalho respectivamente, ou seja, é uma técnica que consiste em cultivar plantas apenas trabalhando com “água” e, em outras palavras, no cultivo sem solo (FURLANI et al., 1999).

Se o sistema não dispõe de solo, o mesmo necessita que os nutrientes essenciais para as plantas estejam dissolvidos na água, conhecida como solução nutritiva. Essa pode ser elaborada a partir do uso de diferentes fertilizantes, desde que se mantenham as concentrações indicadas e que os fertilizantes escolhidos possuam solubilidade adequada, e que não apresentem resíduos insolúveis e elementos potencialmente tóxicos em sua formulação (MARTINEZ et al., 1999).

Apesar da citação da técnica geralmente estar associada aos seus pontos positivos, é necessário comparar de maneira criteriosa os pontos positivos e negativos desta técnica, pois deve ser levado em consideração o local e principalmente o nível de tecnificação do produtor que fará uso da mesma (COMETTI, 2003).

Segundo Teixeira (1996) e Furlani et al. (1999), as principais vantagens do sistema hidropônico são: produção de melhor qualidade, menor emprego de mão-de-obra, menor uso de fungicidas e inseticidas, colheita precoce, melhor aproveitamento da área, menor consumo de água, dentre outras. Já as principais desvantagens são: alto custo de instalação, dependência da eletricidade nos sistemas automáticos e a necessidade de mão de obra especializada.

Existem diversos modelos hidropônicos com forma diferenciada de funcionamento, podendo, assim, se adequar às características de cada empreendimento, sendo necessário para o uso correto e manejo do modelo escolhido o conhecimento da técnica hidropônica, uma vez que sua utilização requer um nível de tecnificação maior quando comparado ao cultivo convencional em solo (TEIXEIRA, 1996; FURLANI et al., 1999; BEZERRA NETO & BARRETO, 2000; BEZERRA NETO, 2016). Cada sistema hidropônico tem característica própria de acordo com a descrição a seguir: **NFT (*nutrient film technique*)**: em português pode ser compreendida como a técnica do fluxo laminar de nutrientes, que basicamente é composta por um reservatório contendo a solução nutritiva que, por sua vez, é bombeada para os canais de cultivo e, por gravidade, retornam ao reservatório; **hidroponia de aeração estática (*floating*)**: neste modelo a solução fica parada em um sistema plano e nivelado, de forma que o bombeamento ocorra somente para realização da oxigenação da solução nutritiva ao mesmo tempo que as plantas cultivadas ficam “flutuando” na solução, por meio da utilização de algum material como, por exemplo, o isopor. **Cultivo com substrato**: é um outro sistema muito utilizado e como o próprio nome diz, geralmente se utiliza algum substrato inerte como fibra de coco, areia, ou pedras de maneira geral, com o intuito de dar sustentação às plantas. Neste caso, geralmente se faz uso para culturas que possuam sistema radicular e parte aérea mais desenvolvidos, como é o caso do maracujá, tomate, pimentões e até melancia, sendo a solução nutritiva bombeada para os vasos por meio de um sistema de gotejamento e ao contrário dos demais, a solução não retorna ao reservatório principal.

1.2.7. Cultura do Espinafre

No Brasil, o espinafre é considerado uma das 50 hortaliças mais vendidas, sendo aqui uma cultura representada por duas hortaliças de famílias distintas, a *Spinacia oleracea* L., mais conhecida como espinafre verdadeiro ou europeu e a *Tetragonia tetragonioides*, conhecida como espinafre da Nova Zelândia. Apresenta melhores resultados quando cultivada em locais com temperaturas amenas que variem de 15 a 25 °C, contudo possuem variedades

com tolerância ao calor, e a colheita das folhas deverá ocorrer até o período que anteceda a emissão do pendão e conseqüente formação das flores, o que geralmente ocorre entre 60 e 80 dias após o semeio (EMBRAPA & SEBRAE, 2010).

A classificação do mesmo pode ser dada pela semente, redonda ou espinhosa, textura da folha, lisa ou crespa, pela sua forma e também pelo comprimento do pecíolo. Em termos nutricionais, o pode ser recomendado para pessoas anêmicas e crianças devido aos valores, sendo os minerais cerca de 1,8% do peso seco da folha, porém como desvantagem, apresenta altos teores de nitrato e ácido oxálico que quando consumidos em excesso podem acarretar problemas de saúde (NEŠKOVIĆ & ĆULAFIĆ, 1988).

O espinafre apresenta alto valor nutricional devido aos elevados teores de vitaminas K, B, E, A, C, B2 e B6 e de cálcio magnésio, fosforo, potássio e ferro, além de ser fonte de ômega 3 e proteínas. De maneira geral, possui diversos nutrientes responsáveis por desempenharem importantes papéis para a manutenção da saúde (AVŞAR, 2011).

Sob estresses abióticos como seca, salinidade e temperatura, a mesma é sensível ao estresse hídrico e moderadamente sensível à salinidade, podendo ter seus efeitos agravados em relação à temperatura ao qual for submetida (YURTYERI; CEMEK & ÜNLÜKARA, 2014; ÜNLÜKARA; YURTYERI & CEMEK, 2017). Ors & Soares (2017), avaliando o espinafre sob condições de estresse hídrico e salino, observaram que o comportamento inicial foi diferente, pois o estresse salino (condutividade elétrica da água de irrigação: 0,87, 4, 7, 9, 12 e 15 dSm⁻¹) inicial provocou um aumento de produção, entretanto o hídrico (potencial matricial do solo: -45, -200 até -300 e -400 até -500 kPa) apresentou reduções de produção a partir do primeiro nível aplicado.

O espinafre em 2016 apresentou uma produção mundial de 26,7 milhões de toneladas o equivalente a quase 29 toneladas por hectare. Na América do Sul apresentou uma tendência de aumento de produção entre os últimos 10 anos mensurados, passando de 17,6 em 2006 para 42,2 mil toneladas em 2016 (FAOSTAT, 2016).

Em termos de biomateriais a folha do espinafre foi utilizada como estrutura para engenharia de tecido humano, devido a semelhança entre a estrutura vascular do tecido vegetal e do tecido animal, que se fez possível a partir do desenvolvimento de um tecido vegetal descelularizado, que posteriormente recebeu células endoteliais humanas que colonizaram as superfícies internas da vasculatura vegetal (GERSHLAK et al., 2017).

1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino: caracterização, variação sazonal, limitações de uso.** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1995, 128p.

AVŞAR, B. **Genetic Diversity of Turkish Spinach Cultivars (*Spinacia oleracea* L.).** The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, İzmir/Turkey, Turquia, 2011, 27 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture.** Irrigation And Drainage Paper 29, FAO, v. 1, 1976. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm>. Acesso em: 15 maio 2017.

BEZERRA NETO, E. **Caderno do semiárido: Riquezas & Oportunidades.** Recife, Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco – CREA-PE, 2016. 87p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Técnicas de cultivo hidropônico.** Recife. UFRPE. 2000.

BIONE, M. A.; PAZ, V. D. S.; SILVA, F.; RIBAS, R. F.; SOARES, T. M. Crescimento e produção de manjerição em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1228-1234, 2014.

BOSCO, M. R. D. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, p. 157-164, 2009.

BOTA, J.; TOMÁS, M.; FLEXAS, J.; MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M. Differences among grapevine cultivars in their stomatal behavior and water use efficiency under progressive water stress. **Agricultural Water Management**, v. 164, p. 91-99, 2016.

CANTU, R. R.; GOTO, R.; JUNGLAUS, R. W.; GONZATTO, R.; CUNHA, A. R. D. Uso de malhas pigmentadas e mulching em túneis para cultivo de rúcula: efeito no ambiente e nas plantas modelo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 810-815, 2013.

CASCARDO, J. C. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 5, p. 31-34, 1993.

CAVALCANTI, M. L.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A.; SIQUEIRA, E. D. C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 57-61, 2005.

COELHO, J. B. M. **Potencial osmótico, solutos orgânicos e comportamento hídrico do feijão vigna cultivado em solos salinizados.** 2012. 70 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - UFRPE, Recife.

COMETTI, N.N. **Nutrição Mineral da Alface (*Lactuca sativa L.*) em Cultura Hidropônica - Sistema NFT**. 2003. 106 f. Tese (Ph.D. em Nutrição de Plantas) – UFRRJ, Seropédica.

DANTAS, R. M. L.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; SANTOS, A. N.; ROLIM, M. M. Production, water consumption and nutrient content of Chinese cabbage grown hydroponically in brackish water. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 497-505, 2015.

DIAS, N. D. S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 496-504, 2005.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2 ed, p. 151-161, 2016.

DUARTE, H. H. F.; SOUZA, E. R. Soil water potentials and *Capsicum annuum L.* under salinity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-11, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA & SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Catálogo brasileiro de hortaliças**: Saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país. Brasília, 2010. 59 p.

FAO; ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR): Main Report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**, Roma, Itália, 2015.

FAOSTAT- Food and agriculture data, Food and Agriculture Organization of the United Nations [Online]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em 30 agosto 2018.

FITTER, A. H. & HAY, R. K. M. **Environmental Physiology of Plants**. 3ª ed. Academic Press, Londres, 2002. 355 p.

FREIRE, M. B.; MIRANDA, M. F.; OLIVEIRA, E. E.; SILVA, L. E.; PESSOA, L. G.; DE ALMEIDA, B. G. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 86-91, 2014.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZ, D.; FAQUIN, V. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: IAC, **Boletim técnico**, v. 180, 1999. 52p.

FURTADO, G. F.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. M.; ANDRADE, E. M. G.; GUERRA, H. O. C. Alterações fisiológicas em feijão-caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 175-181, 2013.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; VIEIRA MIRANDA, G.; LIMA NEVES, J. C.; BUCKER MORAES, W.; BATISTA DOS SANTOS, D. Teores foliares dos macronutrientes

catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, v. 25, p. 93-106, 2007.

GERSHLAK, J. R.; HERNANDEZ, S.; FONTANA, G.; PERREAULT, L. R.; HANSEN, K. J.; LARSON, S. A.; ...; ROLLE, M. W. Crossing kingdoms: Using decellularized plants as perfusable tissue engineering scaffolds. **Biomaterials**, v. 125, p. 13-22, 2017.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudo básico e aplicados. 2ª ed. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.

JAFARI, P.; JALALI, A. Effect of Black and Clear Polyethylene Mulch on Yield and Yield Components of Melon in Salinity Stress Condition. **Majallah-i Ulum-i Bāghbānī**, v. 30, p. 80-87, 2017.

LAMBERT, R. A.; BARRO, L. S.; CARMO, K. S. G.; OLIVEIRA, A. M. D. S.; BORGES, A. A. Mulching é uma opção para o aumento de produtividade da melancia. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, p. 53-57, 2017.

LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, p. 1-21, 2010.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. D.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, p. 75-82, 2008.

MAIA, P. S. P.; OLIVEIRA NETO, C. F.; SILVA CASTRO, D.; FREITAS, J. M. N.; SILVA LOBATO, A. K.; DA COSTA, R. C. L. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 918-920, 2008.

MARQUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. **Manejo da irrigação**. In: SOUSA, V. F.; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 5, p. 158-232, 2011.

MARQUES, R. P.; FREIRE, C. S.; NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações Hídricas e Produção de Pigmentos Fostossinteticos em Mudanças de Eugenia Uniflora l. Sob Condições de Salinidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 497-509, 2011.

MARTINEZ, H. E. P.; SCOTTI, C. A.; MEYER, A. R. K.; ARAÚJO, J. A. C de.; BLISKA JÚNIOR, A.; DA SILVA, M. L. J. **Solução nutritiva para hidroponia: cálculo, preparo e manejo**. Brasília, SENAR, 1999, 108p.

MENESES, N. B.; MOREIRA, M. A.; DE SOUZA, I. M.; BIANCHINI, F. G. Crescimento e produtividade de alface sob diferentes tipos de cobertura do solo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, p. 123-129, 2016.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Resolução N° 107, de 2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para

revisão de sua abrangência. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Conselho Deliberativo – SUDENE, Recife, PE, 27 de julho de 2017.

NEŠKOVIĆ M., ČULAFIĆ L. Spinach (*Spinacia oleracea* L.). In: Bajaj Y.P.S. (eds) **Crops II. Biotechnology in Agriculture and Forestry**, vol 6. Springer, Berlim, Alemanha. 1988.

NOBRE, R. G.; GHEY, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 35, p. 929-937, 2011.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; SILVA LOURENÇO, G.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 76-85, 2012.

NOGUEIRA, R. J.; MORAES, J. A. P. D.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; SANTOS, H. R. B. S.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, H. H. F.; MELO, D.V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2592-2603, 2018.

ORS, S.; SUAREZ, D. L. Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. **Agricultural Water Management**, v. 190, p. 31-41, 2017.

PEDROTTI, A., CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; NASCIMENTO, A. P., LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology**, v. 19, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, J.R. **Solos salinos e sódicos**. In: 15ª Reunião brasileira de fertilidade do solo, Campinas, SP, SBCS, p.127-143, 1983.

PRAZERES, S. S.; DE LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; DA SILVA ARAUJO, I. C.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 9, p. 111-118, 2015.

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

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C.: United States Salinity Laboratory, United States Department of Agriculture - Handbook, 60, 1954, 160p.

SÁ, F. V. S.; MESQUITA, E. F.; COSTA, J. D.; BERTINO, A. M. P.; ARAÚJO, J. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. **Irriga**, v. 20, p. 46-59, 2015.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, A. R.; DA SILVA DIAS, N.; DE SOUSA MEDEIROS, S. Produção e pós-colheita de flores de girassóis sob estresse salino em sistema hidropônico alternativo. **Engenharia Agrícola**, v. 36, p. 420-432, 2016.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p. 961-969, 2010.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 11-17, 1999.

SILVA, A. O. D.; KLAR, A. E.; SILVA, Ê. F. D. F.; TANAKA, A. A.; JUNIOR, S.; JOSUÉ, F. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 1143-1151, 2013.

SILVA, P. F. D.; LIMA, C. J. D. S.; BARROS, A. C.; SILVA, E. M. D.; DUARTE, S. N. Fertilizer salts and fertigation management in tomato cultivation in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1173-1180, 2013.

SILVA, S. M.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. D. M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 335-342, 2008.

SILVA, V. B. **Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim-pe**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – UFPE, Recife.

SILVEIRA, J. A.; SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N., SILVA, Ê. F.; JORGE, C. A. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 705-714, 2010.

SOUZA, A. A. L.; MOREIRA, F. J. C.; ARAÚJO, B. A.; LOPES, F. G. N.; SILVA, M. E. S.; CARVALHO, B. S. Desenvolvimento inicial de duas variedades de alface em função de dois tipos de substratos e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Biosistemas**, v. 10, p. 316-326, 2016a.

SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; ALMEIDA, B. G.; MELO, D. V. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 510-517, 2013.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 177-187, 2008.

SOUZA, E.R.; FREIRE, M.B.G.S; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W.A.; RUIZ, H. A., LINS, C. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p. 20-27, 2012.

SOUZA, T. M. A.; SOUZA, T. A.; SOLTO, L. S.; DA SILVA SÁ, F. V.; DE PAIVA, E. P.; BRITO, M. E. B.; DE MESQUITA, E. F. Crescimento e trocas gasosas do feijão caupi cv. Brs pujante sob níveis de água disponível no solo e cobertura morta. **Irriga**, v. 21, p. 796-805, 2016b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 954p.

TEIXEIRA, N. T. Hidroponia: **Uma Alternativa Para Pequenas Áreas**. Guaíba: Agropecuária, 1996, 86p.

ÜNLÜKARA, A.; YURTYERI, T.; CEMEK, B.; Effects of Irrigation water salinity on evapotranspiration and spinach (*Spinacia oleracea* L. Matador) plant parameters in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions. **Agronomy Research**. v. 15, p. 2183-2194, 2017.

VASCONCELOS, M. C. C. A. Salinização do solo em áreas irrigadas: Aspectos físicos e químicos. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, p. 20-25, 2014.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, p. 1-23, 2010.

YURTYERI, T.; CEMEK, B.; ÜNLÜKARA, A. **Response of Spinach to Different Water Stress Conditions in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions**. In: 12^a Culture technique Symposium, Tekirdağ, Turquia, p. 331–336, 2014.

CAPÍTULO II

STATUS HÍDRICO DO SOLO, SOLUÇÃO NUTRIVA E ESPINAFRE (*Spinacia oleracea* L.) CULTIVADO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA SALOBRA.

RESUMO

O uso de águas salobras em regiões de clima árido e semiárido é cada vez mais comum. Por isso é importante investigar os efeitos da salinidade no desenvolvimento de culturas que possuam importância socioeconômica, para que por meio da avaliação de parâmetros como o status hídrico e de crescimento se avalie a possibilidade de produção para as diferentes técnicas de cultivo. Objetivou-se avaliar o status hídrico, produção, consumo hídrico e eficiência do uso da água para o Espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cv. Viroflay. Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação no Centro de Pesquisas Vegetais (CEPEVE) na Universidade Federal Rural de Pernambuco, em um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições em arranjo fatorial 6 x 3, sendo 6 (seis) níveis de concentrações de cloreto de sódio representados em termos de condutividades elétrica de 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0, 7,5 dSm⁻¹ e 3 (três) sistemas de cultivo, sendo dois deles em solo, um com cobertura plástica e o outro sem cobertura e o terceiro sistema de cultivo foi representado pelo modelo hidropônico tipo floating. Aos 36 dias após o transplantio (DAT) foram determinados o potencial hídrico foliar com a Câmara de Scholander e o potencial osmótico com o auxílio do osmômetro de pressão de vapor, além do cálculo para ajustamento osmótico, teor relativo de água e suculência foliar. O potencial osmótico do solo foi determinado por meio da pasta de saturação para os sistemas solo e pela coleta da solução do sistema hidropônico no final do experimento. O teor relativo de água reduziu linearmente com o aumento da salinidade da água de reposição. A suculência foliar aumentou em decorrência da salinidade e apresentou forte correlação com o potencial osmótico dos diferentes sistemas. Houve redução do potencial osmótico dos sistemas e do espinafre devido ao aumento dos níveis de salinidade, ao mesmo tempo que ocorreu aumento do ajustamento osmótico. O sistema hidropônico apresentou maior consumo hídrico, seguido pelo solo descoberto e solo coberto. A maior eficiência do uso da água foi obtida pelo sistema hidropônico seguido pelo solo coberto e solo descoberto. O sistema de cultivo hidropônico apresentou os maiores valores de crescimento e produção quando comparado aos demais sistemas aqui trabalhados. O uso da cobertura plástica atenuou a evolução da salinidade quando comparado com o sistema de solo sem cobertura. Os valores dos potenciais de água do Espinafre nos diferentes sistemas investigados servirão de base para pesquisas futuras.

Palavras-chave: Potencial osmótico; Salinidade; Eficiência da Uso da Água; Hidroponia; cobertura plástica.

ABSTRACT

The use of brackish water in arid and semiarid regions is increasingly common. Therefore, it is important to investigate the health factors in the development of crops that may be of economic importance, so that they can be classified as cultivation techniques. This study was to evaluate the water status, production, water consumption and water use efficiency for Spinach (*Spinacia oleracea* L.) cv. Viroflay. For this, a greenhouse experiment was carried out at the Center for Plant Research (CEPEVE) of the Federal Rural University of Pernambuco, in a randomized block design, with four replications in the factorial arrangement 6 x 3, with six (6) levels of sodium chloride units represented in electrical conductivity of 0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 and 7.5 dSm⁻¹ and 3 (three) cropping systems, two of them in soil, one with plastic mulching and the other without cover and the third cropping system was represented by hydroponic model floating type. The 36 days after transplanting (DAT) were the leaf water potentials with a Scholander chamber and the osmotic potential with the vapor pressure osmometer, besides the calculation of the osmotic adjustment, water content and leaf succulence. The osmotic potential of soil was determined by the saturated soil-paste and the system hydroponic by the collection of the solution at the end of the experiment. The relative water content reduces linearly with the increase of the salinity of the replacement water. Leaf succulence increased with the salinity and proved to be strong correlation with the osmotic potential of the different systems. There was a reduction in the osmotic potential of the systems and spinach due to the increase in salinity levels, resulting in osmotic adjustment. The hydroponic system had higher water consumption, followed by the uncovered soil and covered soil. The greater efficiency of the water use was obtained by the hydroponic system followed by the covered soil and discovered soil. The hydroponic cultivation system presented the highest values of growth and yield when compared to the other systems studied here. The use of the plastic cover attenuated the salinity when compared to the uncovered soil system. The values of potential water in the different systems investigated, will serve of basis for the future research.

Keywords: Osmotic potential; Salinity; Water-use efficiency; Hydroponics; plastic mulching.

2.1. INTRODUÇÃO

As hortaliças são temas de pesquisas envolvendo saúde alimentar (NETO; DE ASSIS & AMÂNCIO, 2017), agroecologia (CARDOSO, 2016), produção sustentável (CELESTRINO et al., 2017), estando quase sempre vinculadas a agricultura familiar. Apesar das inúmeras pesquisas com a temática sustentabilidade, dados recentes mostram que as principais causas para a desertificação e salinização do solo estão justamente atreladas a utilização inadequada das terras, seja por meio da adubação inadequada ou mesmo pelo uso indiscriminado de águas com altas concentrações de sais (PEDROTTI et al., 2015).

No Semiárido brasileiro é comum o uso de águas de baixa qualidade, por ser a única fonte disponível, característica essa inerente as condições climáticas e geológicas da região (GHEYI et al., 1997). Além destas águas apresentarem altas concentrações de sais, podem apresentar em especial o íon sódio, que por sua vez causará efeitos deletérios ao solo seja fisicamente, por meio do adensamento do solo em condições secas e a dispersão de partículas em condições molhadas, já o excesso de sais de um modo geral, tornará o solo floculado, friável e permeável, ou seja, efeito contrário ao do sódio (GHEYI et al., 1991; DIAS & BLANCO, 2016). Em contrapartida, a redução do potencial osmótico é um fator negativo.

As grandes concentrações de íons específicos no solo podem causar diversas alterações fisiológicas nas plantas, gerando a redução da área foliar, suculência, teor relativo de água, biomassa e conseqüentemente perda de produtividade (LOPES & KLAR, 2009; SOUSA & BEZERRA, 2010; DA SILVA et al., 2016).

O potencial osmótico está diretamente relacionado a concentração de elementos químicos no meio, pois é o potencial de energia química com que a água fica retida ao meio, sendo assim de extrema relevância quando se trata de salinidade do solo (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Algumas plantas que apresentam mecanismos de tolerância a salinidade e dentre eles o ajustamento osmótico, são capazes de armazenar íons e solutos orgânicos de modo a reduzir o seu potencial energético de modo que a mesma continue a realizar sua manutenção hídrica, mesmo sob condições de maiores concentrações de sais no solo (DIAS & BLANCO, 2016).

Este tipo de mecanismo de tolerância pode resultar na manutenção das taxas fotossintéticas da planta, mesmo em situações de menor conteúdo ou potencial de água na folha, contudo tal mecanismo exige altos custos, uma vez que a planta precisa alocar carbono para realização de seu ajustamento (MORRIS, 1996).

O setor agrícola é o que mais necessita de água para sua produção, por isso se faz necessário o uso consciente da mesma, sendo uma alternativa o uso de águas que não são próprias para o consumo devido aos seus altos teores de sais, para suprir a demanda hídrica, sendo uma das formas mais adequadas de destinação e que garante uma produção mínima na agricultura (PAZ et al., 2000; TRAVASSOS et al., 2012; SOUSA et al., 2018)

Neste contexto o uso de técnicas ou sistemas de cultivo que melhor se adequem as condições climáticas de cada região é de extrema relevância, principalmente quando estão atreladas a escassez hídrica e a salinidade e que são essenciais para garantir o uso sustentável e consciente dos insumos. Dentre as técnicas tem-se a cobertura do solo, que pode aumentar a eficiência do uso da água (DE ALMEIDA; LIMA & PEREIRA, 2016) bem como acontece no sistema de cultivo hidropônico (fechado) (SANTOS, 2018), tornando estes sistemas e/ou técnicas, possíveis soluções para diversas culturas.

Em termos de tolerância a estresses abióticos as hortaliças são plantas consideradas sensíveis ou moderadamente sensíveis a salinidade, e o mínimo incremento de salinidade pode acarretar grandes perdas de produtividade e até a inviabilização da produção (SHANNON & GRIEVE, 1999).

No Brasil duas diferentes hortaliças são conhecidas como espinafre, “Nova Zelândia” e “Espinafre verdadeiro” (EMBRAPA & SEBRAE, 2010). A Nova Zelândia é a mais cultivada, porém pesquisas recentes demonstraram que a mesma foi sensível ao estresse salino (SOARES et al., 2013; SOUZA et al., 2013), ao contrário do espinafre verdadeiro que é moderadamente sensível a salinidade (YURTYERI; CEMEK & ÜNLÜKARA, 2014).

Se tratando de hortaliças o mesmo é uma das folhosas que maior apresenta teores de nutrientes (AVŞAR, 2011), podendo assim ter um importante papel sócio econômico principalmente na agricultura familiar (PEDROSA & PEREIRA, 2016).

A eficiência do uso da água pode vir a ser um importante parâmetro para mensurar a adequada relação entre o consumo hídrico, a produtividade e a concentração salina da água de irrigação para os diferentes sistemas de cultivo a serem estudados (GOMES NOBRE et al., 2014; SANTOS JÚNIOR et al., 2015).

O objetivo desse trabalho visa identificar o status hídrico, produção, consumo hídrico e eficiência do uso da água para o Espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cv. Viroflay. Cultivado em três sistemas: solo descoberto, solo coberto e hidroponia com uso de água salobra.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, na estufa de experimentação do Centro de Pesquisas Vegetais (CEPEVE) na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), campus Recife, localizada a 8° 01' 01" de latitude sul, 34° 56' 41" de longitude oeste, e altitude de 6,5 m.

A estrutura era composta lateralmente por tela anti-afídeo e sua cobertura com filme plástico de difusão, sendo suas dimensões internas 11 x 6 m, totalizando 66m² (Fig. 01).



Figura 01. Estufa utilizada durante o experimento.

2.2.2. Coleta do solo

A coleta do solo foi realizada na profundidade de 0-30 cm na fazenda Nossa Senhora do Rosário (coordenadas geográficas: 8°34'11" latitude sul, 37°48'54" longitude oeste e 630m de altitude acima do nível do mar) (CISAGRO, 1991), no Município de Pesqueira –PE, região Agreste e semiárida do Nordeste do Brasil. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é BSh que, por sua vez, indica se tratar de um clima extremamente quente e semiárido, apresentando, assim, uma precipitação total média de 730 mm e uma evapotranspiração de referência média anual de 1683 mm (USDA, 2006). O solo é classificado como Neossolo Flúvico de acordo com EMBRAPA (2013)

O solo foi conduzido para a UFRPE e colocado em lona no ambiente protegido, para que secasse ao ar. Depois disso, foi destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm, com o intuito de manter a microagregação do solo e aumentar a representatividade de campo.

2.2.3. Caracterização inicial do solo

Para a caracterização física do solo, realizou-se o procedimento de preparo de amostra, tornando-a terra fina seca ao ar (TFSA) e nela determinou-se a granulometria e argila dispersa em água pelo método do densímetro, densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo balão volumétrico (EMBRAPA, 2017). Determinou-se ainda a umidade na capacidade de campo (CC), na qual o potencial mátrico corresponde a -100cc (tabela 01).

Tabela 01. Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.

Variáveis	Valor
Areia Grossa (g Kg ⁻¹)	415.72
Areia Fina (g Kg ⁻¹)	186.68
Areia Total (g Kg ⁻¹)	602.40
Silte (g Kg ⁻¹)	277.12
Argila (g Kg ⁻¹)	120.48
Ds (g cm ⁻³)	1.65
Dp (g cm ⁻³)	2.67
ADA (g Kg ⁻¹)	76.23
PT (%)	38.00
GF (%)	36.73
GD (%)	63.27
U _{CC} (g g ⁻¹)	0.10

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; ADA: argila dispersa em água; GD: Grau de dispersão; GF: Grau de floculação. PT: Porosidade total; GD: (ADA/Argila) *100; GF: (100 – GD). CC: Capacidade de Campo.

Para caracterização química determinou-se os cátions Na⁺ e K⁺ trocáveis, extraídos por acetato de amônio 1 mol L⁻¹, segundo metodologia de Thomas (1982). O extrato de saturação foi obtido por meio do preparo da pasta de saturação (RICHARDS, 1954) e determinou-se condutividade elétrica (CEes) e o pH em água (EMBRAPA, 2017) (Tabela 02).

Tabela 02. Caracterização química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.

Variáveis	Valor
Extrato de Saturação	
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	0,4325
Complexo de troca	
pH _{H2O} (1:2,5)	6,03
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,05
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,28
P ⁺ (mg Kg ⁻¹)	15,61
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,5
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,7
SB (cmol _c kg ⁻¹)	2,53
Acidez Potencial (H⁺ + Al³⁺)	1,02
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	3,55
PST (%)	1,41
V (%)	71,27

SB: Soma de bases ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}$); **CTC:** Capacidade de troca catiônica ($CTC = SB + (H^{+} + Al^{3+})$); **PST:** Percentagem de sódio trocável ($PST = (100 * Na^{+}) / CTC$); **V:** Percentagem de saturação por bases (SB / CTC).

2.2.4. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi realizado em um delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, arranjo fatorial 6x3, sendo 6 diferentes concentrações de cloreto de sódio (NaCl) das águas representadas pelas condutividades elétricas (CE) 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 e 7,5 dS m⁻¹ e 3 (três) diferentes sistemas de cultivo, totalizando 72 parcelas experimentais.

Dois sistemas de cultivo utilizaram solo em vaso, sendo um deles sem cobertura (sistema de cultivo 1), o outro com cobertura plástica (sistema de cultivo 2) e o terceiro sistema representado pela hidroponia tipo *floating* (sistema de cultivo 3), que também foi desenvolvido em vasos com a mesma capacidade dos demais (6 L).

2.2.5. Preparo das águas

Durante a execução do experimento foram confeccionadas águas com seis níveis de salinidade distintos. O nível de salinidade foi estabelecido a partir do incremento de NaCl na água de abastecimento local (controle), até obtenção dos respectivos níveis de condutividade

elétrica: 0 (água de abastecimento sem incremento salino, com $CE \approx 0,08 \text{ dSm}^{-1}$), 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 e 7,5 dS m^{-1} .

Foi utilizada água de abastecimento público (controle) no preparo da solução nutritiva utilizada em todos os vasos, que por sua vez, recebeu a quantidade de nutrientes estabelecida por Furlani (1998) para hortaliças folhosas, uma vez que este é um processo inerente ao sistema hidropônico. Após preparo da solução nutritiva o pH foi avaliado, mas como apresentou valores entre 5,5 e 7, não foi necessário realizar a correção inicial do pH da solução (MARTINEZ et al., 1999).

2.2.6. Manejo hídrico

A reposição da lamina evapotranspirada foi realizada diariamente ao final da tarde. Para tal finalidade, os vasos foram pesados e então adicionados água suficiente para deixar o solo com 80% da umidade na capacidade de campo (previamente determinadas pela curva característica de retenção de água no solo), utilizando sempre as respectivas águas que corresponderam a cada tratamento.

Diariamente também foi avaliado o consumo hídrico de cada vaso que continha solução nutritiva, por meio da mensuração do volume de solução gasto durante a reposição diária da lamina evapotranspirada, sendo esta reposição realizada com as respectivas águas salobras equivalentes a cada tratamento.

2.2.7. Sistema solo

Foi composto por vasos de polietileno com capacidade para 6L sem orifícios para drenagem, diâmetro de 28cm e um volume útil ocupado por solo de 4370 cm^3 o equivalente a 7,21 kg de solo obtendo assim uma densidade de 1,65 g/cm^3 . O solo após os devidos processos de preparo (destorroamento e peneiramento em malha de 4 mm) recebeu adubação mineral de Nitrogênio, fosforo e potássio, segundo a recomendação de Fernandes (1993). Feito isso, 24 vasos receberam cobertura plástica de polietileno na cor branca e os outros 24 vasos não receberam cobertura. Todos foram pesados diariamente e a reposição hídrica ocorreu de acordo com o processo anteriormente descrito.

2.2.8. Sistema hidropônico

Foi montado um sistema hidropônico *floating*, no qual cada parcela experimental foi composta por um vaso de polietileno igual ao utilizado nos sistemas com solo, contudo sua

cobertura foi vedada por isopor, e duas plantas foram fixadas equidistantes entre si e a lateral do vaso, de modo que suas raízes ficassem em contato com a solução nutritiva contida em seu interior (Figura 02).

Para a aeração do sistema foram utilizados compressores de ar que forneceram ar comprimido a todos os vasos hidropônicos, com o objetivo de manter os níveis de oxigênio dissolvido na água acima de 6 ppm, assim como exigido em padrões de qualidade de água na resolução 357 (BRASIL, 2005).

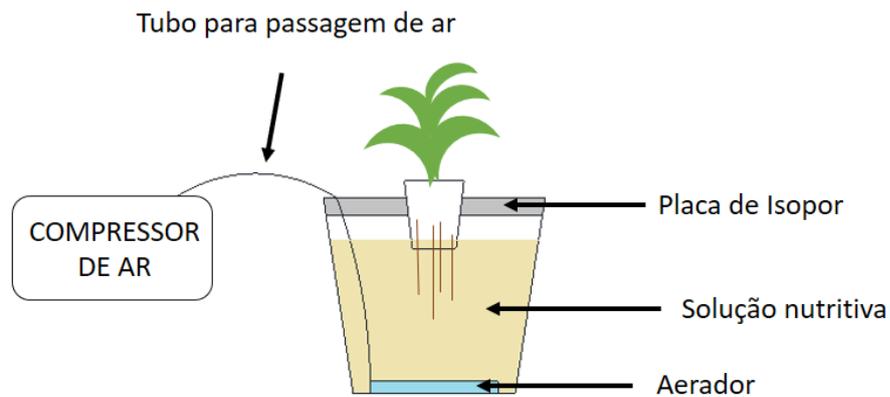


Figura 02. Esquema do sistema hidropônico *floating*, representando uma parcela experimental.

2.2.9. Condução do experimento e preparo das mudas

O experimento foi organizado em bancadas em nível, e cada bloco contou com 18 vasos casualizados. O espaçamento adotado foi de 40 cm entre o centro de uma parcela e outra e cada bloco teve aproximadamente 3,0 m de comprimento por 1,5 m de largura (Figura 03).

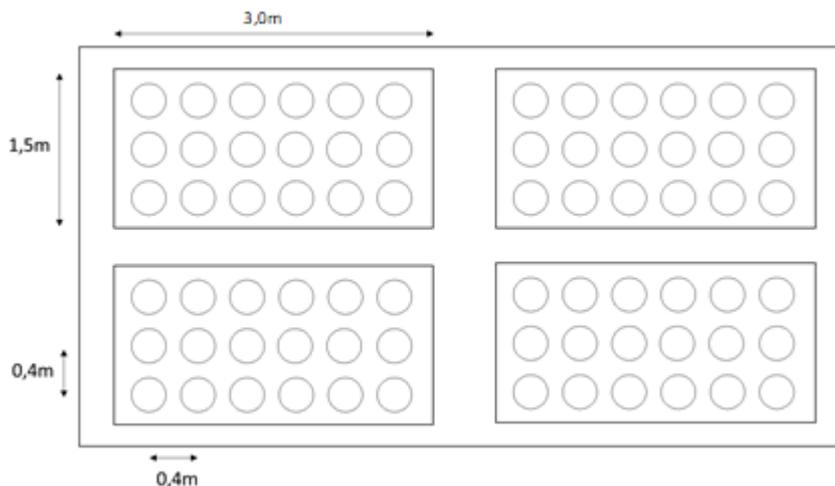


Figura 03. Croqui da área experimental com quatro blocos e um total de 72 vasos.

A cultivar escolhida foi o espinafre de viroflay (*Spinacia oleracea L.*) e a colheita ocorreu durante o período que antecedeu a formação do pendão, aos 38 dias após o transplântio.

Antes do semeio as sementes ficaram 24 horas na água e posteriormente foram colocadas em areia lavada para que germinassem, quando as mudas apresentaram 4 folhas verdadeiras, as mais vigorosas foram transplantadas, de forma que cada vaso contivesse duas plantas, e uma semana após o transplântio, foi dado início aos tratamentos salinos.

Para melhor aclimatação da espécie ao clima da região foram adotadas estratégias de cultivo, como o envelopamento dos vasos com folhas de alumínio e adoção de uma tela de sombreamento de 50% que cobriu toda a área experimental e foi utilizada durante todo o ciclo.

2.3. VARIÁVEIS ANALISADAS

2.3.2. Variáveis biométricas e de produção

Ao término do experimento, foi obtido o número de folhas, estimativa da área foliar, massa fresca e seca da parte aérea.

A massa fresca foi obtida por pesagem, logo após coleta das amostras, que foram acondicionadas em recipiente térmico com gelo e rapidamente levadas para laboratório para serem pesadas. A massa seca foi obtida após secagem do material vegetal em estufa de aeração forçada a 65 °C durante 72 horas.

2.3.3. Teor relativo de água (T.R.A.)

Ocorreu no *predawn*, aos 36 dias após o transplântio, no qual foram coletados 5 (cinco) discos foliares que tiveram seu peso fresco (PF) anotado, posteriormente submersos em água destilada para alcançarem a turgescência durante 48 horas, onde foram novamente pesados, obtendo, assim, o seu peso turgido (PT) e, por fim, levados para a estufa a 65 °C, por 48 horas, para então realização da última pesagem no qual obteve-se o peso seco (PS), e com base nas relações dos pesos o T.R.A. (Equação 01) (SILVEIRA et al., 2003).

$$TRA\% = \frac{PF-PS}{PT-PS} \times 100 \quad (\text{Eq. 01})$$

2.3.4. Suculência foliar (SF)

Os valores de SF e AFE foram obtidos dos dados de teor relativo de água, a partir das relações entre massa fresca, seca e área dos discos foliares, representada pela equação abaixo (Equação 2), propostas por Delf (1912).

$$SF = \frac{(MF-MS)}{A} \quad (\text{Eq. 02})$$

Em que:

MF – Massa Fresca (g);

MS – Massa Seca (g);

A – Área dos discos foliares (dm²)

2.3.5. Eficiência do uso da água

A eficiência do uso de água (EUA) foi obtida pela relação entre a produção de fitomassa seca total (mg) e volume de água consumido por planta (g), sendo o valor consumido obtido pela relação entre o volume de água utilizado na reposição dos sistemas e o respectivo número de plantas atendidas por aquele tratamento (FAGAN et al., 2009).

2.3.6. Potencial hídrico foliar ou total da planta (Ψ_w)

Foi avaliado com câmara de Pressão de Scholander (modelo, 1515D, PMS instrument Company) antes do amanhecer (Ψ_{pdw}), diretamente no local do experimento, onde foi introduzido na câmara o material coletado e o mesmo foi submetido a uma pressão de fluxo constante até que o pecíolo apresente um espelhamento, ou seja, o momento em que a seiva estava na iminência de extravasar, sendo assim, anotou-se a pressão do momento de ocorrência.

2.3.7. Potencial osmótico da seiva (Ψ_o)

Para a determinação da osmolalidade total do tecido foliar, foram coletadas folhas maduras e totalmente expandidas (a mesma utilizada para determinar o potencial hídrico), sendo elas posteriormente maceradas em almofariz com pistilo. A seiva obtida do tecido foi filtrada e centrifugada a 10.000 g por 10 min a 4 °C. Uma alíquota de 10 µL do sobrenadante foi utilizada para a determinação da osmolalidade do tecido, com um osmômetro de pressão de Vapor (VAPRO, Modelo 5600, Wescor). Os valores obtidos em milimoles por quilograma foram convertidos em potencial osmótico (Ψ_o), por meio da equação de Van't Hoff (Equação 03) (KIRKHAM, 2004; HILLEL, 2007; SOUZA et al., 2012).

$$\Psi_o(\text{MPa}) = - \text{moles do soluto} * R * T \quad (\text{Eq. 03})$$

Sendo R é a constante universal dos gases (0,008314 MPa Kg K⁻¹mol⁻¹) e T é a temperatura em Kelvin.

2.3.8. Potencial de pressão (Ψ_p)

Foi calculado com base na diferença entre o potencial hídrico foliar (Ψ_w) ou total e o potencial osmótico (Ψ_o) da planta, conforme descrito nos itens anteriores e por fim representado na equação abaixo (Equação 04).

$$\Psi_p = \Psi_w - \Psi_o \quad (\text{Eq. 04})$$

2.3.9. Potencial osmótico do solo (Ψ_{os})

O potencial osmótico do solo, foi determinado de duas formas, uma pela solução do solo obtida das cápsulas extratoras previamente instaladas nos vasos e coletado durante o *predawn*, no mesmo dia e horário que foram coletadas as amostras vegetais para determinação dos potenciais na planta. A segunda forma foi a partir da amostra final do solo após posterior realização da pasta saturada e coleta da solução do solo.

2.3.10. Instalação de cápsulas porosas e extração da solução do solo

As cápsulas porosas foram instaladas nos vasos com solo com auxílio de trado tipo rosca, de modo a realizar o contato adequado cápsula-solo. A solução do solo foi coletada semanalmente com o intuito de medir a evolução da salinidade a partir do acompanhamento da CE, bem como o potencial osmótico do mesmo. Para que fosse possível essa coleta, foi aplicado um vácuo de 75 KPa um dia antes da coleta. A solução foi coletada com o auxílio de seringas acopladas a uma mangueira. Para a determinação da osmolalidade total da solução do solo, foi utilizada uma alíquota de 10 µL da solução extraída e consequentemente avaliada por meio de um osmômetro de pressão de Vapor (VAPRO, Modelo 5600, Wescor). Os valores obtidos em milimoles por quilograma serão convertidos em potencial osmótico (Ψ_o) por meio da equação de Van't Hoff (KIRKHAM, 2004; HILLEL, 2007; SOUZA et al., 2012), semelhante ao descrito para seiva da planta.

Uma amostra das soluções nutritivas correspondente a cada tratamento também foi coletada semanalmente em seus respectivos reservatórios, para a também determinação de todos os parâmetros citados acima.

2.3.11. Ajustamento Osmótico (AO)

Por ocasião da coleta das folhas para determinação do potencial hídrico, coletou-se folhas próximas e semelhantes as utilizadas para determinação do potencial hídrico para realização do ajustamento osmótico. As folhas coletadas foram acondicionadas em isopor e transportadas para o laboratório, onde foram postas para saturar em sacos (totalmente preenchidos por água destilada) por 24h a 4°C no escuro.

Após atingirem completo turgor as folhas foram secas com papel toalha e maceradas em almofariz com auxílio de pistilo. A seiva extraída foi filtrada, acondicionada em microtubo para centrifuga e posteriormente centrifugadas a 10000 g por 15 minutos a 4°C.

A leitura da osmolalidade foi realizada em osmômetro (VAPRO WESCOR modelo 5600) no sobrenadante remanescente da centrifugação. Uma alíquota de 10µL foi utilizada nas leituras.

Os resultados obtidos em mmol kg⁻¹ foram convertidos a MPa partir da equação de Van't Hoff. O ajustamento osmótico foi obtido a partir da diferença entre potencial osmótico das plantas controle e das plantas estressadas (Equação06) conforme descrito por Blum (1989).

$$AO_{tot} = \Psi_{oc}^{100} - \Psi_{os}^{100} \quad (\text{Eq. 06})$$

Onde,

AO_{tot} – Ajustamento osmótico Total;

Ψ_{oc}^{100} – Potencial osmótico das plantas controle a pleno turgor.

Ψ_{os}^{100} – Potencial osmótico das plantas estressadas a pleno turgor.

2.4. ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados obtidos das análises de solo, solução nutritiva e plantas, foram tabulados e submetidos a uma série de análises de estatística, sendo elas descritiva através de medidas de tendência central (média, mediana e moda) e de dispersão (desvio-padrão, assimetria e curtose) e análise de variância. Adotou-se nível de significância de 5% de probabilidade, com

posteriores ajustes de equações de regressão, com o objetivo de obter o comportamento gráfico e a equação que explique os dados obtidos de modo que apresentem, entre outros fatores, um desvio de regressão não significativo, alto coeficiente de regressão (R^2) e/ou explicação biológica.

Para os resultados que apresentaram interações entre os fatores avaliados, foram realizados um desdobramento dos graus de liberdade de um fator dentro de cada nível do outro fator, podendo desta forma observar o efeito de cada fator dentro dos diferentes níveis do outro fator da interação.

Para avaliar os diferentes sistemas de cultivo em cada nível de salinidade, também foi utilizado testes de comparação de média Tukey a 5% de probabilidade.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1. Número de folhas e área foliar

Houve interação entre os diferentes sistemas e os crescentes níveis das CEs das águas salobras a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Houve uma tendência de aumento da área foliar à medida que se aumentou a condutividade elétrica da água de irrigação para os sistemas solo (com e sem cobertura), como também para a hidroponia, sendo esta a que apresentou maior aumento, como também diferiu dos demais tratamentos, independentemente da concentração salina utilizada (Figura 04).

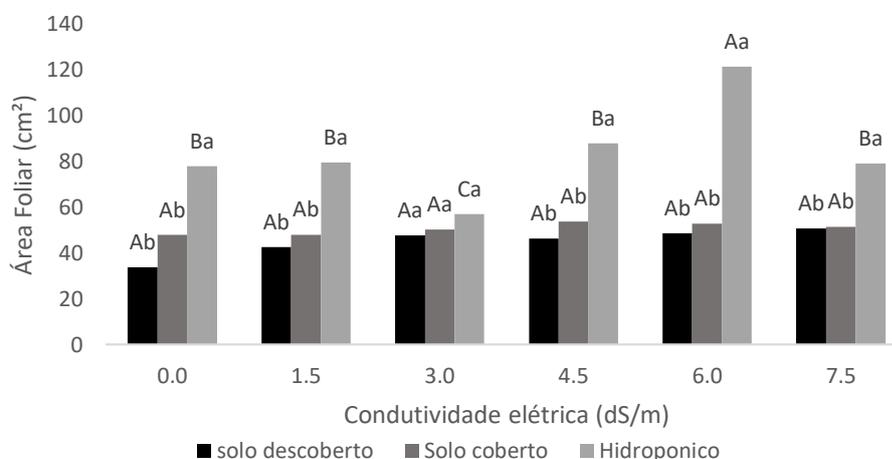


Figura 04. Área foliar do espinafre nos diferentes sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) e com os crescentes níveis de água de reposição. Letras iguais Maiúsculas não diferem entre si as CE da água e letras minúsculas ao sistema de cultivo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A área foliar em solução nutritiva pode alcançar valores equivalentes ao dobro quando comparado ao cultivo em solo (RONCHI et al., 2001; NEVES et al., 2005).

Espera-se que a área foliar reduza com o aumento da condutividade elétrica, como resposta ao estresse, bem como relatado para culturas como a couve chinesa (LIRA et al., 2015), berinjela (LIMA et al., 2015), Coentro (REBOUÇAS et al., 2013), inclusive também observado para o espinafre cv. Matador (ÜNLÜKARA, YURTYERI & CEMEK, 2017). Entretanto, o mesmo não foi observado para o espinafre cv Viroflay, bem como para as cultivares Ragoon (ORS & SUAREZ, 2017) e Crocodile (XU & MOU, 2016), indicando que a salinidade afeta de modo diferente mesmo sendo plantas de mesma espécie, bem como observado por Costa et al. (2003), estudando diferentes cultivares de feijão de corda.

O número de folhas apresentou diferença significativa a 1% ($p < 0,01$) de probabilidade apenas aos diferentes sistemas adotados. Sendo o sistema hidropônico o que apresentou em média, três vezes o valor do número de folhas apresentado pelo solo descoberto e duas vezes e meia o do solo com cobertura plástica (Tabela 03).

A média de folhas do sistema hidropônico foi quase três vezes maior que média dos cultivos em solo. Menores resultados no número de folhas do cultivo em solo também foram constatados para a cultura da rúcula (JARDINA et al., 2017), porém sob salinidade outras hortaliças como o é o caso da alface reduz também linearmente em decorrência do incremento salino (PAULUS et al., 2012), uma vez que se trata de uma cultura mais sensíveis ao estresse salino, quando comparada ao espinafre.

Tabela 03. Número de folhas do espinafre em solo com e sem cobertura e em sistema hidropônico sob diferentes níveis de água salobra.

Sistemas de cultivo	Condutividade elétrica da água utilizada para reposição (dSm^{-1})						
	0	1.5	3	4.5	6	7.5	Média
Solo descoberto	12,28	14,63	13,13	12,66	12,66	11,44	12,80B
Solo coberto	19,31	17,91	15,66	17,50	13,78	14,06	16,37B
Hidropônico	50,63	43,88	44,63	29,63	37,50	43,59	41,64A

Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

2.5.2. Teor Relativo de Água e Suculência foliar

O teor relativo de água (TRA) não apresentou diferença significativa entre o tipo de sistema adotado, mas diferiu para a condutividade elétrica a 1% ($p < 0,01$). Houve redução linear do TRA com elevação da condutividade elétrica (Figura 05).

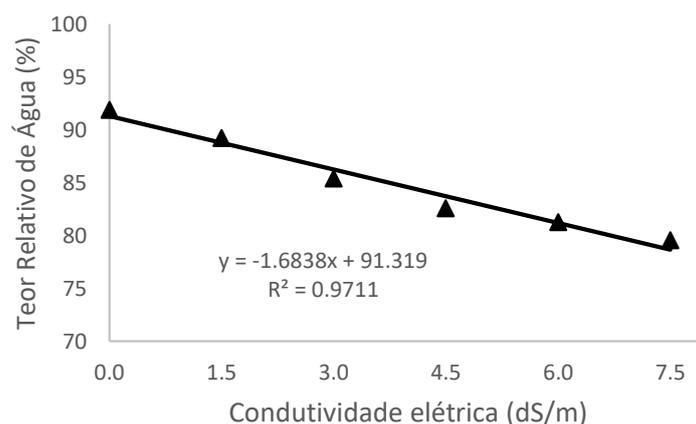


Figura 05. Teor relativo de Água (TRA) do espinafre irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.

A redução do conteúdo de água na folha geralmente está associada aos estresses hídrico (MORO, BROETTO & MORO, 2015) ou salino (LIMA, BULL & GRASSI FILHO, 2006) e geralmente apresenta redução à medida que se eleva o nível de estresse. Xu & Mou (2016) estudando o espinafre cv Crocodile, também constataram a redução do TRA com o aumento da concentração salina, o que segundo ARNDT et al. (2015) poderá ter forte influência sob os resultados dos potenciais de água na planta.

Outra variável que apresentou interação entre os sistemas adotados e as diferentes concentrações de sal a um nível de 1% ($p < 0,01$), foi a suculência foliar. Neste parâmetro foi observado aumento linear com elevação das concentrações de sais no sistema solo (com e sem cobertura), já o sistema hidropônico obteve uma inicial redução, sendo a mínima estimada na CE de $3,92 \text{ dSm}^{-1}$ com o valor de $1,97 \text{ g/dm}^2$ e para o solo com cobertura e sem cobertura os valores estimados de $2,80$ e $2,56 \text{ g/dm}^2$ respectivamente para a mesma CE em questão (Figura 06).

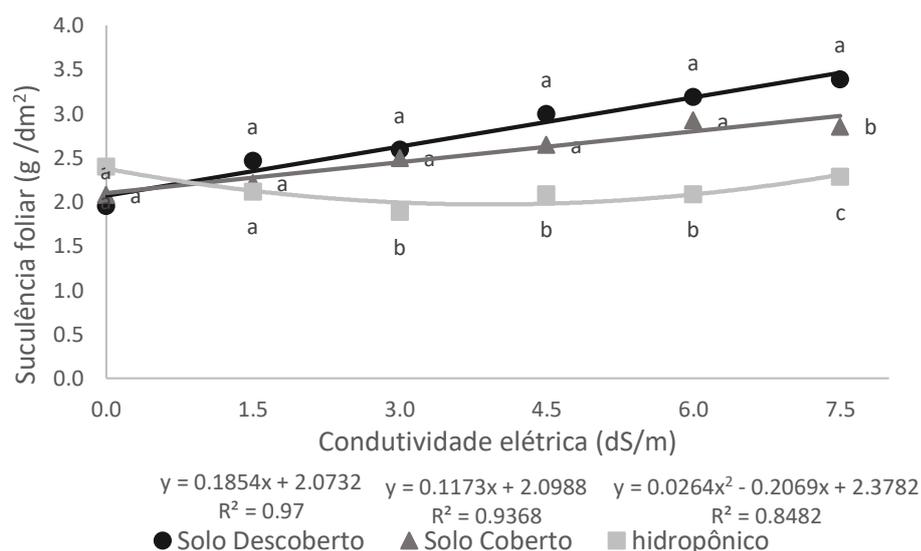


Figura 06. Suculência foliar do espinafre em diferentes sistemas de cultivo (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT. Letras iguais entre si não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott ao nível de 5%.

É possível observar que o aumento da salinidade influenciou fortemente na suculência foliar e, neste caso, como o aumento da salinidade ocorre de maneira mais acelerada no solo descoberto, promovendo assim os maiores valores, seguido pelo solo com cobertura e o hidropônico. Esta observação é reforçada, por meio do forte coeficiente de correlação de Pearson de 0,81 entre a suculência foliar e o potencial osmótico final dos diferentes sistemas adotados, sendo estes citados mais adiante no trabalho (Figura 07).

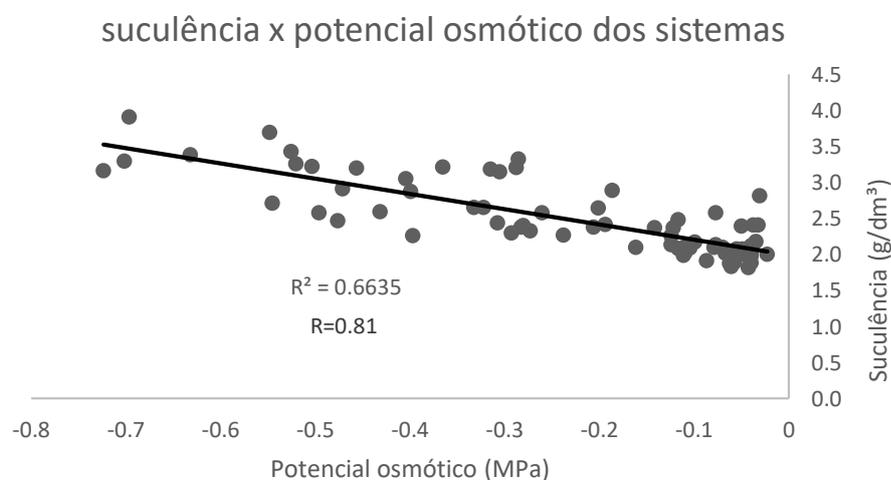


Figura 07. Correlação entre o potencial osmótico dos sistemas adotados e a suculência foliar do espinafre.

O aumento da suculência, ou seja, do conteúdo de água por unidade de área foliar é um indicativo de ajustamento osmótico, além de estar atrelado com características próprias

das plantas (Silva et al., 2009). Wignarajah, Jennings & Handley (1975) observaram que o *Phaseolus vulgaris* apresentou aumento da suculência foliar com o estresse salino, além de constatar que este aumento de sua espessura foliar, se deu pelo incremento no volume das células do parênquima esponjoso.

Plantas halófitas mudam inúmeras estruturas em resposta a salinidade, dando destaque ao aumento da suculência foliar, que tem por característica o aumento da espessura da folha, em especial do parênquima esponjoso, com menor espaço intracelular e maior elasticidade do tecido, além de resultar em uma menor relação superfície/volume (FERNANDES et al., 2016). Ainda segundo o mesmo autor o aumento da suculência promove efeito de diluição dos íons dentro da célula, possibilitando a convivência com altas concentrações de sais em parte dos tecidos, sendo o cloreto de sódio considerado o sal mais eficiente em promover tais efeitos na planta

2.5.3. Massa Fresca e Seca do espinafre

Houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os diferentes níveis de água salobra a 1% ($p < 0,01$) de probabilidade na massa fresca. O sistema hidropônico demonstrou um aumento linear em decorrência do aumento da salinidade, já o sistema solo (com e sem cobertura) apresentaram um ponto de máxima produtividade nas CE 3,99 e 6,24 dSm^{-1} e os respectivos valores de máxima produção de 50,51 e 45,58 gramas. Sendo o valor do hidropônico para estas mesmas CE (3,99 e 6,24) de 160,97 e 184,51g respectivamente (Figura 08).

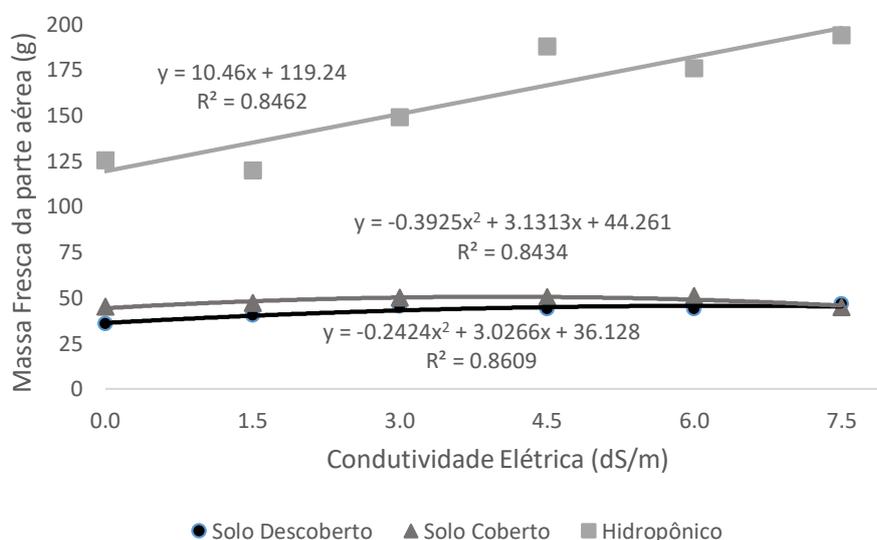


Figura 08. Massa fresca da parte aérea do espinafre para os três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.

Dentro da faixa de salinidade trabalhada observou-se melhor produtividade no sistema hidropônico, seguido pelo solo com cobertura e sem cobertura. Neste caso, indica que em pequenas quantidades de cloreto de sódio na água de irrigação do espinafre eleva a produção de massa fresca, o mesmo foi observado por Ors & Suarez (2017) até o nível de 9 dSm⁻¹ da água de irrigação para o espinafre da cv Racoon.

Assim como na massa fresca, houve interação a 1% de probabilidade (p<0,01) entre os sistemas e as concentrações dos tratamentos salinos para massa seca. Os maiores valores de produção foram observados no sistema hidropônico, quando comparados ao sistema solo.

O sistema solo com cobertura e sem cobertura apresentaram máxima produção nas CEs de 4,32 e 4,67 dSm⁻¹ respectivamente, apresentando valores de máxima estimados em 4,48 e 4,04 gramas. Já o hidropônico para estas mesmas CE apresentou valores estimados em 14,74 e 14,81 gramas (Figura 09).

Em linhas gerais, observa-se maiores valores tanto de produção quanto das variáveis biométricas, no cultivo hidropônico, uma vez que, o mesmo possui maior capacidade de produção por unidade de área em relação ao cultivo em solo (SAMANGOOEI; SASSI & LACK, 2016). Em termos de evolução da salinidade, o espinafre cultivado hidroponicamente, apresentou aumento de produção em virtude do acréscimo da mesma, comportamento contrário ao de hortaliças mais sensíveis a salinidade como coentro (SILVA et al., 2015).

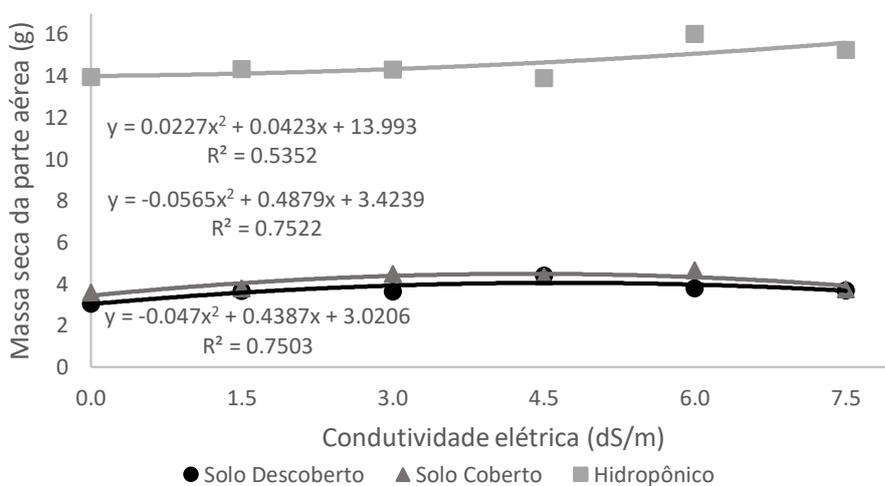


Figura 09. Massa seca da parte aérea do espinafre nos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.

O incremento salino em concentrações menores concentrações provocou aumento do parâmetro avaliado, reforçando indícios que a salinidade em concentrações baixas, pode

promover melhorias em alguns parâmetros de crescimento e fisiológicos do espinafre (XU & MOU, 2016; ORS & SUAREZ, 2017).

O efeito positivo da adubação com sódio já é relatado em plantas natrofilicas, como o espinafre, a beterraba e o aipo, que contêm cerca de 1 a 3% de sódio em suas folhas, sendo este responsável por diversas alterações fisiológicas como aumento de crescimento, área foliar, além de regular o suprimento de água por meio do fechamento estomático mais rápido (HANEKLAUS; BLOEM & SCHNUG, 2018).

A utilização da cobertura plástica sob irrigação salina pode promover aumento da fitomassa seca e área foliar das plantas em relação ao solo sem cobertura, sendo este resultado também observado por Medeiros et al. (2007).

2.5.4. Potencial osmótico dos sistemas

Os potenciais osmóticos dos sistemas tiveram interação com os níveis crescentes de água salobra ao nível de 1% ($p < 0,01$) de probabilidade. Os três sistemas apresentaram redução do potencial osmótico à medida que se elevou a CE da água utilizada na reposição diária, sendo a inclinação da reta e conseqüentemente a maior redução do potencial osmótico no solo sem cobertura, seguido pelo solo com cobertura e por fim no sistema hidropônico (Figura 10).

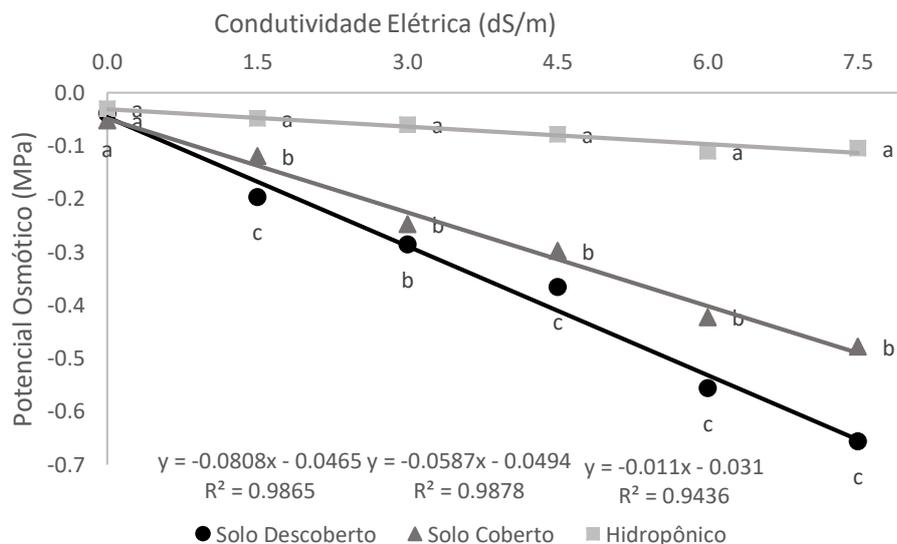


Figura 10. Potencial osmótico final dos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A utilização da cobertura do solo atenuou a redução do potencial osmótico solo em cerca de 25%, em comparação com o solo descoberto para a CE de $7,5 \text{ dSm}^{-1}$. Já os valores de condutividade elétrica encontrados na da pasta final de saturação indicaram uma redução de apenas 14% (Figura 11).

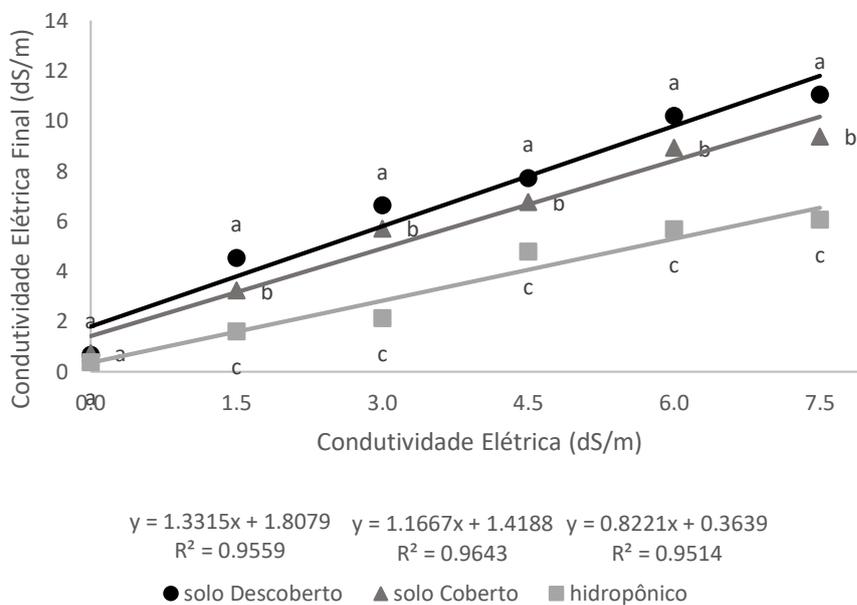


Figura 11. Condutividade elétrica final dos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em condições de irrigação com águas salobras foi encontrado um valor de aumento na salinidade de 16% para CE de $7,5 \text{ dSm}^{-1}$ no sistema sem cobertura em comparação com o solo coberto, sendo semelhante aos dados encontrados na literatura que indicam que um solo sem cobertura pode encontrar valores até 20% maiores para uma mesma CE da água de irrigação em comparação com o solo coberto (BEZBORODOV et al., 2010).

Em se tratando de solo com problemas de sais, Duarte & Souza (2016) constataram que o potencial osmótico pode corresponder a 90% do potencial total de água no solo quando o mesmo foi irrigado com águas com concentrações iguais ou superiores a de 2 dSm^{-1} .

A reposição da lamina evapotranspirada com água salobra promoveu um pequeno aumento da salinidade (SOARES et al., 2007; SOARES et al., 2010; ALVES et al., 2011) e consequente menor redução do potencial osmótico da solução em comparação com o sistema solo.

2.5.5. Potencial hídrico foliar (Total)

Verificou-se diferença significativa ($P < 0,01$) no potencial hídrico foliar nas plantas cultivadas, em relação aos sistemas de cultivo e a condutividade elétrica da água de reposição. De modo geral os três sistemas apresentaram uma redução do potencial hídrico foliar à medida que se elevou os níveis das concentrações salinas (Figura 12). Contudo, o potencial hídrico do solo com cobertura, apresentou um ponto de máxima redução na CE $6,42 \text{ dSm}^{-1}$ e um potencial de $-0,50 \text{ MPa}$, sendo o potencial total dos demais sistemas para a mesma CE de $-0,66$ e $-0,53 \text{ MPa}$ para o solo descoberto e para o sistema hidropônico respectivamente.

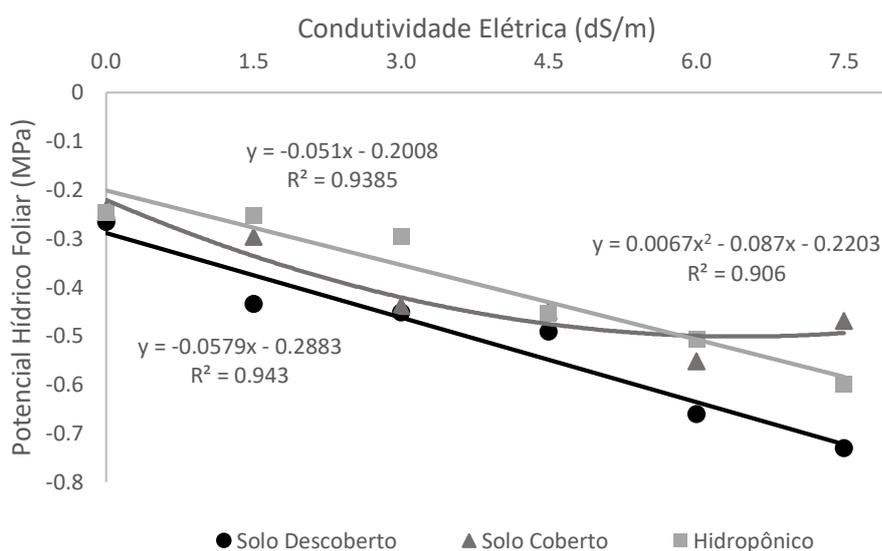


Figura 12. Potencial hídrico foliar do espinafre nos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) em função dos diferentes níveis de água salobra das águas de reposição aos 38 DAT.

O potencial hídrico da planta é um importante parâmetro de avaliação do status hídrico da planta, uma vez que, níveis elevados de salinidade na água de irrigação reduzem a diferença entre o potencial hídrico do solo e da planta e conseqüentemente dificultando a absorção de água pela planta (OLIVEIRA et al., 2016).

No caso do hidropônico houve uma maior amplitude entre o potencial da planta e o osmótico da solução, o que se tratando de sistema hidropônico, a principal atuante é a própria componente osmótica da solução, fato este que deve ser levado em conta na determinação de um possível limiar de salinidade para a cultura, uma vez que a depender do sistema o mesmo poderá ter mais de uma componente envolvida, como é o caso do solo com a componente osmótica e matricial (SILVA et al., 2007).

2.5.6. Potencial osmótico do espinafre

O potencial osmótico da planta apresentou interação significativa ($p < 0,05$) entre os sistemas adotados e os diferentes níveis salinos da água de reposição. De modo geral os três sistemas apresentaram uma redução do potencial osmótico à medida que aumentava os níveis das CE da água de reposição, o que pode ser comprovado por meio do ajustamento osmótico e consequente manutenção da reposição hídrica devido a redução do também potencial total da planta (ROBINSON & JONES, 1986) (Figura 13).

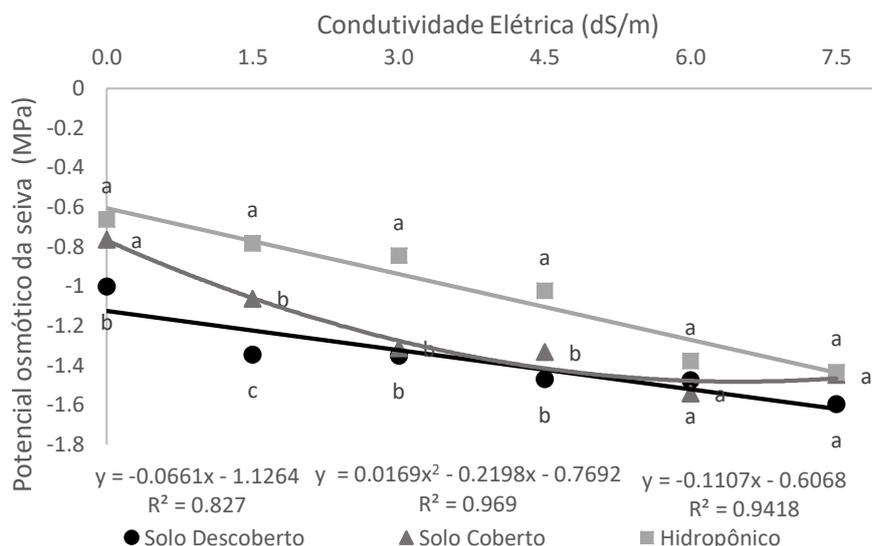


Figura 13. Potencial osmótico final dos três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigado com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Comportamento semelhante ao do potencial hídrico foi apresentado pelo potencial osmótico, ou seja, o solo coberto apresentou uma CE estimada de $6,50 \text{ dSm}^{-1}$ como sendo a de máxima redução do potencial alcançando o valor de $-1,48$ para o solo coberto, $-1,56$ para o solo descoberto e $-1,33$ MPa para o hidropônico.

2.5.7. Potencial de pressão do espinafre

O potencial de pressão foliar apresentou diferença significativa ($p < 0,01$) tanto em relação aos sistemas quanto aos níveis sais utilizados. Houve um aumento do potencial de pressão para todos os sistemas trabalhados a medida que se aumentava a concentração salina da água de irrigação (Figura 14).

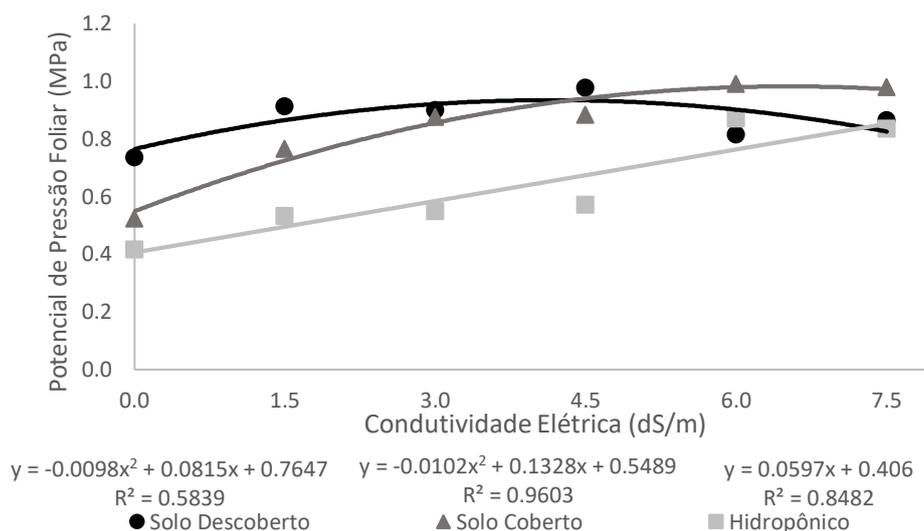


Figura 14. Potencial de pressão do espinafre para os três sistemas adotados (solo com e sem cobertura e hidropônico) irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 36 DAT.

Novamente a CE que apresentou valores críticos foi aproximadamente de $6,5 \text{ dSm}^{-1}$, o que provavelmente está atrelado aos valores do potencial osmótico e do ajustamento osmótico realizado pelo espinafre.

Houve comprovada atuação do ajustamento osmótico para manutenção do turgor celular, indicada anteriormente pela redução dos demais potenciais estudados, sendo tal estratégia juntamente com expansão da parede celular, responsáveis pela maior eficiência do balanço hídrico e consequente sobrevivência da cultura sob estresse (BLUM, 2016).

2.5.8. Ajustamento osmótico

O ajustamento osmótico apresentou efeito significativo apenas para a condutividade elétrica ($P < 0,01$). A média dos valores de ajustamento osmótico para as CE's de 6 e $7,5 \text{ dSm}^{-1}$ não diferiram estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, bem como ocorrido para as médias do potencial hídrico e osmótico para as respectivas CE's (Tabela 04).

Tabela 04. Status hídrico do espinafre para as diferentes concentrações salinas.

CE (dS/m)	Ψ_w	Ψ_{os}	Ψ_p	Ao_{tot}
0	-0,25A	-0,81A	0,56	-
1,5	-0,33B	-1,06B	0,74	0,12C
3,0	-0,40B	-1,17B	0,78	0,18B
4,5	-0,46C	-1,28C	0,81	0,21A
6,0	-0,57D	-1,46D	0,89	0,24A
7,5	-0,60D	-1,49D	0,89	0,25A

Onde, Ψ_w corresponde ao potencial hídrico foliar, Ψ_{os} ao potencial osmótico, Ψ_p Potencial de pressão e Ao_{tot} ao ajustamento osmótico. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Lins et al. (2018), trabalhando com *Atriplex Nummularia*, verificou valores de ajustamento que variaram entre 1,36 e 4,89 para um incremento salino entre 0,05M ($\approx 5 \text{dSm}^{-1}$) e 0,30M ($\approx 30 \text{dSm}^{-1}$), o que já era esperado uma vez que, a planta em questão era uma halófito, que além de possuir mecanismos especializados para ambiente salino, recebeu um maior incremento salino devido a duração de 84 dias, o que justificaria o maior ajustamento mesmo para o nível de 5dSm^{-1} .

Os valores obtidos indicam que o espinafre foi capaz de ajustar até determinada CE para os diferentes sistemas adotados, assim como observado por Gupta & Berkowitz (1988), no qual o aumento da concentração de solutos nos cloroplastos se deu a partir do déficit hídrico da folha, que por sua vez, ocorreu em virtude do aumento do estresse.

Na CE estimada para o máximo potencial osmótico ($6,50 \text{dSm}^{-1}$) do espinafre os valores dos potenciais nos sistemas corresponderam a -0,43, -0,56 e -0,10 MPa para o solo com e sem cobertura e no sistema hidropônico respectivamente, podendo ser um indicativo que o ajustamento ocorreu a partir da perda do conteúdo de água (YOKOI, BRESSAN & HASEGAWA, 2002).

Em plantas natrofilicas, o sódio pode vir a substituir o potássio em algumas funções metabólicas, tal substituição, quando ocorrida no vacúolo, contribui para a manutenção do equilíbrio osmótico (osmorregulação), promovendo aumento no potencial de soluto, no turgor e na expansão celular (DALCORSO et al., 2014).

2.5.9. Eficiência do uso da água e Consumo hídrico

A EUA apresentou interação ($P < 0,01$) entre os níveis de salinidade e os sistemas de cultivo. É possível observar que o sistema hidropônico apresentou a maior eficiência, seguido pelo solo com cobertura e sem cobertura.

A CE na qual o sistema hidropônico apresentou mínima eficiência foi $3,03 \text{dSm}^{-1}$ com o valor de $3,73 \text{mg}/\text{H}_2\text{Og}$. Já o solo com cobertura e sem cobertura apresentaram máxima eficiência nas CE's de $5,75$ e $5,5 \text{dSm}^{-1}$ com os valores de $2,50$ e $1,86 \text{mg}/\text{H}_2\text{Og}$ (Figura 15).

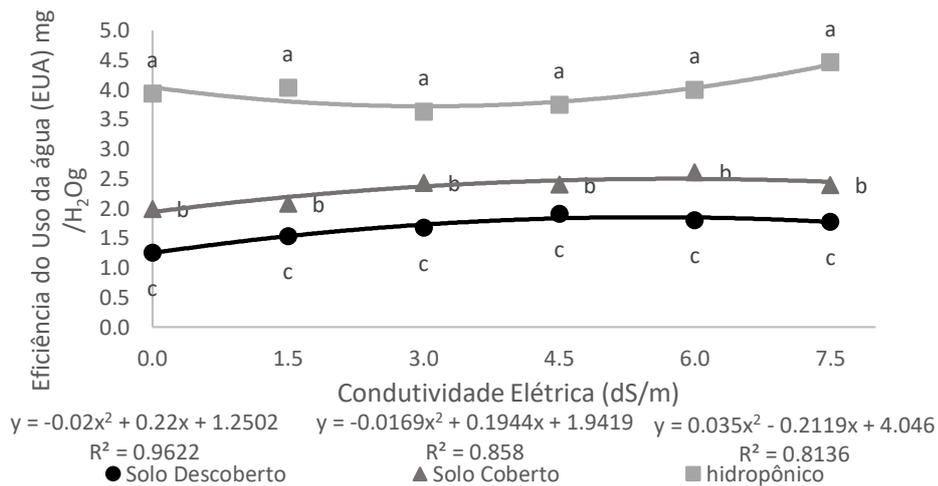


Figura 15. Eficiência do uso da água (EUA) para os diferentes sistemas adotados irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Segundo Bezerra Neto & Barreto (2012) os resultados de produtividade e neste caso consequentemente maior eficiência do uso da água, é possível porque na hidroponia as plantas se desenvolvem nas melhores condições possíveis de água e nutriente, sendo assim podem alcançar a máxima produtividade correspondente ao seu potencial genético.

O sistema hidropônico independente do tratamento salino foi o que apresentou maior consumo acumulado, seguido pelo solo descoberto e solo com cobertura (Figura 16).

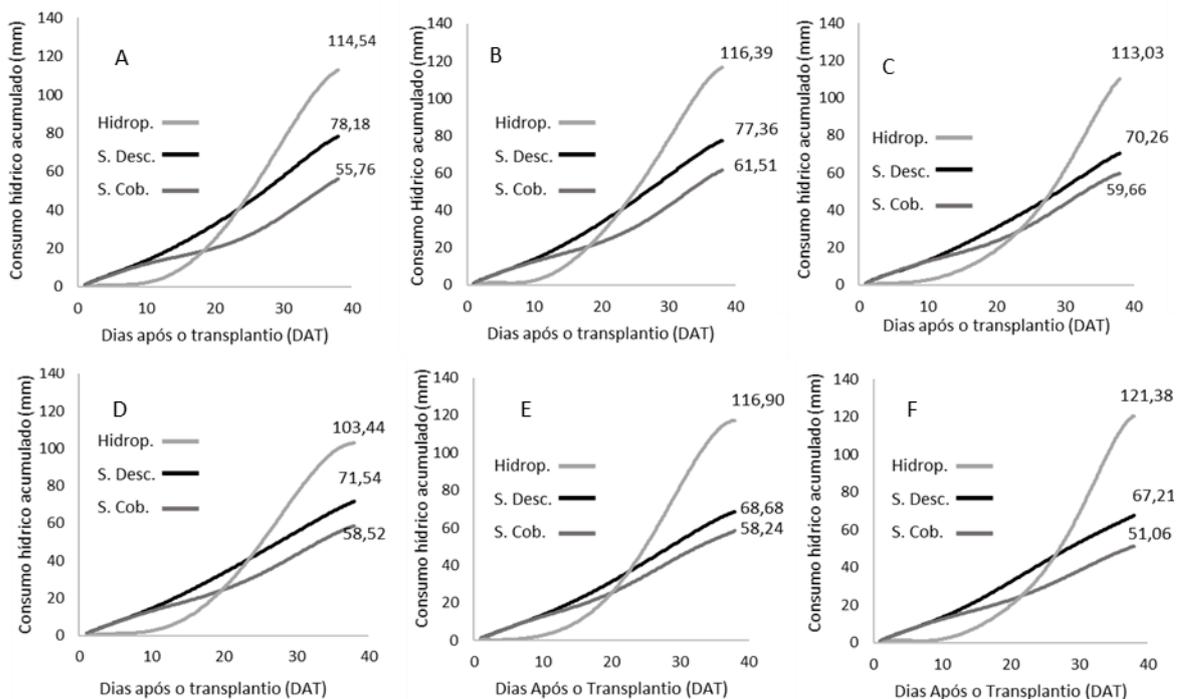


Figura 16. Lamina do consumo hídrico acumulado para os diferentes sistemas adotados irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT. As letras A, B, C, D, E e F representam os tratamentos 0, 1,5, 3, 4,5, 6 e 7,5 dSm⁻¹ respectivamente.

Verifica-se reduções de 20,42% e 49,72 % em termos de consumo hídrico entre o sistema solo com cobertura em relação aos sistemas de solo descoberto e hidropônico, além de maiores valores de produtividade e EUA, quando comparado ao sistema de solo descoberto. O mesmo pode ser constatado por Carvalho et al. (2011) no cultivo de beterraba utilizando cobertura morta.

Os valores de consumo hídrico do sistema hidropônico foram superiores aos demais sistemas, devido ao significativo aumento de produção e área foliar, o que pode ser comprovado pelos maiores valores da EUA, ou seja, o aumento de produção de massa seca, equivalente a 1,7 e 2,4 vezes o observado no sistema solo com e sem cobertura foi bem maior que o aumento do consumo hídrico, sendo assim mais eficiente que os demais sistemas.

2.6. CONCLUSÕES

1. O sistema de cultivo hidropônico apresenta a maior produção em comparação ao cultivo em solo, independentemente do nível salino.
2. O cultivo em solo com cobertura atenua a evolução da salinidade em relação ao cultivo em solo descoberto.
3. O Consumo hídrico no sistema hidropônico é superior aos demais sistemas, entretanto conclui-se que o realiza com maior eficiência do uso da água.
4. Em níveis de CE inferiores a $7,5 \text{ dSm}^{-1}$ a utilização do cloreto de sódio na água de irrigação promove no espinafre cv. Viroflay aumento da suculência foliar, ajustamento osmótico e redução dos potenciais na planta, sem gerar perdas de produção.
5. O uso da cobertura plástica associada ao incremento de baixos níveis de salinidade na água de irrigação promove aumento de fitomassa fresca, sendo máxima produção na CE $3,99 \text{ dSm}^{-1}$.

2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L.; PAZ, V. P. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, 2011.

ARNDT, S. K.; IRAWAN, A.; SANDERS, G. J. Apoplastic water fraction and rehydration techniques introduce significant errors in measurements of relative water content and osmotic potential in plant leaves. **Physiologia plantarum**, v. 155, p. 355-368, 2015.

AVŞAR, B. **Genetic Diversity of Turkish Spinach Cultivars (*Spinacia oleracea* L.)**. The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, İzmir/Turkey, Turquia, 2011, 27 p.

BEADLE, C. L. Growth analysis. In: **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**. Springer Netherlands, 1993. p. 36-46.

BEZBORODOV, G. A.; SHADMANOV, D. K.; MIRHASHIMOV, R. T.; YULDASHEV, T.; QURESHI, A. S.; NOBLE, A. D.; QADIR, M. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 138, p. 95-102, 2010.

Blum, A. Osmotic adjustment and growth of barley cultivars tation to water deficit in chickpea breeding lines by osmoregulation, under drought stress. **Crop Sci.**, v. 29, p. 230–233, 1989.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, cell & environment**, v. 40, p. 4-10, 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2018.

CARDOSO, J. M. da S. **Avaliação agrônômica de espécies e cultivares de hortaliças em função do uso de práticas de adubação verde em sistemas agrobiodiversos em transição agroecológica**. 2016. ix, 30 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

CARVALHO, D. D.; OLIVEIRA, N. D.; RIBEIRO, R. D. L.; GUERRA, J. G.; ROUWS, J. R. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 269-277, 2011.

CELESTRINO, R. B.; DE ALMEIDA, J. A.; DA SILVA, J. P. T.; DOS SANTOS LUPPI, V. A.; VIEIRA, S. C. Novos olhares para a produção sustentável na Agricultura Familiar: avaliação da alface americana cultivada com diferentes tipos de adubações orgânicas. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 3, p. 66-87, 2017.

COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS - CISAGRO. **Projeto de Irrigação da fazenda Nossa Senhora do Rosário-Pesqueira-PE**. Pernambuco, Brasil, 1991. 230 p.

COSTA, P. H. A.; SILVA, J. V.; BEZERRA, M. A.; ENÉAS FILHO, J.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 289-297, 2003.

DA SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; DE SOUZA OLIVEIRA, I.; DA SILVA SANTOS, J. C.; PINHO, J. S.; DE FREITAS, F. T. O. Produção de coentro em hidroponia nft com o uso de águas salobras para reposição do consumo evapotranspirado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, p. 246-258, 2015.

DA SILVA, P. F.; Da Silva, P. F.; De Matos, R. M.; Barros, A. C.; da Silva, E. M.; Duarte, S. N. Índices foliares do tomateiro sob níveis de salinidade do solo e manejo da fertirrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido - ACSA**, v. 11, p. 67-75, 2016.

DALCORSO, G.; MANARA, A.; PIASENTIN, S.; FURINI, A. Nutrient metal elements in plants. **Metallomics**, v. 6, p. 1770-1788, 2014.

DE ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na produtividade da alface americana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, 2016.

DELF, E. M. Transpiration in succulent plants. **Annals of Botany**, v. 26, p. 409-442, 1912.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2 ed, p. 151-161, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA & SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Catálogo brasileiro de hortaliças**: Saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país. Brasília, 2010. 59 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, DF: EMBRAPA 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa 2017. 573p.

FAGAN, E. B.; PETTER, S. L.; SIMON, J.; BORCIONI, E.; LUZ, J. L.; MANFRON, P. A. Eficiência do uso de água do meloeiro hidropônico. **Bioscience Journal**, v. 25, p. 37-45, 2009.

FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. D.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalada. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.;

GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2016. 504p.

FURLANI, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT. Campinas: IAC, **Boletim técnico**, v. 168, 1998. 30p.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos**. Mossoró: ESAM, 70p, 1991.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 383p, 1997.

GOMES NOBRE, R.; LIMA, G. S. de.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. O. da. Crescimento, consumo e eficiência do uso da água pela mamoneira sob estresse salino e nitrogênio. **Revista Caatinga**, v. 27, 2014.

GUPTA, A. S.; BERKOWITZ, G. A. Chloroplast osmotic adjustment and water stress effects on photosynthesis. **Plant physiology**, v. 88, p. 200-206, 1988.

HANEKLAUS, S. H.; BLOEM, E.; SCHNUG, E. Hungry Plants—A Short Treatise on How to Feed Crops under Stress. **Agriculture**, v. 8, p. 43, 2018.

HILLEL, D. Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life. **Academic Press**, 2007. 320p.

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; DE CASTRO SILVA, M. C.; SANCHES, A. G.; DE ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, v. 4, p. 78-82, 2017.

KIRKHAM, M. B. Principles of soil and plant water relations. **Academic Press**, 1 ed, 2004, 520p.

LIMA, L. A.; DE OLIVEIRA, F. D. A.; DE CASSIA ALVES, R.; LINHARES, P. S. F.; DE MEDEIROS, A. M. A.; BEZERRA, F. M. S. Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 9, p. 27-34, 2015.

LIMA, M. D. B.; BULL, L. T.; GRASSI FILHO, H. Índices fisiológicos e absorção de nutrientes pela cultura da cebola submetida a condições de salinidade e estresse hídrico. **Irriga**, v. 11, p. 356-366, 2006.

LINS, C. M. T.; SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; PAULINO, M. K. S. S.; MAGALHÃES, P. R. D.; LEAL, L. Y. C.; SANTOS, H. R. B. Pressure-volume (P-V) curves in *Atriplex nummularia* Lindl. for evaluation of osmotic adjustment and water status under saline conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 124, p. 155-159, 2018.

LIRA, R. M. D.; SILVA, G. F. D.; SANTOS, A. N. D.; ROLIM, M. M. Production, water consumption and nutrient content of Chinese cabbage grown hydroponically in brackish water. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 497-505, 2015.

LOPES, T. de C.; KLAR, A. E. Influência de diferentes níveis de salinidade sobre aspectos morfofisiológicos de mudas de eucalyptus urograndis. **IRRIGA**, v. 14, p. 68-75, 2009.

MARTINEZ, H. E. P.; SCOTTI, C. A.; MEYER, A. R. K.; ARAÚJO, J. A. C de.; BLISKA JÚNIOR, A.; DA SILVA, M. L. J. **Solução nutritiva para hidroponia: cálculo, preparo e manejo**. Brasília, SENAR, 1999, 108p.

MEDEIROS, J. D.; SILVA, M. C. D. C.; SARMENTO, D. H.; BARROS, A. D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 248-255, 2007.

MORO, A. L.; BROETTO, F.; MORO, E. Relação hídrica e teor de clorofila em dois cultivares de arroz submetido à deficiência hídrica e adubação silicatada. **Irriga**, v. 20, p. 570, 2015.

MORRIS, D. A. **Hormonal Regulation of Souce-Sink Relationships: An Overview of Potential Control Mechanisms**. In Photoassimilate Distribution Plants and Crops Source-Sink Relationships. Eds. EZamski and A ASchaffer. P 441–466. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA, 1996.

NETO, L. R. B.; DE ASSIS, R. L.; AMÂNCIO, C. O. da G. Dinâmicas Alimentares Saudáveis, a partir de práticas de inclusão sócioprodutivas sustentáveis em ambiente escolar: Estudo de caso do Projeto Educando com a Horta Escolar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, 2017.

NEVES, M. B.; BUZETTI, S.; DE CASTILHO, R. M. M.; BOARO, C. S. F. Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos, em dois substratos com solução nutritiva e em solo. **Científica**, v. 33, p. 127-133, 2005.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; ALMEIDA, B. G.; SILVA, E. F. F.; MELO, H. F.; LEAL, L. Y. C. Soil water energetic status and cowpea beans irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v.20, p.685-691, 2016.

ORS, S.; SUAREZ, D. L. Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. **Agricultural Water Management**, v. 190, p. 31-41, 2017.

PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Ceres**, v. 59, 2012.

PAZ, V. P. D. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.465-473, 2000.

PEDROSA, R. A.; PEREIRA, Z. V. A Agroecologia como Opção para a Produção de Hortaliças na Agricultura Familiar no Município de Ivinhema, Mato Grosso do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, 2016.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M., RAMOS, V. C., DO NASCIMENTO PRATA, A. P.; LUCAS, A. A. T.; DOS SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização

dos solos. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, v. 19, p. 1308-1324, 2015.

REBOUÇAS, J. R. L.; NETO, M. F.; DA SILVA DIAS, N.; DE SOUZA NETO, O. N.; DINIZ, A. A.; DE LIRA, R. B. Cultivo hidropônico de coentro com uso de rejeito salino. **Irriga**, v. 18, p. 624, 2013.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C.: United States Salinity Laboratory, United States Department of Agriculture - Handbook, 60, 1954, 160p.

ROBINSON, S. P.; JONES, G. P. Accumulation of glycinebetaine in chloroplasts provides osmotic adjustment during salt stress. **Functional Plant Biology**, v. 13, p. 659-668, 1986.

RONCHI, C. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; NUNES, J. C. S.; MARTINEZ, H. E. P. índices de nitrogênio e de crescimento do tomateiro em solo e em solução nutritiva. **Ceres**, v. 48, 2001.

SAMANGOOEI, M.; SASSI, P.; LACK, A.. Soil-less systems vs. Soil-based systems for cultivating edible plants on buildings in relation to the contribution towards sustainable cities. **Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society**, v. 4, p. 24-39, 2016.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, A. R., MEDEIROS, S. de S.; DIAS, N. da S.; SANTOS, D. B. dos. Water use efficiency of coriander produced in a low-cost hydroponic system. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 19, p. 1152-1158, 2015.

SANTOS, A. A. Sistema de cultivo hidropônico. **Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga - SIMTEC**, v. 4, p. 14, 2018.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia horticulturae**, v. 78, p. 5-38, 1999.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; DE LIMA, C. S.; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 437-445, 2009.

SILVEIRA, J. A. G.; VIÉGAS, R. A.; ROCHA, I. M. A.; MOREIRA, A. C. D. M.; OLIVEIRA, J. T. A. Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 115-123, 2003.

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. de F.; DOS SANTOS, A. N.; DE LIRA, R. M.; SILVA, M. A.; SOUZA, C. D. da S.; BEZERRA, R. R. Efeitos da salinidade no crescimento de raízes de espinafre em cultivo hidropônico nft. **XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX – UFRPE**, 2013.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. DE F.; JORGE, C. A. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.705-714, 2010.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MELO, R. F.; JORGE, C. A.; Bonfim-Silva, E. M. Produção de alface utilizando águas salobras em sistema hidropônico. **Irriga**, v.12, p.235-248, 2007.

SOUSA, A. B.O.; BEZERRA, M. A. Desenvolvimento de mudas de *Portulacaria afra* Jacq. oriundas de diferentes explantes e irrigadas com água salina. **Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em anais de congresso**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE, 2010.

SOUSA, R. A.; SOUSA, R. A.; DE LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; COSTA, R. N. T.; HERNANDEZ, F. F. F.; DE SOUSA, C. H. C. Crescimento do sorgo em função da irrigação com água salobra e aplicação de compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2315, 2018.

SOUZA, C. D. da S.; BEZERRA, R. R.; SILVA, E. F. de F.; SOARES, H. R.; DOS SANTOS, A. N.; DA SILVA, G. F.; DE LIRA, R. M. Uso de água salobra a partir da adição de nacl para a produção de espinafre. **XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX – UFRPE**, 2013.

SOUZA, E.R.; FREIRE, M.B.G.S; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W.A.; RUIZ, H. A., LINS, C. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p. 20-27, 2012.

THOMAS, G. W. **Exchangeable cations**. In: Page, A. L. (ed). Methods of soil analysis. Part-2 chemical methods. Madison: American Society of Agronomy, p.159-165, 1982.

TRAVASSOS, K. D; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; BARROS, H. M. M.; DA SILVA DIAS, N.; UYEDA, C. A.; DA SILVA, F. V. Crescimento e desenvolvimento de variedades de girassol irrigado com água salina. **Irriga**, v. 1, p. 324, 2012.

ÜNLÜKARA, A.; YURTYERI, T.; CEMEK, B. Effects of Irrigation water salinity on evapotranspiration and spinach (*Spinacia oleracea* L. Matador) plant parameters in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions. **Agronomy Research**, v. 15, p. 2183-2194, 2017.

USDA. **Keys to Soil Taxonomy**, 10th ed. United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (NRCS), 2006.

WIGNARAJAH, K.; JENNINGS, D. H.; HANDLEY, J. F. The Effect of Salinity on Growth of *Phaseolus vulgaris* L. I. Anatomical Changes in the First Trifoliate Leaf. **Annals of Botany**, v. 39, p. 1029-1038, 1975.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, p. 1-23, 2010.

XU, C.; MOU, B. Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 141, p. 12-21, 2016.

YOKOI, S.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. Salt stress tolerance of plants. **JIRCAS working report**, v. 23, p. 25-33, 2002.

YURTYERI, T.; CEMEK, B.; ÜNLÜKARA, A. **Response of Spinach to Different Water Stress Conditions in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions**. In: 12^a Culture technique Symposium, Tekirdağ, Turquia, p. 331–336, 2014.

CAPÍTULO III

TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA E PIGMENTOS
FOTOSSINTÉTICOS EM ESPINAFRE (*Spinacia oleracea* L.) CULTIVADO SOB
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA SALOBRA

RESUMO

O uso de águas salobras na irrigação pode gerar efeitos deletérios no solo e nas plantas. Contudo, os usos de diferentes sistemas de cultivo podem propiciar resultados distintos. A utilização de equipamentos capazes de realizar leituras rápidas e de forma não destrutiva podem ser uma importante ferramenta para o monitoramento das culturas sob estresse salino. Com isso, objetivou-se avaliar as trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e pigmentos fotossintéticos em espinafre (*Spinacia oleracea L.*) cv. Viroflay sob a influência dos diferentes sistemas de cultivo irrigados com água salobra. Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação no Centro de Pesquisas Vegetais (CEPEVE) na Universidade Federal Rural de Pernambuco, em um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições em arranjo fatorial 6 x 3, sendo 6 (seis) níveis de concentrações de cloreto de sódio representados em termos de condutividades elétrica de 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0, 7,5 dSm⁻¹ e 3 (três) sistemas de cultivo, sendo dois deles em solo, um com cobertura plástica e o outro sem cobertura e o terceiro sistema de cultivo foi representado pelo modelo hidropônico tipo floating. As leituras da fluorescência, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas ocorreram aos 35, 36 e 38 dias após o transplântio respectivamente. As variáveis de fluorescência apresentaram maiores resultados para o sistema hidropônico e conseqüentemente maior eficiência quântica do fotossistema II em relação aos sistemas solo. Nos três sistemas houveram reduções do teor de pigmentos com aumento da salinidade da água e o hidropônico foi quem apresentou os maiores resultados. As trocas gasosas foram afetadas negativamente com o aumento da condutividade elétrica da água, porém menos significativamente para a fotossíntese líquida. O espinafre sob estresse salino consegue realizar manutenção do aparato fotossintético, mesmo com as perdas no conteúdo de clorofila. As trocas gasosas são uma importante forma de detectar e avaliar o estresse salino nos diferentes sistemas adotados. O fechamento estomático do espinafre sob estresse salino demonstrou relevância em detrimento da influência nas demais variáveis de trocas gasosas.

ABSTRACT

The use of brackish water in irrigation can generate deleterious effects on soil and plants. However, the uses of different cropping systems may lead to different results. The use of equipment capable of performing rapid and non-destructive readings can be an important tool for monitoring saline stress in the crops. The study was to evaluate the gas exchange, chlorophyll a fluorescence and photosynthetic pigments in spinach (*Spinacia oleracea* L.) cv. Viroflay under the influence of different cropping systems irrigated with brackish water. For this, a greenhouse experiment was carried out at the Plant Research Center (CEPEVE) at the Federal Rural University of Pernambuco, in a randomized block design, with four replications in a 6 x 3 factorial arrangement, 6 (six) levels of sodium chloride concentrations represented in terms of the electrical conductivities of 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0, 7,5 dSm⁻¹ and 3 (three) cropping systems, two of them in soil, one with plastic mulching and the other without cover and the third cropping system was represented by the floating type hydroponic model. Fluorescence readings, photosynthetic pigments and gas exchanges occurred at 35, 36 and 38 days after transplanting, respectively. The fluorescence variables presented higher results for the hydroponic system and consequently higher quantum efficiency of photosystem II in relation to the soil systems. In the three systems there were reductions in the pigment content with increased salinity of the water and hydroponics showed the highest results. The gas exchanges were negatively affected by the increase of the electrical conductivity of the water, but less significantly for the liquid photosynthesis. Spinach under saline stress can preserve the photosynthetic apparatus, even with losses in chlorophyll content. Gaseous exchanges are an important way to detect and evaluate saline stress in the different systems adopted. The stomatal closure of spinach under saline stress showed relevance to the detriment of the influence on the other variables of gas exchange.

Keywords: Salinity; Viroflay spinach; stomatal conductance; quantum yield; IRGA; chlorophyll content.

3.1. INTRODUÇÃO

Os solos afetados por sais, seja de origem natural ou antrópica, ocorrem em diversos lugares do mundo e afetam negativamente a produção agrícola (LIMA; FARIAS & BORGES JÚNIOR, 2016).

Perímetros irrigados sob condições de clima semiárido são propensos a acumulação de sais nas diversas camadas do solo. No Brasil tal problema é comumente encontrado nos perímetros irrigados presentes no semiárido nordestino, devido as características do clima, água e solo da região (FREIRE, et al., 2014a).

Devido à escassez hídrica as águas subterrâneas salobras acabam sendo utilizadas na irrigação como forma de superar esse déficit, embora o uso da mesma possa acarretar outros problemas, como o aumento da salinidade do solo e possíveis toxicidade nas plantas (LI, et al., 2015).

A salinidade pode afetar a planta de duas maneiras distintas, seja por meio do estresse salino, que se dá pelo acúmulo de íons na solução do solo, que por sua vez, tornam a componente osmótica mais negativa, gerando um déficit hídrico por meio da redução do potencial osmótico da solução do solo, já a segunda forma ocorre pela componente iônica, que devido aos altos teores de elementos específicos, como a exemplo dos íon sódio e cloro, afetando assim as diversas relações dos íons, como é o caso da relação sódio e potássio, por fim acarretando possíveis toxidez as plantas devido a absorção em maiores quantidades de íons tóxicos pelas plantas (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Sob a temática do estresse salino a determinação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila a, vem demonstrando serem ferramentas capazes de detectar as alterações fisiológicas em plantas de diferentes espécies e sob diferentes tempos de exposições ao estresse (FREIRE et al., 2014b; BRITO et al., 2016; LIMA et al., 2017). O mesmo pode ser observado em hortaliças folhosas, pois estresses abióticos causam reduções nas concentrações de clorofila e de trocas gasosas (SAMANIEGO-GÁMEZ et al., 2016; SAHIN et al., 2018), apesar de em alface pequenas concentrações salinas alterarem positivamente alguns parâmetros da cultura, como frescor, coloração, as trocas gasosas detectaram alteração, mas o mesmo não ocorreu com o conteúdo de clorofila na folha (VASILAKAKIS et al., 2014).

A hidroponia vem se tornando uma importante alternativa de cultivo, quando a problemática é escassez hídrica e salinidade, devido propiciar uma melhor produtividade, mesmo quando a água utilizada em sua produção contém altas concentrações de sais (SOARES et al., 2007; DA SILVA et al., 2012; REBOUÇAS et al., 2013). A cobertura

plástica é outra técnica agrícola que vem apresentando reduções na evaporação do solo e no acúmulo de sais no solo, aumentando assim a eficiência do uso da água em diversos aspectos (ZHANG et al., 2018; ZHAO et al., 2016).

O espinafre (*Spinacia oleracea* L.) é uma hortaliça folhosa originária do Irã e foi introduzida na Europa por volta do século 11, sendo considerada moderadamente sensível ao estresse salino e muito sensível ao estresse hídrico (SHANNON & GRIEVE, 1999; YURTYERI, CEMEK & ÜNLÜKARA, 2017). Apesar da moderada tolerância a salinidade, a mesma pode ser afetada pela temperatura, tornando-a mais tolerantes em ambientes com temperaturas mais baixas (YURTYERI, CEMEK & ÜNLÜKARA, 2014).

O objetivo desse trabalho é avaliar trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, pigmentos fotossintéticos na tentativa de compreender a influência dos diferentes sistemas de cultivo irrigados com água salina em espinafre (*Spinacia oleracea* L.) cv. Viroflay.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, na estufa de experimentação do Centro de Pesquisas Vegetais (CEPEVE) na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), campus Recife, localizada a 8° 01' 01" de latitude sul, 34° 56' 41" de longitude oeste, e altitude de 6,5 m.

A estrutura era composta lateralmente por tela anti-afídeo e sua cobertura com filme plástico de difusão, sendo suas dimensões internas 11 x 6 m, totalizando 66m² (Fig. 01).



Figura 01. Estufa utilizada durante o experimento.

3.2.2. Coleta do solo

A coleta do solo foi realizada na profundidade de 0-30 cm na fazenda Nossa Senhora do Rosário (coordenadas geográficas: 8°34'11'' latitude sul, 37°48'54'' longitude oeste e 630m de altitude acima do nível do mar) (CISAGRO, 1991), no Município de Pesqueira –PE, região Agreste e semiárida do Nordeste do Brasil. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é BSh que, por sua vez, indica se tratar de um clima extremamente quente e semiárido, apresentando, assim, uma precipitação total média de 730 mm e uma evapotranspiração de referência média anual de 1683 mm (USDA, 2006). O solo é classificado como Neossolo Flúvico de acordo com EMBRAPA (2013)

O solo foi conduzido para a UFRPE e colocado em lona no ambiente protegido, para que secasse ao ar. Depois disso, foi destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm, com o intuito de manter a microagregação do solo e aumentar a representatividade de campo.

3.2.3. Caracterização inicial do solo

Para a caracterização física do solo, realizou-se o procedimento de preparo de amostra, tornando-a terra fina seca ao ar (TFSA) e nela determinou-se a granulometria e argila dispersa em água pelo método do densímetro, densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo balão volumétrico (EMBRAPA, 2017). Determinou-se ainda a umidade na capacidade de campo (CC), na qual o potencial mátrico corresponde a – 100cca (tabela 01).

Tabela 01. Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.

Variáveis	Valor
Areia Grossa (g Kg ⁻¹)	415.72
Areia Fina (g Kg ⁻¹)	186.68
Areia Total (g Kg ⁻¹)	602.40
Silte (g Kg ⁻¹)	277.12
Argila (g Kg ⁻¹)	120.48
Ds (g cm ⁻³)	1.65
Dp (g cm ⁻³)	2.67
ADA (g Kg ⁻¹)	76.23
PT (%)	38.00
GF (%)	36.73
GD (%)	63.27
U _{CC} (g g ⁻¹)	0.10

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; ADA: argila dispersa em água; GD: Grau de dispersão; GF: Grau de floculação. PT: Porosidade total; GD: (ADA/Argila) *100; GF: (100 – GD). CC: Capacidade de Campo.

Para caracterização química determinou-se os cátions Na^+ e K^+ trocáveis, extraídos por acetato de amônio 1 mol L^{-1} , segundo metodologia de Thomas (1982). O extrato de saturação foi obtido por meio do preparo da pasta de saturação (RICHARDS, 1954) e determinou-se condutividade elétrica (CEes) e o pH em água (EMBRAPA, 2017) (Tabela 02).

Tabela 02. Caracterização química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos do experimento.

Variáveis	Valor
Extrato de Saturação	
Condutividade Elétrica (dS m^{-1})	0,4325
Complexo de troca	
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (1:2,5)	6,03
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,05
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,28
P^+ (mg Kg^{-1})	15,61
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	1,5
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,7
SB ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	2,53
Acidez Potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$)	1,02
CTC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	3,55
PST (%)	1,41
V (%)	71,27

SB: Soma de bases ($\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$); **CTC:** Capacidade de troca catiônica ($\text{CTC} = \text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$); **PST:** Percentagem de sódio trocável ($\text{PST} = (100 \cdot \text{Na}^+)/\text{CTC}$); **V:** Percentagem de saturação por bases (SB/CTC).

3.2.4. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi realizado em um delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, arranjo fatorial 6×3 , sendo 6 diferentes concentrações de cloreto de sódio (NaCl) das águas representadas pelas condutividades elétricas (CE) 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 e $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ e 3 (três) diferentes sistemas de cultivo, totalizando 72 parcelas experimentais.

Dois sistemas de cultivo utilizaram solo em vaso, sendo um deles sem cobertura (sistema de cultivo 1), o outro com cobertura plástica (sistema de cultivo 2) e o terceiro sistema representado pela hidroponia tipo *floating* (sistema de cultivo 3), que também foi desenvolvido em vasos com a mesma capacidade dos demais (6 L).

3.2.5. Preparo das águas

Durante a execução do experimento foram confeccionadas águas com seis níveis de salinidade distintos. O nível de salinidade foi estabelecido a partir do incremento de NaCl na água de abastecimento local (controle), até obtenção dos respectivos níveis de condutividade elétrica: 0 (água de abastecimento sem incremento salino, com $CE \approx 0,08 \text{ dSm}^{-1}$), 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 e $7,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Foi utilizada água de abastecimento público (controle) no preparo da solução nutritiva utilizada em todos os vasos, que por sua vez, recebeu a quantidade de nutrientes estabelecida por Furlani (1998) para hortaliças folhosas, uma vez que este é um processo inerente ao sistema hidropônico. Após preparo da solução nutritiva o pH foi avaliado, mas como apresentou valores entre 5,5 e 7, não foi necessário realizar a correção inicial do pH da solução (MARTINEZ et al., 1999).

3.2.6. Manejo hídrico

A reposição da lamina evapotranspirada foi realizada diariamente ao final da tarde. Para tal finalidade, os vasos foram pesados e então adicionados água suficiente para deixar o solo com 80% da umidade na capacidade de campo (previamente determinadas pela curva característica de retenção de água no solo), utilizando sempre as respectivas águas que corresponderam a cada tratamento.

Diariamente também foi avaliado o consumo hídrico de cada vaso que continha solução nutritiva, por meio da mensuração do volume de solução gasto durante a reposição diária da lamina evapotranspirada, sendo esta reposição realizada com as respectivas águas salobras equivalentes a cada tratamento.

3.2.7. Sistema solo

Foi composto por vasos de polietileno com capacidade para 6L sem orifícios para drenagem, diâmetro de 28cm e um volume útil ocupado por solo de 4370 cm^3 o equivalente a 7,21 kg de solo obtendo assim uma densidade de $1,65 \text{ g/cm}^3$. O solo após os devidos processos de preparo (destorroamento e peneiramento em malha de 4 mm) recebeu adubação mineral de Nitrogênio, fosforo e potássio, segundo a recomendação de Fernades (1993). Feito isso, 24 vasos receberam cobertura plástica de polietileno na cor branca e os outros 24 vasos não receberam cobertura. Todos foram pesados diariamente e a reposição hídrica ocorreu de acordo com o processo anteriormente descrito.

3.2.8. Sistema hidropônico

Foi montado um sistema hidropônico *floating*, no qual cada parcela experimental foi composta por um vaso de polietileno igual ao utilizado nos sistemas com solo, contudo sua cobertura foi vedada por isopor, e duas plantas foram fixadas equidistantes entre si e a lateral do vaso, de modo que suas raízes ficassem em contato com a solução nutritiva contida em seu interior (Figura 02).

Para a aeração do sistema foram utilizados compressores de ar que forneceram ar comprimido a todos os vasos hidropônicos, com o objetivo de manter os níveis de oxigênio dissolvido na água acima de 6 ppm, assim como exigido em padrões de qualidade de água na resolução 357 (BRASIL, 2005).

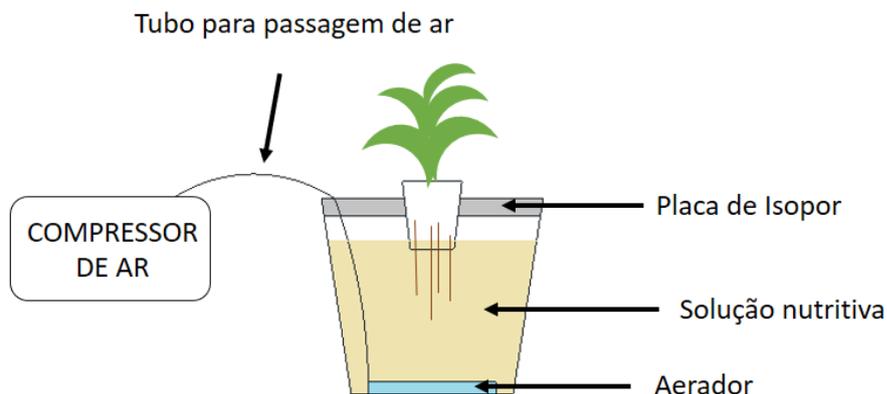


Figura 02. Esquema do sistema hidropônico *floating*, representando uma parcela experimental.

3.2.9. Condução do experimento e preparo das mudas

O experimento foi organizado em bancadas em nível, e cada bloco contou com 18 vasos casualizados. O espaçamento adotado foi de 40 cm entre o centro de uma parcela e outra e cada bloco teve aproximadamente 3,0 m de comprimento por 1,5 m de largura (Figura 03).

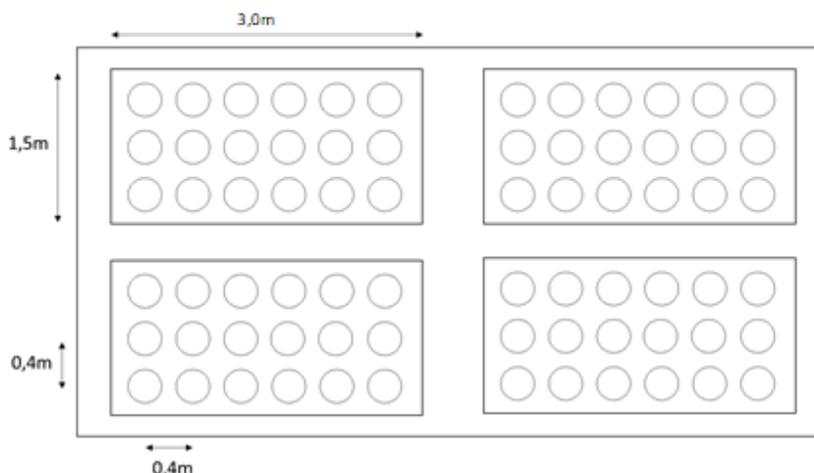


Figura 03. Croqui da área experimental com quatro blocos e um total de 72 vasos.

A cultivar escolhida foi o espinafre de viroflay (*Spinacia oleracea* L.) e a colheita ocorreu durante o período que antecedeu a formação do pendão, aos 38 dias após o transplântio.

Antes do semeio as sementes ficaram 24 horas na água e posteriormente foram colocadas em areia lavada para que germinassem, quando as mudas apresentaram 4 folhas verdadeiras, as mais vigorosas foram transplantadas, de forma que cada vaso contivesse duas plantas, e uma semana após o transplântio, foi dado início aos tratamentos salinos.

Para melhor aclimatação da espécie ao clima da região foram adotadas estratégias de cultivo, como o envelopamento dos vasos com folhas de alumínio e adoção de uma tela de sombreamento de 50% que cobriu toda a área experimental e foi utilizada durante todo o ciclo.

3.3. PARÂMETROS AVALIADOS

3.3.1. Trocas gasosas

Após 38 dias após o transplântio, foram efetuadas as medições das trocas gasosas, nas quais se determinou a fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) em folhas maduras, por meio de um analisador de gás no infravermelho na faixa com Faixa PAR de 1500 uml entre às 9 e 12 horas da manhã (IRGA, Modelo Li-6400xt, LI-COR) (Figura 04).



Figura 04. Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo Analyzer LICOR XT6400). (Fonte: <https://www.licor.com>).

3.3.2. Fluorescência da clorofila

Aos 35 dias após o transplântio foram determinadas a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), além do rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando o fluorômetro (Marca: Fluorpen, Modelo: FP-100). Este procedimento foi realizado entre às 9 e 11h da manhã em folhas aclimatadas ao escuro por meio de um pinçamento durante 30 minutos, que por sua vez, manteve no escuro a área da folha a ser avaliada.

3.3.3. Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos, como Clorofila *a*, Clorofila *b* e carotenoides foram determinados aos 36 dias após o transplântio de acordo com a metodologia descrita por Lichtenthaler (1987). Para a quantificação do conteúdo de pigmentos fotossintéticos nas lâminas foliares, amostras pesando aproximadamente 0,1 g coletado por meio de dois discos foliares com cerca de 8mm de diâmetro foram fragmentados e colocados em frascos contendo 10 mL de acetona pura e envoltos com papel alumínio. As equações utilizadas para o cálculo estão descritas abaixo, com valores de absorbância (A) da clorofila *a* (C_a) lida em 661,6 nm, a clorofila *b* (C_b) em 644,8 nm, e os carotenoides (C_{x+c}) em 470 nm. Feito isso, foi calculada a concentração da clorofila *a*, *b* e carotenoides em μg de pigmentos por unidade de massa fresca (mg) (Equação 01).

$$\begin{aligned}C_a &= (11,24A_{661,6} - 2,04A_{644,8}) * \frac{V}{1000} \\C_b &= (20,13A_{644,8} - 4,19A_{661,6}) * \frac{V}{1000} \\C_{(a+b)} &= (7,05A_{661,6} + 18,09A_{644,8}) * \frac{V}{1000} \\C_{(x+c)} &= \left(\frac{1000A_{470} - 1,90C_a - 63,14C_b}{214} \right) * \frac{V}{1000}\end{aligned} \tag{01}$$

3.4. ANÁLISE DE DADOS

Os resultados obtidos das plantas, foram tabulados e submetidos a uma série de análises de estatística, sendo elas descritiva através de medidas de tendência central (média, mediana e moda) e de dispersão (desvio-padrão, assimetria e curtose).

Cada parâmetro utilizado para avaliar os diferentes sistemas de cultivos e as crescentes concentrações de NaCl, passaram por programa estatístico com intuito principal de realizar a análise de variância (ANOVA) e observar se houve ou não diferença significativa a 5 ou 1 % de probabilidade.

Uma vez realizada a ANOVA, os diversos parâmetros que apresentaram significância a pelo menos 5% de probabilidade, passaram por ajustes de equações de regressão, com o objetivo de obter o comportamento gráfico e a equação que explique os dados obtidos de modo que apresentem, entre outros fatores, um desvio de regressão não significativo, alto coeficiente de regressão (R^2) e/ou explicação biológica, de forma que possibilite a estimação de dados por meio das equações geradas.

Para os resultados que apresentaram interações entre os fatores avaliados, foram realizados um desdobramento dos graus de liberdade de um fator dentro de cada nível do outro fator, podendo desta forma observar o efeito de cada fator dentro dos diferentes níveis do outro fator da interação.

Para avaliar os diferentes sistemas de cultivo em cada nível de salinidade, também foi utilizado testes de comparação de média Tukey a 5% de probabilidade.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Teor de Clorofila

Os resultados da Análise de variância demonstraram que as variáveis Clorofila *a* e *b* e sua respectiva relação (*a/b*) apresentaram diferenças significativas pelo teste F a 1% de probabilidade para interação entre os fatores. Também foi observada interação entre a salinidade e os sistemas para os carotenoides a 5% de probabilidade (Tabela 03).

Tabela 03. Análise de variância (ANOVA) para os pigmentos fotossintéticos e sua relação.

Variável	CV (%)	F _s (sistema)	F _v (CE)	F _s x F _v
Clorofila <i>a</i>	20,84	0,14 ^{ns}	33,12**	11,60**
Clorofila <i>b</i>	16,92	0,11 ^{ns}	43,51**	14,49**
Carotenoides	23,47	0,44 ^{ns}	8,19**	3,92*
Relação <i>a/b</i>	6,51	1,33	8,67**	3,33**

Obs.: ** diferença significativa a 1%, * significativo 5%, ^{ns} não significativo.

Observou-se tendência de redução dos teores de clorofila *a* com o aumento da salinidade da água de reposição e entre os tratamentos os que apresentaram maiores conteúdos

de clorofila *a* foram os tratamentos hidropônicos e solo com cobertura. O sistema hidropônico foi o único que apresentou aumento significativo do conteúdo de clorofila nas concentrações de 1,5 e 3 dSm⁻¹, sendo o tratamento com maior valor o de 3,0 com 31% a mais que a média do próprio (Figura 05).

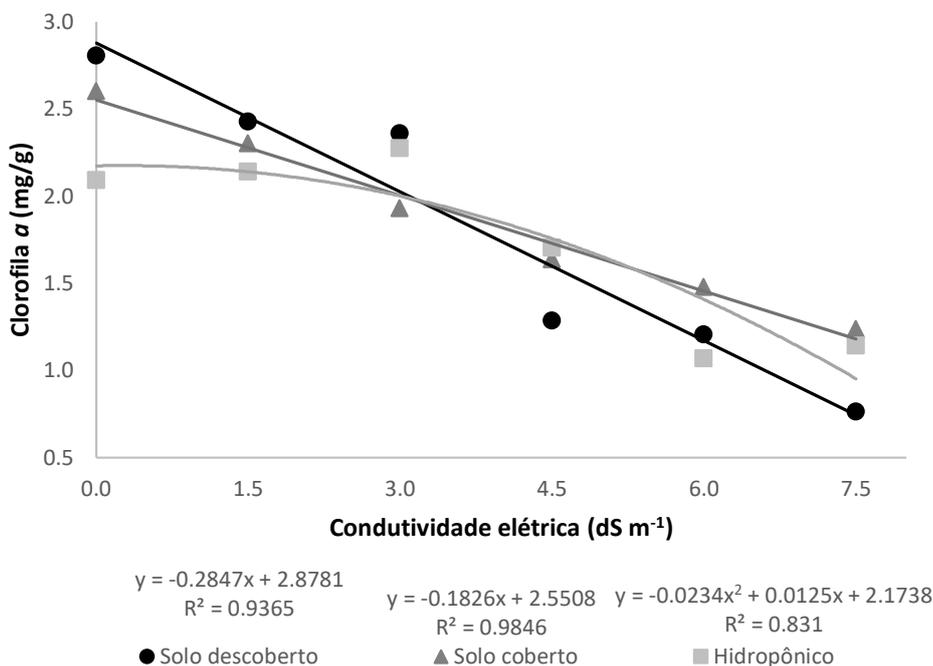


Figura 05. Conteúdo de clorofila *a* do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.

Dentre os sistemas estudados o solo sem cobertura, foi o que apresentou maior decréscimo no teor de clorofila *a*, além de apresentar a média dos seus tratamentos salinos significativamente inferior, aos demais tratamentos. Este comportamento ocorreu, provavelmente, devido a concentração do NaCl no sistema e conseqüentemente na folha do espinafre, causando degradação dos pigmentos quanto pelos danos causados na estrutura do cloroplasto (ARULBALACHANDRAN et al., 2009).

Na clorofila *b*, observa-se tendência semelhante a clorofila *a*, sendo o valor de maior conteúdo novamente obtido pelo sistema hidropônico no tratamento de 1,5 dS m⁻¹ (Figura 06). Ratnakar & Rai (2013) observaram que as reduções dos pigmentos fotossintéticos podem ocorrer devido à degradação da clorofila pela enzima clorofilase e espécies reativas de oxigênio geradas durante a fotorrespiração em espinafre submetido a irrigação com água de 60 mmol (≈6dSm⁻¹) de cloreto de sódio.

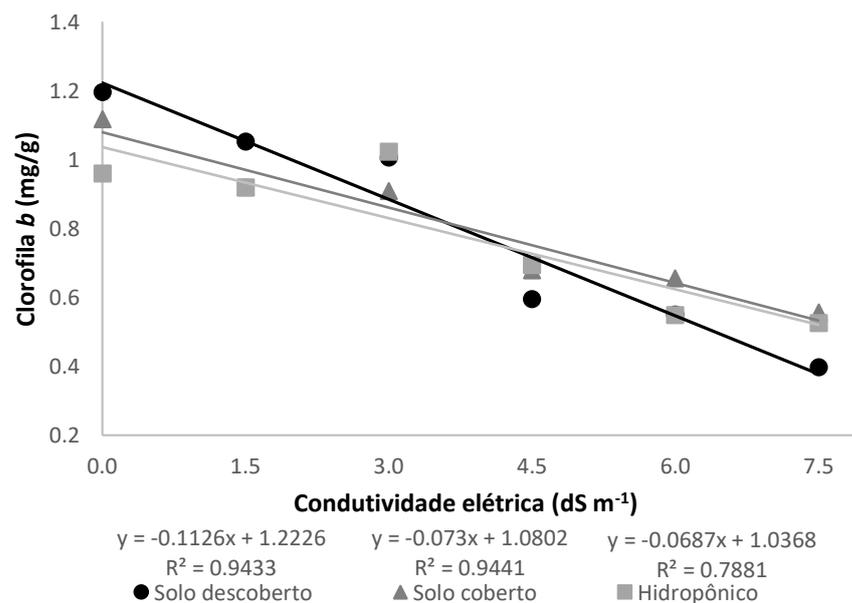


Figura 06. Conteúdo de clorofila *b* do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.

O excesso de sais, além do tolerado, estimula a atividade enzimática da clorofilase, que degrada as moléculas do pigmento fotossintetizante e induz a destruição natural dos cloroplastos, provocando o desbalanceamento e a perda da atividade das proteínas de pigmentação (CAVALCANTE et al., 2011).

Ghorbani, Heidari & Ghafari (2016) observando o espinafre submetido a salinidades de 0, 4 e 8 dSm⁻¹ com diferentes metais pesados, verificaram que o mesmo também apresentou redução no conteúdo de clorofila *a*, *b* apresentando seus maiores valores nas plantas que não receberam incremento salino.

Da relação entre a clorofila *a* e *b*, destaca-se que o sistema solo coberto, foi o que apresentou maior relação das clorofilas *a* e *b*. Já em relação a salinidade, o nível de maior relação foi o 1,5 e o menor de 7,5 dSm⁻¹ com os respectivos valores de 2,50 e 2,14 (Tabela 04).

Tabela 04. Relação das clorofilas *a* e *b*.

	Relação <i>a/b</i>						
Solo Descoberto	2,35aA	2,31bA	2,23aA	2,17bA	2,18aA	1,88bB	2,18A
Solo Coberto	2,33aA	2,50aA	2,10aB	2,24bB	2,20aB	2,14aB	2,25A
Hidropônico	2,18aB	2,26bA	2,35aA	2,49aA	2,03aB	2,05aB	2,23A
Média	2,29a	2,36a	2,23a	2,30a	2,13b	2,02b	
CV 6,51 %							

Letras iguais, minúsculas entre os sistemas, maiúsculas entre as CE's da água, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Downton, Grant & Robinson (1985) sugerem que, apesar da redução no conteúdo de clorofila na folha do espinafre sob estresse salino afetar a absorção de luz, é improvável que altere a partição de luz entre os fotossistemas, uma vez que, a integridade dos cloroplastos não é afetada pela salinidade (ROBINSON, DOWNTON & MILLHOUSE, 1983).

Sobre os carotenoides, observou-se que, assim como nas clorofilas *a* e *b*, o sistema hidropônico e o solo com cobertura apresentaram maiores valores em relação ao solo sem cobertura (Figura 07). O tratamento com maior nível de salinidade apresentou o menor conteúdo de carotenoides. A diminuição da clorofila *a* e dos pigmentos acessórios (clorofila *b* e carotenoides já é relatado na literatura quando o mesmo é submetido a tratamentos com NaCl (KAYA, HIGGS & KIRNAK, 2001; RATNAKAR & RAI, 2013).

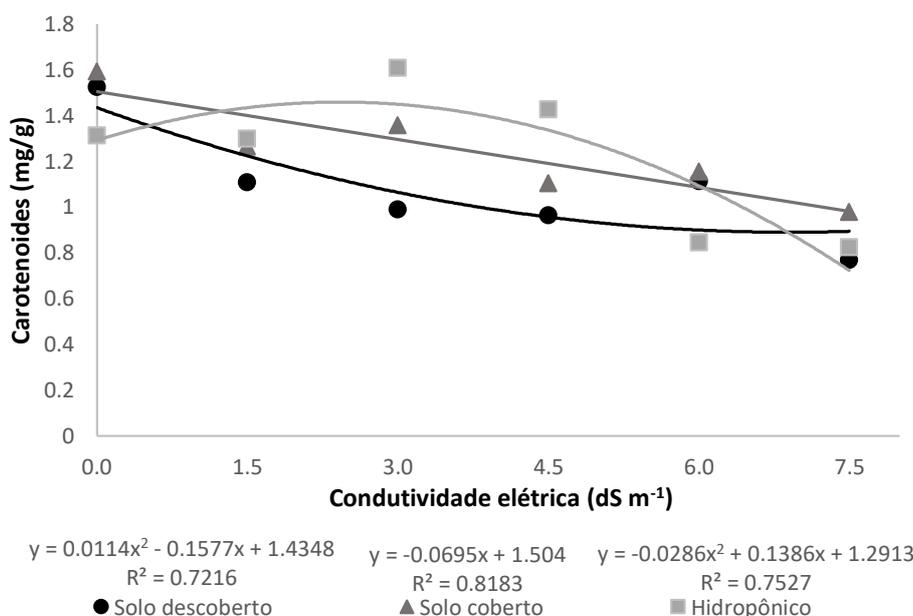


Figura 07. Conteúdo de carotenoides do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.

3.5.2. Dados da curva OJIP

O transiente OJIP é uma ferramenta de análise da mudança cinética da fluorescência da clorofila *a*, que fornece informações detalhadas sobre a estrutura e função do aparato fotossintético, especificamente do fotossistema II (LAZÁR, 2006).

Os resultados da Análise de variância demonstraram que as variáveis fluorescência variável (F_v), máxima (F_m) e rendimento quântico máximo ($Q_{máx}$), apresentaram diferenças significativas pelo teste F a 1% de probabilidade para os sistemas. A fluorescência inicial não apresentou diferença inciativa para ao tratamento a pelo menos 5% de probabilidade (Tabela 05).

Tabela 05. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis de fluorescência da clorofila *a* e suas respectivas relações.

Variável	CV (%)	F _s (sistema)	F _v (CE)	F _s xF _v
F ₀	8,62	Ns	Ns	Ns
F _v	10,94	10,70**	1,34 ^{ns}	0,46 ^{ns}
F _m	9,12	7,03**	1,72 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Q _{máx} (F _v /F _m)	2,65	19,35**	0,48 ^{ns}	0,82 ^{ns}

** diferença significativa a 1%, * significativo 5%, ^{ns} não significativo, Ns não significativo para o fator tratamento.

A fluorescência inicial (F₀) não apresentou diferença significativa para os fatores isolados e nem para a interação. A F₀ é a fluorescência da clorofila *a*, quando os centros de reações estão abertos, sendo assim, referente a emissão da fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* (KRAUSE & WEISS, 1991), independente da atividade fotoquímica (CAMPOSTRINI, 2001).

O sistema hidropônico apresentou maiores resultados de fluorescência variável em relação aos sistemas solos e estes, não apresentaram diferença significativa ao nível 5% de probabilidade pelo teste de tukey (Tabela 06). O valor do sistema hidropônico foi cerca de 13,2% maior que a média dos sistemas com solo.

Tabela 06. Fluorescência variável, máxima e rendimento quântico do fotossistema II em espinafre cultivado em sistema solo (com e sem cobertura) e em hidropônico para as diferentes concentrações salinas da água de reposição.

Fluorescência variável (F _v)							
	0	1.5	3	4.5	6	7.5	Média
Solo descoberto	22692	21388	21144	20404	20490	21059	21196b
Solo Coberto	21603	22311	20713	20039	19766	23265	21283b
Hidropônico	25586	23453	23558	23091	24345	24233	24044a
Média	23294	22383	21805	21178	21533	22853	
CV(%) 10,94							
Fluorescência máxima (F _m)							
	0	1.5	3	4.5	6	7.5	Média
Solo Descoberto	31039	29089	28979	28276	28097	29357	29140b
Solo Coberto	29467	30340	28382	27797	27264	31328	29096b
Hidropônico	33816	31446	30913	30682	31530	31702	31681a
Média	31441	30292	29425	28918	28964	30796	
CV(%) 9,12							
Rendimento quântico máximo (Q _{máx})							
	0	1.5	3	4.5	6	7.5	Média
Solo Descoberto	0,7294	0,7338	0,7278	0,7204	0,7266	0,7167	0,7258b
Solo Coberto	0,7325	0,7326	0,7289	0,7195	0,7237	0,7406	0,7296b
Hidropônico	0,7560	0,7422	0,7615	0,7518	0,7718	0,7645	0,7580a
Média	0,7394	0,7362	0,7394	0,7306	0,7407	0,7406	
CV(%) 2,65							

Letras iguais, minúsculas entre os sistemas, maiúsculas entre as CE's da água, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Assim como a fluorescência variável, a fluorescência máxima teve o sistema hidropônico com o maior resultado, sendo este 8,8% superior a média apresentada pelos sistemas solos. A fluorescência máxima representa a fluorescência da clorofila *a*, quando os centros de reação do PSII estão fechados (BOLHÀR-NORDENKAMPF & ÖQUIST, 1993).

A fluorescência variável da clorofila *a* em folhas de espinafre de acordo com Robinson, Downton & Millhouse (1983) não é afetada pela salinidade, o que corrobora com os resultados encontrados.

Mesmo quando ocorrido reduções nos teores de pigmentos e nas trocas gasosas, plantas mais tolerantes a salinidade como o algodoeiro podem não apresentar reduções na eficiência fotoquímica do fotossistema II, indicando provável mecanismo de proteção contra espécies reativas de oxigênio (MELONI et al., 2003).

O rendimento quântico seguiu o mesmo comportamento das demais variáveis e só diferiu significativamente em relação ao sistema, sendo no hidropônico observado o maior valor e conseqüente maior rendimento fotossintético.

Segundo Kitajima & Butler (1975), a eficiência máxima do fotossistema II representado pela razão entre a F_v e F_m é compatível com o rendimento quântico da fase fotoquímica.

Os dados de fluorescência corroboram com a literatura indicando que o aparato fotossintético do espinafre apresenta mecanismos que permitem a sua manutenção, mesmo sob condições de maior salinidade (SHABALA et al., 1998), bem como ocorre com outras culturas que apresentam algum nível de tolerância a salinidade, como o feijoeiro (SOUZA et al., 2011) e o amendoimzeiro (CORREIA et al., 2009).

3.5.3. Trocas gasosas

Os resultados da Análise de variância demonstraram que as variáveis Concentração interna de CO₂ (C_i), Transpiração (E) e condutância estomática (g_s) apresentaram diferenças significativas pelo teste F a 1% de probabilidade para a interação entre os sistemas e a CE's das águas. A fotossíntese líquida (A) apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade para os sistemas e para as diferentes salinidades da água de forma isolada (Tabela 07).

Tabela 07. Análise de variância (ANOVA) das variáveis de trocas gasosas do espinafre.

Variável	CV (%)	F _s (sistema)	F _v (CE)	F _s x F _v
Concentração interna de CO ₂	33,5	3,26*	13,49**	2,89**
Transpiração	17,7	50,47**	87,26**	21,18**
Fotossíntese líquida	15,0	18,02**	30,36**	1,39ns
Condutância estomática	25,3	47,56**	38,31**	8,64**

** diferença significativa a 1%, * significativo 5%, ns não significativo.

Houve redução da condutância estomática (gs) a medida que houve aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 08). Sendo mínima para o sistema solo com cobertura na CE estimada de 5,82 dSm⁻¹ com valores de 0,1198 para solo com cobertura e 0,2105 e 0,1809 mol m⁻² s⁻¹ para o sistema hidropônico e para o solo descoberto respectivamente. Os valores indicam que para uma CE estimada de 5,82 dS m⁻¹ a hidroponia apresentaria uma condutância cerca de 76% a mais que o solo coberto e o solo descoberto 51%.

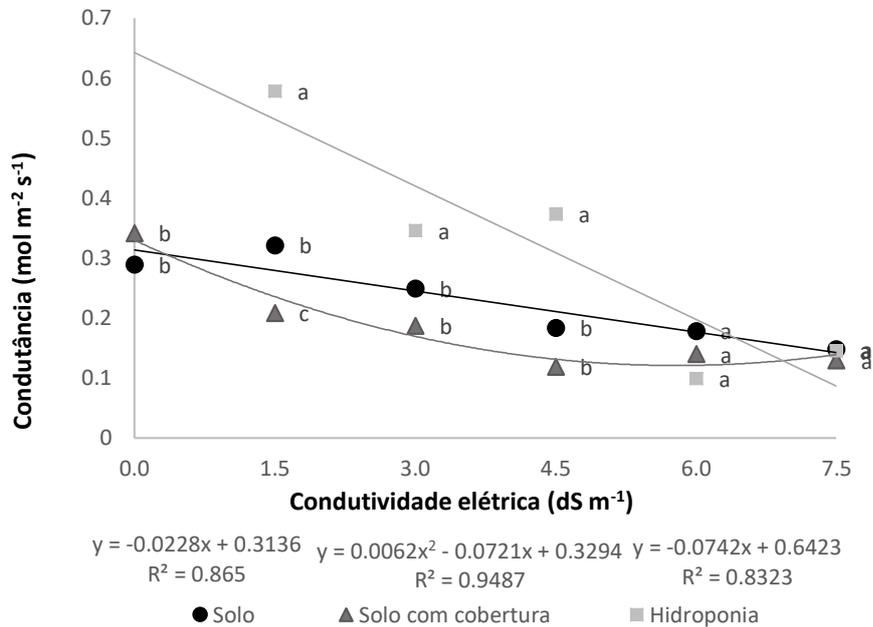


Figura 08. Condutância Estomática do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.

A redução da condutância estomática é tida como um mecanismo de tolerância das plantas a salinidade, uma vez que, por meio dela a planta é capaz de reduzir sua taxa de transpiração ao mesmo tempo que regula a entrada de água pelas raízes, já que mesmo em pequenas quantidades, o fluxo de água provocado pela transpiração pode ser responsável por levar significativas quantidades de íons para parte aérea da planta (FLOWER & FLOWER, 2005; ESTEVES & SUZUKI, 2008).

As reduções das trocas gasosas ocorrem principalmente em detrimento do fechamento estomático, tendo como uma das principais causas o estresse salino, porém em alguns casos o mesmo pode vir a contribuir para um aumento da eficiência do uso da água, além de promover melhores resposta estresse hídrico (MELGAR et al., 2008).

O solo com cobertura plástica foi o sistema que apresentou o maior valor de concentração interna de CO₂ (Ci), sendo esta ocorrido na CE de 1,5 dSm⁻¹ (Figura 09).

Assim como na condutância estomática, de modo geral os três sistemas tenderam a reduzir a sua C_i para os maiores níveis de salinidade, não apresentando diferença significativa em suas médias nos tratamentos 6 e 7,5 dSm^{-1} .

A Redução da C_i é comum em plantas sob estresse salino e ocorre e quando associada a outros decréscimos, como devido a danos no aparato fotossintético, poderá vir a comprometer o desenvolvimento e conseqüente produtividade das culturas (TATAGIBA et al., 2014; SOUZA et al., 2011).

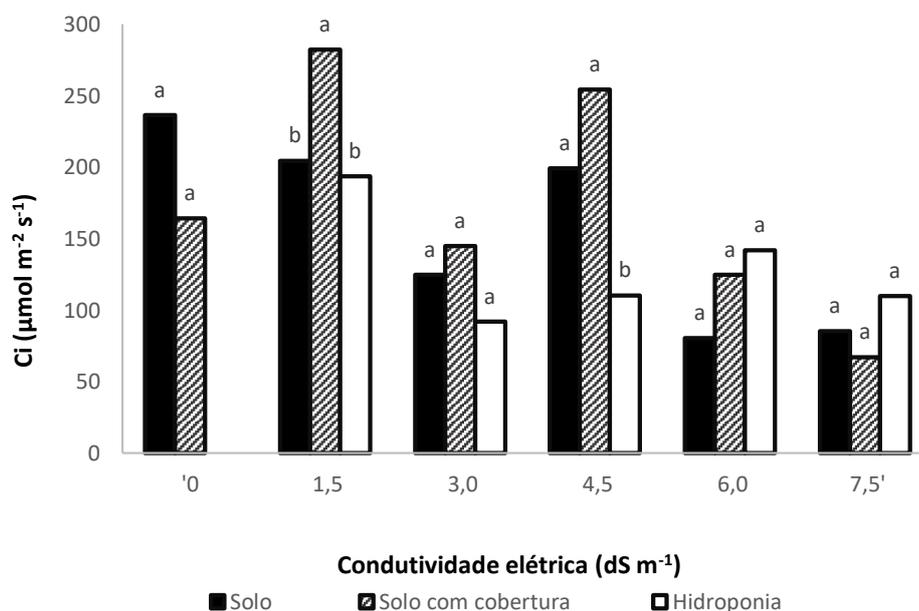


Figura 09. Concentração interna de CO_2 em espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT. Letras iguais, minúsculas entre os sistemas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A Fotossíntese líquida (A) dos três sistemas reduziu linearmente com o aumento da salinidade da água, apresentando os menores valores para o sistema com cobertura plástica, assim como na g_s (Figura 10). Utilizando a CE estimada de 5,82 dSm^{-1} é possível observar que os sistemas apresentaram uma redução da fotossíntese líquida no valor de aproximadamente 46, 39 e 25% para o solo com e sem cobertura e para o sistema hidropônico em relação ao valor apresentado por cada sistema para o tratamento sem incremento salino ($\text{CE} \approx 0 \text{ dSm}^{-1}$).

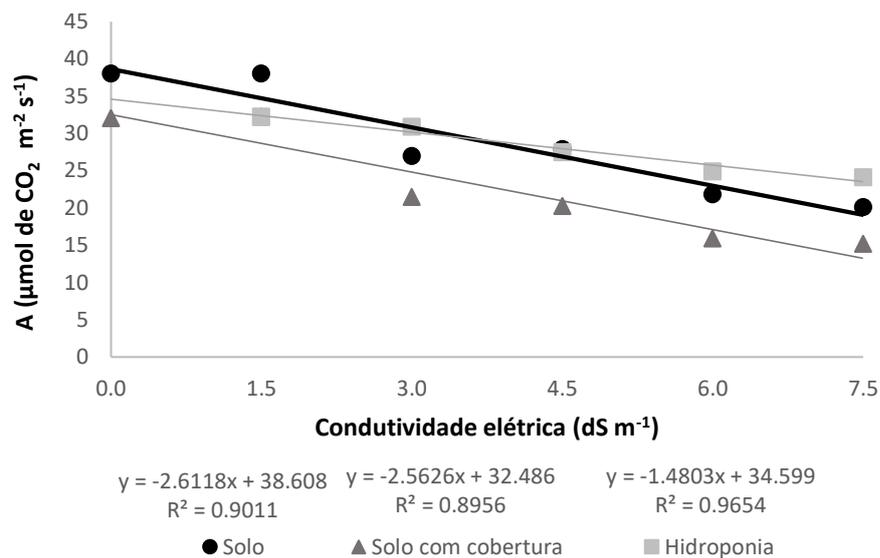


Figura 10. Fotossíntese líquida (A) do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.

A taxa fotossintética é reduzida quando as plantas estão sob estresse salino, apesar de apresentarem maiores evidências em parâmetros como área foliar e no conteúdo de clorofila (ESTEVEES & SUZUKI, 2008), bem como foi observado neste trabalho. O mesmo foi observado por Delfine et al. (1999) em espinafre, relatando que o fato se deve a menor difusão de CO₂ para o cloroplasto, que ocorre tanto pelo fechamento estomático, quanto pela alteração na estrutura do mesofilo, dificultando assim à difusão do gás carbônico também dentro da folha.

Em baixas níveis de salinidade até 8 e 4 dSm⁻¹ para o trigo e feijão respectivamente, não ocorrem perdas de produção (KHATAAR; MOHHAMADI & SHABANI, 2018), mesmo se tratando de plantas que apresentam dentro outras reduções, a da fotossíntese líquida, a partir de níveis de salinidade inferiores aos citados (KAMAL et al., 2015; PRAZERES et al., 2015).

Como a fluorescência da clorofila *a* não apresentou diferenças significativas em decorrência da salinidade reforça o fato que a mesma ocorre no espinafre em decorrência do fechamento estomático (ROBINSON, DOWNTON & MILLHOUSE, 1983).

A transpiração foi outro parâmetro que reduziu significativamente com o aumento da salinidade, porém foi o sistema hidropônico que apresentou menor resultado de transpiração para uma CE estimada de 6,03 dSm⁻¹ com valor aproximado de 1,6 mmol CO₂ m⁻²s⁻¹ (Figura 11).

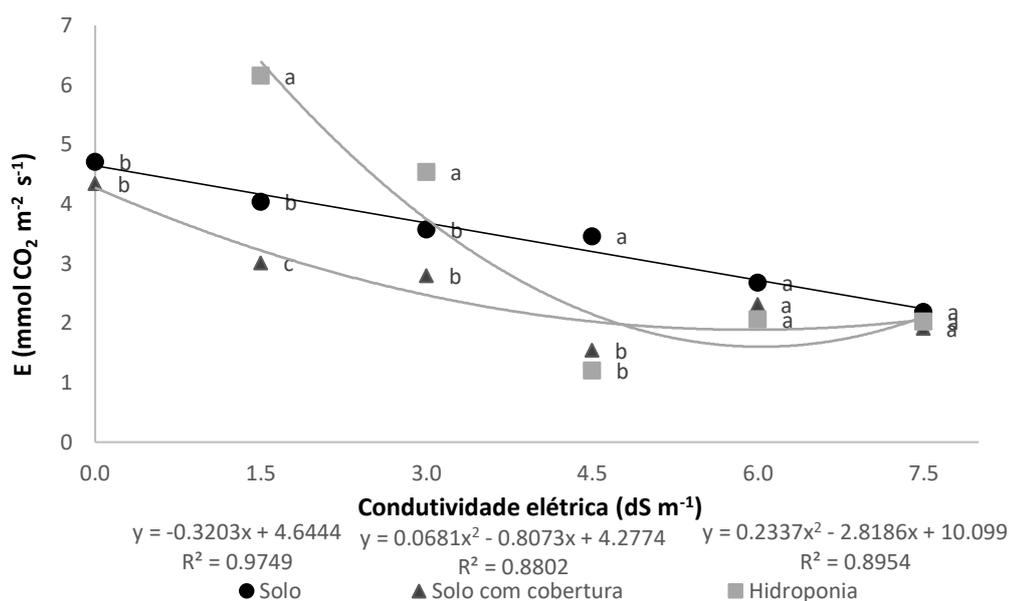


Figura 11. Transpiração (E) do espinafre para os diferentes sistemas adotados, irrigados com diferentes níveis de água salobra aos 38 DAT.

Em termos de redução utilizando como base ainda a $5,82 \text{ dSm}^{-1}$ encontrada na gs, observa-se que a redução apresentada pelos sistemas (solo com e sem cobertura e hidropônico) foi de 56, 40 e 84 % em relação ao valor apresentado por cada sistema para o tratamento sem incremento salino ($CE \approx 0 \text{ dSm}^{-1}$).

É possível observar que o espinafre reduziu de maneira mais significativa sua transpiração do que a fotossíntese líquida, em termos gerais houve uma redução de 68% da transpiração e 43% da fotossíntese líquida entre o tratamento 0 e $7,5 \text{ dSm}^{-1}$, indicando um mecanismo de tolerância, uma vez que, o mesmo conseguiu realizar a fotossíntese com menores perdas de água por transpiração. Esta eficiência do uso da água também foi constatada por Downton, Grant & Robinson (1985).

Diversas plantas apresentam reduções das trocas gasosas como consequência do estresse salino, tendo como principal resposta o fechamento estomático (BOSCO et al., 2009; SOUZA et al., 2011; FREITAS et al., 2017). Porém nem todas as plantas são capazes de aumentar a eficiência do uso da água sob estas condições (MEDEIROS, DUARTE & SILVA, 2012; NOBRE et al., 2014; LIMA et al., 2017).

3.6. CONCLUSÕES

1. Os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides são afetados pelo aumento das concentrações de sais, para os diferentes sistemas, sendo mais agravado em solo descoberto.
2. A fluorescência da clorofila *a* do espinafre não é afetada pela salinidade, evidenciado mecanismos de tolerância que protegem o aparato fotossintético.
3. As trocas gasosas do espinafre sob salinidade são reduzidas, porém propicia um uso mais eficiente da água, sem acarretar perdas produtivas.
4. Conclui-se que o sistema hidropônico promove os melhores resultados de fluorescência da clorofila *a*, dos pigmentos e das trocas gasosas, tendendo a igualar com o solo sob condições de salinidade próxima a 7,5 dSm⁻¹.
5. O uso da cobertura plástica atenua a redução dos pigmentos, além de promover melhores respostas das trocas gasosas em comparação com o solo descoberto.

3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARULBALACHANDRAN, D.; GANESH, K. Sankar; SUBRAMANI, A. Changes in metabolites and antioxidant enzyme activity of three *Vigna* species induced by NaCl stress. **American-Eurasian Journal of Agronomy**, v. 2, p. 109-116, 2009.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; OQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In *Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual* (Hall, D.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. R.; LEEGOOD C. R. C.; LONG S. P.). Chapman & Hall, p. 193-206, 1993.

BOSCO, M. R. D. O.; DE OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; DE LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Ceres**, v. 56, 2009.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2018.

BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. D. S.; SOARES FILHO, W. D. S.; SILVA, L. D. A.; FERNANDES, P. D. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of citrus rootstock varieties under salt stress. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, 2016.

CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. **Rio de Janeiro: UFNF**, 2001.

CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L. D. O. Chlorophyll and carotenoids in yellow passion fruit plants irrigated with saline water on soil with bovine biofertilizer. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 699-705, 2011.

COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS - CISAGRO. **Projeto de Irrigação da fazenda Nossa Senhora do Rosário-Pesqueira-PE**. Pernambuco, Brasil, 1991. 230 p.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; DA SILVA SANTOS, T. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 514-521, 2009.

DA SILVA, A. O.; DE FRANÇA, Ê. F.; DOS SANTOS, A. N.; KLAR, A. E. Consumo hídrico da rúcula em cultivo hidropônico NFT utilizando rejeitos de dessalinizador em Ibimirim-PE. **Irriga**, v. 17, p. 114, 2012.

DA SILVA, F. L., DE LACERDA, C. F., DE SOUSA, G. G., NEVES, A. L., DA SILVA, G. L., & SOUSA, C. H. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, 2011.

DELFINO, S.; ALVINO, A.; ZACCHINI, M.; LORETO, F. Consequences of salt stress on conductance to CO₂ diffusion, Rubisco characteristics and anatomy of spinach leaves. **Functional Plant Biology**, v. 25, p. 395-402, 1999.

DOWNTON, W. J. S.; GRANT, W. J. R.; ROBINSON, S. P. Photosynthetic and stomatal responses of spinach leaves to salt stress. **Plant Physiology**, v. 78, p. 85-88, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa 2017. 573p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, DF: EMBRAPA 2013. 353p.

ESTEVEZ, B. E.; SUZUKI, M. S.. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 6, 2008.

FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. **Agricultural water management**, v. 78, p. 15-24, 2005.

FREIRE, J. L. O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; FERNANDES, P. D.; NETO, A. J. L. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilizante e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 82, 2014b.

- FREIRE, M. B.; MIRANDA, M. F.; OLIVEIRA, E. E.; DA SILVA, L. E.; PESSOA, L. G.; DE ALMEIDA, B. G. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, 2014a.
- FREITAS, W. D. S.; ALMEIDA, M. L. B.; GADELHA, C. G.; MESQUITA, R. O.; GOMES-FILHO, E. Adubação suplementar com enxofre atenua os efeitos do estresse salino em alface hidropônica. **IV INOVAGRI International Meeting**, 2017.
- FURLANI, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT. Campinas: IAC, **Boletim técnico**, v. 168, 1998. 30p.
- GHORBANI, H.; HEIDARI, M.; GHAFARI, M. Effect of salinity levels and lead and cadmium heavy metals on growth, photosynthetic pigments and sodium and potassium content in spinach. **Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture**, v. 7, 2016.
- KAMAL, M. Z. U.; YAMAGUCHI, M.; AZUCHI, F.; KINOSE, Y.; WADA, Y.; FUNADA, R.; IZUTA, T. Effects of ozone and soil salinity, singly and in combination, on growth, yield and leaf gas exchange rates of two Bangladeshi wheat cultivars. **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 9, p. 173-186, 2015.
- KAYA, C.; HIGGS, D.; KIRNAK, H. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. **Bulg. J. plant physiol**, v. 27, p. 47-59, 2001.
- KHATAAR, M.; MOHHAMADI, M. H.; SHABANI, F. Soil salinity and matric potential interaction on water use, water use efficiency and yield response factor of bean and wheat. **Scientific reports**, v. 8, p. 2679, 2018.
- KITAJIMA, N; BUTLER W. L. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. **Biochim Biophys Acta**, 1975.
- KRAUSE, G. H.; WEIS E. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant molecular biology**. v.42, p. 313-349, 1991.
- LAZÁR, Dušan. The polyphasic chlorophyll a fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 9-30, 2006.
- LI, C., LEI, J., ZHAO, Y., XU, X., & LI, S. Effect of saline water irrigation on soil development and plant growth in the Taklimakan Desert Highway shelterbelt. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 99-107, 2015.
- LICHTENTHALER, HARTMUT K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-383. 1987.
- LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; DOS SOARES, L. A.; FERNANDES, P. D.; DE FREITAS FURTADO, G. Trocas gasosas, pigmentos cloroplastídicos e dano celular na mamoneira sob diferentes composições catiônica da água. **IRRIGA**, v. 22, p. 757, 2017.

LIMA, V. L. A.; FARIAS, M. S. S.; BORGES JÚNIOR, J. C.F. Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p. 397-409, 2016.

MARTINEZ, H. E. P.; SCOTTI, C. A.; MEYER, A. R. K.; ARAÚJO, J. A. C de.; BLISKA JÚNIOR, A.; DA SILVA, M. L. J. **Solução nutritiva para hidroponia: cálculo, preparo e manejo**. Brasília, SENAR, 1999, 108p.

MEDEIROS, Pedro RF; DUARTE, Sérgio N.; SILVA, Ênio F. de F. Eficiência do uso de água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, 2012.

MELGAR, J. C.; MOHAMED, Y.; NAVARRO, C.; PARRA, M. A.; BENLLOCH, M.; FERNANDEZ-ESCOBAR, R. Long-term growth and yield responses of olive trees to different irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, v. 95, p. 968-972, 2008.

MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; MARTINEZ, C. A.; CAMBRAIA, J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 69-76, 2003.

NOBRE, R. G.; DE LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; DA SILVA, A. O. Crescimento, consumo e eficiência do uso da água pela mamoneira sob estresse salino e nitrogênio. **Revista Caatinga**, v. 27, 2014.

PRAZERES, S. S.; DE LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; DA SILVA ARAUJO, I. C.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 9, p. 111-118, 2015.

RATNAKAR, A.; RAI, A. Alleviation of the Effects of NaCl Salinity in Spinach (*Spinacia oleracea* L. var. All Green) Using Plant Growth Regulators. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 9, p. 122-128, 2013.

REBOUÇAS, J. R. L.; NETO, M. F.; DA SILVA DIAS, N.; DE SOUZA NETO, O. N.; DINIZ, A. A.; DE LIRA, R. B. Cultivo hidropônico de coentro com uso de rejeito salino. **Irriga**, v. 18, p. 624, 2013.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C.: United States Salinity Laboratory, United States Department of Agriculture - Handbook, 60, 1954, 160p.

ROBINSON, S. P.; DOWNTON, W. J. S.; MILLHOUSE, J. A. Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplasts of salt-stressed spinach. **Plant Physiology**, v. 73, p. 238-242, 1983.

SAHIN, U.; EKINCI, M.; ORS, S.; TURAN, M.; YILDIZ, S.; YILDIRIM, E. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 196-204, 2018.

SAMANIEGO-GÁMEZ, B. Y.; GARRUÑA, R.; TUN-SUÁREZ, J. M.; KANTUN-CAN, J.; REYES-RAMÍREZ, A.; CERVANTES-DÍAZ, L. *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. **Chilean journal of agricultural research**, v. 76, p. 409-416, 2016.

SHABALA, S. N.; SHABALA, S. I.; MARTYNYENKO, A. I.; BABOURINA, O.; NEWMAN, I. A. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na⁺ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. **Functional Plant Biology**, v. 25, p. 609-616, 1998.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia Horticulturae** v. 78, 1999.

SILVA, L. D. A.; BRITO, M. E. DA S, S.; FRANCISCO, V.; MOREIRA, R. C.; SOARES FILHO, W. D. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, 2014.

SOARES, T. M.; SILVA, Ê. F.F.; DUARTE, S. N.; MELO, R. F.; DE ANDRADE JORGE, C.; BONFIM-SILVA, E. M. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, v. 12, p. 235-248, 2007.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 586-592, 2011.

TATAGIBA, S. D.; MORAES, G. A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; PELOSO, A. F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG**, v. 22, p. 138-149, 2014.

THOMAS, G. W. **Exchangeable cations**. In: Page, A. L. (ed). *Methods of soil analysis. Part-2 chemical methods*. Madison: American Society of Agronomy, p.159-165, 1982.

TRANI, P. E.; PURQUÉRIO, L. F. V.; FIGUEIREDO, G. J. B.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F. **Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula**. Campinas: IAC, 2014, 16p.

USDA. **Keys to Soil Taxonomy**, 10th ed. United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (NRCS), 2006.

VASILAKAKIS, M.; NEOCLEOUS, D.; KOUKOUNARAS, A.; SIOMOS, A. S. Changes in Photosynthesis, Yield, and Quality of Baby Lettuce under Salinity Stress. **J. Agr. Sci. Tech.** v. 16, 2014.

WILLADINO, L; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas a salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera**, 2010.

YURTYERI, T., CEMEK, B. & ÜNLÜKARA, A. Response of Spinach to Different Water Stress Conditions in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions. 12. **Culturetechnique Symposium**, 21–23 May, Tekirdağ, Turquia, p. 331–336, 2014.

YURTYERI, T.; CEMEK, B.; ÜNLÜKARA, A. Effects of Irrigation water salinity on evapotranspiration and spinach (*Spinacia oleracea* L. Matador) plant parameters in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions. **Agronomy Research**, v.15, 2017.

ZHANG, M.; DONG, B.; QIAO, Y.; YANG, H.; WANG, Y.; LIU, M. Effects of sub-soil plastic film mulch on soil water and salt content and water utilization by winter wheat under different soil salinities. **Field Crops Research**, v. 225, p. 130-140, 2018.

ZHAO, Y.; LI, Y., WANG, J.; PANG, H.; LI, Y. Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 363-370, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O espinafre é uma hortaliça que apresentou certa tolerância ao estresse salino, sendo recomendado o acompanhamento da mesma sob estas condições, a partir do status hídrico da cultura, com ênfase nos potenciais hídrico e osmótico da planta, além das variáveis de suculência foliar e teor relativo de água.

O comparativo dos sistemas sob condições de salinidade permitiu a visualização da diferença quantitativa que cada sistema poderia propiciar as variáveis estudadas, da mesma forma que também possibilitou observar os diversos momentos em que os mesmos não diferiram, como no caso das trocas gasosas sob alta salinidade e nas variáveis de ajustamento osmótico, teor relativo de água e suculência foliar a depender do nível de salinidade imposto.

A adoção da cobertura plástica no cultivo do espinafre pode atenuar a evolução da salinidade ao mesmo tempo em que propiciou uma maior eficiência do uso da água atrelada a um aumento da produção.

O uso da hidroponia notoriamente gerou grande aumento da produção em comparação com o cultivo em solo, sendo neste caso, ainda mais relevante o destaque quantitativo em termos de comparação entre eles. E se por um lado a alta produtividade era esperada, a atenção no uso da água, uma vez que o consumo hídrico do sistema foi superior aos demais, reforçou a importância do uso de águas com maiores níveis de salinidade, com o intuito de preservar águas com qualidade superior para outras finalidades.

Em decorrência dos resultados apresentados, recomenda-se a realização de estudos para maior compreensão dos mecanismos de acúmulo de íons e soluto, além de realizar testes com águas com outras naturezas catiônicas.