HEITOR HENRIQUE FÉLIX DUARTE

STATUS HÍDRICO, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA E TROCAS GASOSAS EM PIMENTÃO CULTIVADO SOB ESTRESSE SALINO

Recife-PE
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO SOLO

STATUS HÍDRICO, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA E TROCAS GASOSAS EM PIMENTÃO CULTIVADO SOB ESTRESSE SALINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Ciências do Solo da UFRPE em cumprimento às exigências acadêmicas para obtenção do título de Mestre em Ciências do Solo

Orientador: Profº Edivan Rodrigues de Souza
Co-orientadores: Profº Brivaldo Gomes de Almeida
Profª Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

RECIFE - PE
2015

Ficha catalográfica

D812s Duarte, Heitor Henrique Félix
Status hídrico, fluorescência da clorofila e trocas gasosas em pimentão cultivado sob estresse salino / Heitor Henrique Félix Duarte. – Recife, 2015.
58 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.
. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, 2015.
Inclui referências e anexo(s).

1. Relações hídricas 2. Potenciais de água no sistema solo-planta 3. Neossolo flúvico I. Souza, Edivan Rodrigues de, orientador II. Título

CDD 631.4

A minha Família, consanguínea, fraternal e universal.

DEDICO

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas, pela oportunidade de estar em mais uma experiência nesse plano.

Agradeço a minha família, em especial a Sandra Félix dos Santos Duarte, Jorge Henrique Duarte e Bárbara Sofia Félix Duarte, que pela permissão divina nos colocou combinados nesse oceano de amor que nos envolve, onde cada momento é insuficiente para sorver todo conhecimento e moralidade que se encontra em seus corações.

A minha namorada, amiga, companheira, confidente, parceira, meu porto seguro, não apenas dessa, mas de muitas outras existências: Maria Taciana Ralph, que nunca mediu esforços para me ajudar nessa jornada que agora se conclui. Sei que nossa história apenas começa.

Ao meu Orientador, Edivan Rodrigues de Souza, pela confiança em mim depositada e por acreditar em minha capacidade de desenvolver este trabalho, como também a toda dedicação, disponibilidade e amizade.

Aos meus co-orientadores Brivaldo Gomes de Almeida e Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pela ajuda e disponibilidade.

Agradeço a todos os meus amigos, sem exceção, que de alguma forma fizeram com que esse processo se tornasse um pouco menos árduo.

Ao Professor Dimas, pela assistência nos momentos de dúvidas durante o experimento.

Aos amigos da Pós-Graduação em Ciências do Solo da UFRPE sem exceção. Em especial agradeço a Arthur Evaristo, Cintia Lins, Diego Melo, Hidelblandi Farias, Jailson Cunha, Kairon Rocha, Levy Barros, Lucas Leal, Pâmela Souza, Thiago Schossler, Valério Marcelo, Venâncio Veloso, Wagner Luis e Wanderson Oliveira. Por fazerem do dia a dia de trabalho algo mais leve, prazeroso e divertido. Obrigado pelas suas amizades.

A Socorro, Josué e Zeca, funcionários dedicados, que estão sempre de boa vontade em sanar nossas dificuldades durante esse processo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo pela oportunidade oferecida. Ao

Coordenador Valdomiro Souza Júnior, e ao Vice- Coordenador Edivan Rodrigues de Souza pelo exemplo de entusiasmo e empenho científico.

Ao laboratório de Química do solo e ao laboratório de Física do solo da UFRPE.

A Casa do Plantio, Bezerros, PE. Pelo fornecimento das mudas de Pimentão Itamara

Ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro.

“A quem muito foi dado, muito será cobrado”

Jesus

“O plantio é facultativo, mas a colheita é obrigatória”

Jesus

“All we need, is just a little Patience”

Adler, S. , Isbell, S. , Hudson, S. , McKagan M., Rose W. A.. 1988

Biografia

Heitor Henrique Félix Duarte, filho de Sandra Félix dos Santos Duarte e Jorge Henrique Duarte nascido a 10 de Fevereiro de 1990 é Pernambucano, natural de Recife.

Cursou o ensino fundamental e médio na Escola Menino Jesus em Paulista, PE.

Em 2007 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco, graduando-se no primeiro semestre de 2012.

Em março de 2013, iniciou o Mestrado em Agronomia, Ciências do Solo, na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SUMÁRIO

INTRODUÇÂO GERAL 11
CAPITULO I : STATUS HÍDIRICO NO SOLO E EM PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L. Var Itamara) CULTIVADO SOB ESTRESSE SALINO 13
RESUMO 14
ABSTRACT 15
INTRODUÇÃO 16
MATERIAL E MÉTODOS 18
Coleta e preparo do solo para a montagem do experimento 18
Caracterização inicial do solo 18
Montagem do experimento e tratamentos 19
Condução do experimento 19
Potenciais de água na planta 20
Potencial de água no solo 21
Teor relativo de água das folhas 21
Delineamento experimental 22
Análise e Interpretação dos dados 22
RESULTADOS E DISCUSSÃO 23
Análise preliminar dos potenciais do solo e da planta 23
O potencial Osmótico do solo (Ψ_o) 23
O potencial Mátrico do Solo (Ψm) 24
O potencial Total do solo (Ψ) 25
Potenciais de água na planta 27
Potencial Osmótico (Ψ_o) 27
Potencial Total Planta 30
Teor Relativo de Água 32
Associação entre o potencial osmótico e a produção de caule, folha, raiz, número de frutos e massa de frutos 34
Potencial total do solo x potencial total da planta 36
CONCLUSÕES 38
REFERENCIAS 39
CAPITULO II: TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA EM PIMENTÃO (*Capsicum Annuum* Var. Itamara) CULTIVADO COM ÁGUAS SALINAS 44
RESUMO 45
ABSTRACT 46

MATERIAL E MÉTODOS 50
Coleta e preparo do solo para a montagem do experimento 50
Caracterização inicial do solo 50
Montagem do experimento e tratamentos a serem realizados 51
Condução do experimento 51
Fluorescência da Clorofila 52
Pigmentos fotossintéticos 53
Trocas gasosas 53
Análises estatísticas 53
RESULTADOS E DISCUSSÃO 54
Fluorescência da Clorofila 54
Banda K 58
Pigmentos Fotossintéticos 61
Trocas Gasosas 63
Fotossíntese líquida e transpiração 63
Concentração interna CO_2 e eficiência de carboxilação instantânea . 66
CONCLUSÕES 70
ANEXO ÚNICO 71
Parâmetros Utilizados na análise de Fluorescência da clorofila e do teste OJIP 71
REFERENCIAS 72

INTRODUÇÂO GERAL

A salinidade do solo é um problema que afeta uma extensa área do mundo e requer uma atenção especial, uma vez que diminui e, muitas vezes, inviabiliza o cultivo agrícola. Como a salinidade é consequência das características intrínsecas e o do manejo do solo, estudos que abordem esse tema são de grande relevância na área de Ciências do Solo. Um dos grandes entraves nesse tipo de manejo é o fornecimento de água com quantidade e qualidade adequadas. Entretanto, como a salinidade ocorre, especialmente, em regiões de clima árido e semiárido, a qualidade da água é algo que deve ser muito bem entendida e manejada adequadamente. Assim, experimentos que avaliem diferentes espécies vegetais e, também, qualidade de água diferenciadas apresentam importância nesse tipo de sistema agrícola.

O Pimentão (*Capsicum annuum L*.) está entre as dez culturas mais importantes cultivadas no Brasil, têm os maiores teores de Vitamina C (ácido ascórbico) entre as plantas, além de altos teores de Vitamina A (Caroteno) e cálcio. Apresenta propriedades medicinais importantes, tais como a prevenção de doenças cardíacas, melhora a circulação sanguínea e possui características antioxidantes.

No Brasil o pimentão tem alto valor econômico, cultural e biológico, devido ao uso dos frutos na preparação de pratos de culinária tradicionais, o que é diverso entre as regiões e, por vezes, única em cada região do país. As formas de uso desses frutos estão relacionadas com aspectos étnicos e multiculturais, e é provavelmente o resultado da diversidade genética observada em cada região do país, uma vez que o Brasil é um dos centros de diversidade do pimentão. É considerada a cultura mais variável morfologicamente, apresentando-se muito difundida no Brasil podendo ser encontrada em praticamente todas as regiões do país. O cultivo de pimentão é um dos melhores exemplos de agricultura familiar e de integração pequeno agricultor-agroindústria. Justamente por esse motivo é que a cultura do Pimentão necessita ser avaliada em condições que utilizam águas salinas para seu cultivo, como é o caso da região semiárida do Brasil.

O estado energético da água no solo e na planta em ambientes salinos, o que inclui as relações hídricas e potenciais, relacionam-se diretamente com o

crescimento, fotossíntese, trocas gasosas e, consequentemente, a produtividade das culturas. O conhecimento do potencial total da água e seus componentes no sistema solo-planta, bem como os fatores que o influenciam é importante pois possibilita a determinação da força com que a água encontra-se retida no solo e o conhecimento das forças que comandam processos como a dinâmica da água no solo e a passagem da água para dentro das raízes pelos tecidos do xilema e sua ascensão no interior da planta.

A fluorescência da clorofila representa um sinal intrínseco emitido pelas folhas que pode ser empregado para monitorar o seu estado fisiológico, incluindo mudanças no aparato fotossintético, processo de desenvolvimento de folhas, tolerância aos estresses abióticos e tem se mostrado eficiente em detectar tais sinais em ambientes salinos. Aliado a isso, o estudo de trocas gasosas, como fotossíntese líquida, transpiração, concentração interna de CO_2, também fornece informações úteis para entender as respostas das culturas a salinidade.

Nesse contexto pretende-se avaliar o pimentão (*Capsicum annuum* Var Itamara) sob condições controladas e cultivado em solo propenso a salinização, coletado no município de Pesqueira - PE. A cultura será irrigada com águas de diferentes composições iônicas (elaborada somente com NaCl e, também, uma mistura de íons semelhante ao que ocorre na condição de campo), perfazendo seis níveis de condutividade elétrica (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dS m^{-1}). Como forma de avaliar o solo e a cultura serão utilizadas análises e ferramentas importantes, como: Determinação do potencial osmótico e matricial do solo; Determinação dos potenciais total e osmótico nas folhas do Pimentão; Análise de fluorescência da clorofila e trocas gasosas nas folhas, além do crescimento da biomassa e produtividade do Pimentão.

CAPITULO I

STATUS HÍDIRICO NO SOLO E EM PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L. Var Itamara) CULTIVADO SOB ESTRESSE SALINO

RESUMO

A tolerância de plantas à salinidade e os efeitos da aplicação de águas salinas no sistema solo-planta são temas de grande relevância quando se trata de regiões semiáridas, em que um dos principais estresses abióticos é a ocorrência de solos salinos. O Status hídrico do solo e da planta, associado com parâmetros de crescimento e produtividade da planta auxiliam na identificação de danos provocados pela salinização. Nesse contexto, essa pesquisa tem como objetivo avaliar o status hídrico de plantas de Pimentão *(Capsicum Annuum* L.) em solo irrigado com água de CE's: 0, 1; 3; 5; 7 e 9 dS m^{-1} (elaborada com NaCl e uma mistura de íons semelhantes a condição de campo). O Pimentão foi cultivado por um período de 70 dias em casa de vegetação em Neossolo Flúvico (coletado de uma região com predisposição à salinização). Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos casualizados em arranjo fatorial 6 x 2 (seis CE's e duas fontes de sais) com quatro repetições. O potencial hídrico da planta, potencial osmótico e teor relativo de água foram medidos durante a madrugada aos 42 e 70 dias e meio dia aos 70 dias após o transplantio. Além disso foram medidos parâmetros de crescimento e produtividade do Pimentão. O aporte salino ao solo via soluções de irrigação foi o principal responsável pelo decréscimo do potencial osmótico do solo (ψ_o) e das folhas de Pimentão. Não houve diferença entre as fontes de sais utilizadas para a água de irrigação para todos os parâmetros avaliados, sendo assim os valores apresentados são uma média dos tratamentos das duas fontes de sais. As plantas submetidas as condutividades de 3, 5, 7 e 9 dS m^{-1} se mostraram com maiores valores que os do grupo controle e a CE de 1 dS m^{-1}, atingindo valores de até - 1,30 e -1,33 MPa na CE de 9 dS m^{-1} para o potencial hídrico da folha, aos 42 e 70 DAT, respectivamente. O potencial ao meio dia atingiu 2,19 MPa, indicando a capacidade de redução do potencial hídrico, também, por influência do estresse hídrico. O solo que foi submetido ao tratamento mais salino atingiu um potencial hídrico de -1,20 Mpa aos 70 DAT.

Palavras-chave: Relações Hídricas, Potenciais de água no sistema solo-planta, Neossolo Flúvico;

ABSTRACT

The tolerance of plants to salinity and the effects of application of saline water in the soil-plant system are topics of great relevance when it comes to semi-arid regions, where one of the major abiotic stresses is the occurrence of saline soils. The soil-plant water status, associated with growth parameters and plant productivity help to identify damage caused by salinization. In this context, this research aims to evaluate the water status of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) in soil irrigated with different salt concentrations (NaCl and developed only with a mixture of ions similar to field conditions) and growing water (0, 1, 3, 5; 7, 9 dS m-1). *Capsicum annuum* Var Itamara was grown for a period of three months in a greenhouse in Fluvisol (collected from a region with a predisposition to salinization). Extractors were installed with porous cups to collect soil solution and subsequent measurement of electrical conductivity and osmotic potential during the experimental cycle. The treatments were arranged in a randomized block design with four replications. The water potential of the plant, osmotic potential and relative water content were accessed during the predawn at 42, 70 days, and noon at 70 days after transplanting. Further parameters of productivity and growth were measured. The saline contribution to the soil through irrigation solutions was mainly responsible for the decrease in the soil and Capsicum leaves osmotic potential (ψo). There was no difference between the salts sources used for saline. Plants submitted conductivities of 3, 5, 7 and 9 dS m^{-1} is shown with a lower performance than the control group and the EC 1 dS m^{-1}, reaching values of up - 1.3 and -1.33 MPa in the EC of 9 dS m^{-1} for leaf water potential, at 42 and 70 DAT, respectively. The leaf water potential accessed at noon reached 2.19 MPa, showing a capacity of reduction of the water potential due to water stress. The soil subjected to the most saline treatment reached a water potential of -1.23 kPa.

Keywords: Water Relations, Water Potentials on the soil:plant system, Fluvic Entisol.

INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é um estresse abiótico que afeta a produtividade das culturas agrícolas em áreas de regiões áridas e semiáridas, afetando 45 milhões de hectares de perímetros irrigados, o que equivale a um terço da área produtiva de mais de 75 países (Bern et al, 2015). Há prospecções que indicam um aumento dessa área em virtude das mudanças climáticas e do manejo inadequado da água de irrigação.

Os solos salinos caracterizam-se pelo excesso de sais solúveis e/ou íons Na^+ na solução do solo (salinidade) ou no complexo de troca (sodicidade) [Qadir 2007, Rengasamy, 2010; Bojórquez-Quintal et al., 2012]. Em muitas áreas de produção, o uso da água de baixa qualidade para irrigação e a aplicação excessiva de fertilizantes são as principais razões para o problema do aumento da salinidade do solo causando assim um acréscimo gradativo dos íons de Na e Cl na zona radicular, a níveis que podem ser prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Sonneveld, 2000; Flowers, 2008; Dias e Blanco, 2010). Como a salinidade limita a produção agrícola e reduz a produtividade das culturas a níveis econômicos, faz-se necessário conhecer os efeitos desse estresse na planta e no solo e seus mecanismos de tolerância com a finalidade de adotar práticas de manejos adequados da água e de cultivo visando à produção comercial com água salina (Dias & Blanco, 2010)

Como um resultado da ação dos estresses, as plantas podem apresentar modificações fisiológicas e anatômicas que podem ser causadas por um ou mais estresses (Bojórquez-Quintal et al., 2012).

Os potencias de água no sistema solo:planta são indicativos de saúde fisiológica dos vegetais. Uma redução nos potenciais osmótico e hídrico pode acarretar degradação dos pigmentos fotossintéticos, como também no processo da fotossíntese, impedindo que a planta expresse todo o seu potencial genético, gerando danos a produtividade. O estresse osmótico é o resultado de altas concentrações de sais na solução do solo, podendo ser o maior contribuinte para a redução do potencial total das plantas, inibindo a assimilação de água pelas raízes e ocasionando uma diminuição do crescimento (Munns and Tester, 2008; Tester et al., 2014)

A salinidade provoca a curto prazo: diminuição do transporte de água, transpiração e redução do potencial hídrico. A longo prazo provoca aumento da concentração de solutos; promove toxicidade por íons Na^+ e Cl; e de nutrientes essenciais; provoca a senescência foliar, reduzindo assim a produtividade (Flowers e Flowers, 2005; Flowers et al, 2010).

Diferentes espécies de plantas possuem mecanismos específicos para se defender dos efeitos dos sais e assim tolerar a salinidade, como a acumulação de ions inorgânicos de baixo peso molecular ou solutos orgânicos (Greenway & Munns, 1980; Ashraf & Harris, 2004Deinlein et al, 2014;). Nesse contexto é necessário que se avalie a tolerância de culturas importantes que são cultivadas em regiões predispostas a salinização

O cultivo de pimentão é um dos melhores exemplos de agricultura familiar e de integração pequeno agricultor-agroindústria. Justamente por esse motivo é que a cultura do Pimentão necessita ser avaliada em condições que utilizam águas salinas para no seu cultivo, como é o caso da região semiárida do Brasil.

Em Pimentão a redução de performance das plantas ocorre quando a condutividade elétrica da pasta de saturação do solo é maior que 1,5 dS m^{-1} e 1 dS m^{-1} na água de irrigação (Maas, 1990); a produtividade é reduzida em cerca de 50% a uma faixa de CE 5,8 e 8,6 dS m^{-1} (Goldberg, 2009).

Esse trabalho tem como objetivo avaliar o potencial químico da água no sistema solo-planta, por meio dos componentes osmótico e mátrico do solo; osmótico e total do solo nos períodos de madrugada e meio dia, aos 42 e 70 dias após o transplantio. Como também o teor relativo de água e variáveis de produção de biomassa e produtividade em *Capsicum annuum* L. cultivado com água em seis níveis de condutividade elétrica (0, 1; 3; 5; 7 e 9 dS m^{-1}) elaborada com duas fontes de sais; NaCl e uma mistura semelhante à água de poço próximo ao local de coleta de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do solo para a montagem do experimento

O solo caracterizado como Neossolo, utilizado no experimento é advindo do município de Pesqueira-PE, Agreste, região semiárida do Nordeste do Brasil localizada na sub-bacia do Rio Ipanema no Estado de Pernambuco entre as coordenadas 8º 34’ 17” e 8º 18’ 11” de Latitude Sul, e 37º 1’ 20” de Longitude Oeste, com altitude média de 613 m. O solo foi coletado na camada de 0-30 cm e transportado para o laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco; foi seco ao ar, 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.

Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA) os cátions Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} e K^{+} trocáveis extraídos por acetato de amônio 1 mol L^{-1}. A condutividade elétrica foi estimada pelo método proposto por Richards (1954), onde mediu-se a condutividade elétrica e determinadas as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com $AgNO_3$ e o pH em água (EMBRAPA, 1997). A capacidade de troca de cátions (T) foi determinada pelo método do cátion índice (RICHARDS, 1954). A partir dos resultados obtidos do complexo de troca, foram calculados os valores de soma de bases (SB) e Percentagem de Sódio Trocável (PST).

Tabela 1 Caracterização química inicial do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Extrato de Saturação		Complexo Sortivo		Relação (solúveis)	
Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
pH_{es}	8,17	$pH_{(1:2,5)}$	7,70	Na/Ca	1,42
CE (dS m^{-1})	0,99	Ca^{2+}($cmol_c kg^{-1}$)	5,53	Na/Mg	7,09
Ca^{2+}(mmol L^{-1})	19,07	Mg^{2+}($cmol_c$ kg^{-1})	2,22	Na/K	19,31
Mg^{2+}(mmol L^{-1})	3,81	Na^{+}($cmol_c$ kg^{-1})	0,26	Na/Cl	10,24
Na^{+}(mmol L^{-1})	27,04	K^{+}($cmol_c$ kg^{-1})	0,50	Cl/Ca	0,14
K^{+}(mmol L^{-1})	1,40	SB ($cmol_c$ kg^{-1})	8,51	Cl/Mg	0,69
Cl^{-1}(mmol L^{-1})	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

pH_{es}: pH determinado no extrato de saturação; PST: Percentagem de sódio trocável; SB: Soma de Bases.

Para a caracterização física (Tabela 2) foi feita a análise granulométrica na TFSA pelo método do densímetro; a argila dispersa em água e estimativa dos graus de dispersão e floculação da argila; a densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo método do balão volumétrico; a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente pelo método da curva de retenção de água no solo (EMBRAPA, 1997). A estimativa da porosidade total foi feita utilizando-se os valores de densidades de partícula e do solo.

Tabela 2 Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Areia												
Fina	Grossa	Total	Silte	Argila	ADA	Ds	Dp	GF	GD	PT	CC	PMP
g kg^{-1}							gcm^{-3}	%			g g^{-1}	
312	117	429	422	149	102	1,24	2,52	31	69	50,79	0,23	0,05

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: (1 – ID) *100. CC: Capacidade de campo e PMP: Ponto de murcha permanente

Montagem do experimento e tratamentos

O pimentão foi cultivado em vasos com capacidade para 8 L $^{-1}$, preenchidos com 7,2 kg de solo. Avaliou-se o crescimento por um período de 70 dias em casa de vegetação. O fornecimento de água foi diário utilizando-se de águas com condutividades elétricas de 0, 1, 3, 5, 7, 9 dS m^{-1} (Tabela 3) aplicada com proveta, baseando-se no peso inicial do conjunto vaso + solo úmido a 80% da capacidade de campo. Foram avaliadas duas fontes de sais: uma composta pela mistura de cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloreto, simulando as condições reais de campo e uma fonte de NaCl.

Condução do experimento

Mudas de *Capsicum annuum L. (*Variedade Itamara) foram transplantadas ao completarem a idade de 40 dias após o semeio. As plantas foram conduzidas através de Espaldeira simples com hastes dispostas a formar um renque. O pimentão foi fertilizado baseando-se na recomendação do Manual de

Recomendação de Adubação (IPA, 2008). Por ocasião do preenchimento dos vasos foram instalados extratores com cápsula porosa, de onde foi coletada a solução do solo para determinação da condutividade elétrica e estimativa do potencial osmótico

.

Tabela 3 Quantidades necessárias de sal (g L^{-1}) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais

CE	Fontes de Agua				
	Cloreto de Sódio	Mistura de Sais			
	NaCl	NaCl	KCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$
0	-	-	-	-	-
1	0,5000	0,3770	0,0020	0,0860	0,1090
3	1,6110	1,1364	0,0071	0,2519	0,3200
5	2,8417	1,8950	0,0134	0,4260	0,5337
7	3,3422	2,9414	0,0170	0,6553	0,8267
9	6,0049	4,1826	0,0211	0,9312	1,1830

O transplantio das mudas foi realizado no dia posterior ao estabelecimento e equilíbrio da umidade requerida em cada vaso. As plantas foram irrigadas inicialmente, com água destilada por um período de 10 dias, realizando-se elevação gradual da condutividade elétrica para evitar choque osmótico nas plantas transplantadas. Durante todo o experimento, a umidade nos vasos foi mantida de forma gravimétrica, mediante pesagens realizadas todos os dias, sempre aos fins de tarde, para possibilitar que o solo durante a noite equilibrasse na umidade desejada, sem que a perda de umidade por evaporação fosse acumulada.

Potenciais de água na planta

O potencial total de água na planta foi avaliado com câmara de Pressão de Scholander (modelo 1515 D, Pressure Chamber Instruments, PMS) em folhas coletadas no terço médio das plantas. Essas medidas foram realizadas antes do amanhecer (Ψpdw) aos 42 e 70 DAT. Além disso, realizou-se ainda, aos 70 DAT o Potencial total ao meio dia (Ψpmd).

Foram realizadas determinações do Potencial Osmótico da seiva das plantas no momento das determinações do potencial total. Para isso, as folhas utilizadas na avaliação dos potenciais totais na madrugada e ao meio dia foram maceradas com pistilo, fazendo-se uso de nitrogênio líquido. A seiva obtida do tecido foliar foi filtrada e centrifugada a 10.000 g por 10 minutos a 4°C (Silveira et al., 2009). Na seiva resultante desse processo foi determinada a osmolalidade m osmômetro de pressão de vapor (VAPRO WESCOR Modelo 5600), estimando-se do potencial osmótico pela equação de Van't Hoff, descrita abaixo:

$$\psi_o = -R\ T\ C$$

Em que, R é a constante geral dos gases (0,00831 kg MPa mol^{-1} K^{-1}), T é a temperatura (K), e, C é a concentração de soluto, expressa em mol kg^{-1} (Gimenez, Gallardo & Thompson, 2005; Ben-Gal et al., 2009; Silveira et al., 2009).

Potencial de água no solo

A determinação do potencial osmótico seguiu o mesmo procedimento descrito acima, exceto que se utilizou a solução extraída da pasta de saturação do solo aos 70 DAT. O potencial mátrico foi estimado através da Curva Característica de Retenção de Água no solo (CCRAS), por meio de determinação da umidade gravimétrica do vaso.

Teor relativo de água das folhas

O teor relativo de água (TRA) e a suculência nas folhas foi determinado de acordo com Silveira et al. (2003), através da coleta de 10 a 15 discos foliares de aproximadamente 1 cm de diâmetro do terço médio de cada planta e pesagem imediata para a obtenção do peso fresco (PF), além do cálculo da área total dos discos (A). Então, foram colocados em placas de Petri e imersos em água destilada por uma noite a uma temperatura de 4° C, colocados em papel de filtro para secagem do excesso de água e determinado o peso túrgido (PT). Depois foram levados para secagem a 60°C por 48 horas e determinado o peso seco (PS). O teor relativo de água foi calculado usando a seguinte equação:

$$TRA = (PF - PS)/(PT - PS) \times 100$$

Índices de Produtividade

Aos 70 DAT foram determinadas as massas frescas do caule, folha, frutos e raiz como também o número de frutos, como também a massa seca das frações vegetais após secagem em estufa de circulação forçada à 65 ºC até peso constante. De posso desses resultados foram calculados índices de performance dessas variáveis onde a testemunha foi o tratamento com condutividade elétrica de 0 dS m^{-1}.

Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro blocos em arranjo fatorial duplo 6 x 2, sendo 6 níveis de condutividade elétrica e 2 fontes de sais.

Análise e Interpretação dos dados

Os dados foram analisados por meio de análise de variância, ajustes de equações de regressões para os níveis de condutividade elétrica e teste de comparação de médias para comparação das fontes de água e o teor relativo de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise preliminar dos potenciais do solo e da planta

Dentre os potenciais medidos no solo aos 70 DAT somente o potencial osmótico apresentou efeito significativo para a fonte de sal e a condutividade elétrica. Para todos os potenciais de água na planta houve efeito significativo para a fonte de variação condutividade elétrica. Nas avaliações realizadas aos 70 DAT, na madrugada, a fonte de sal apresentou efeito altamente significativo no Potencial Osmótico (Ψ_o). Aos mesmos 70 DAT, na madrugada e ao meio dia o Ψ_o apresentou efeito significativo pra a interação Fonte x CE (Tabela 4)

Tabela 4. Níveis de significância dos potenciais osmótico, matricial e total do solo aos 70 DAT e osmótico e total da planta na madrugada aos 42 e 70 DAT e osmótico e total da planta ao meio dia aos 70 DAT

Fontes variação	PLANTA						SOLO		
	42 DAT		70 DAT				70 DAT		
	Madrugada		Madrugada		Meio dia		-		
	Ψ	**Ψ_o**	**Ψ**	**Ψ_o**	**Ψ**	**Ψ_o**	**Ψ_m**	**Ψ_o**	**Pasta Ψ**
FONTE	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	NS
CE	**	**	**	**	**	**	NS	*	*
FONTE*CE	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	NS	NS

**= Significativo a 1%; *= Significativo a 5%; CE= Condutividade elétrica; FS.= Fonte de sal; NS= Não significativo; Ψ_o = Potencial mátrico; Ψ_o =Potencial osmótico; Ψ = Potencial total.

O potencial Osmótico do solo (Ψ_o)

Com a elevação da condutividade elétrica da água de irrigação houve aumento dos íons solúveis e diminuição do potencial osmótico (Figura 1). Como foram encontradas diferenças significativas entre as fontes de sais (Tabela 4), pode-se concluir que o tipo de sal presente na solução influenciou no potencial osmótico. Esse efeito osmótico dos sais na solução do solo também foi relatado por Dias & Blanco (2010). Aragués et al. (2015), ao monitorar diferentes culturas submetidas a condições de déficit hídrico irrigadas com águas de irrigação de 1,1 a 1,7 dS m^{-1}, perceberam um acúmulo de sais no solo como também aumento das CE's. Isso se deu devido a entrada de sais no sistema, como também a alta taxa de evapotranspiração observada.

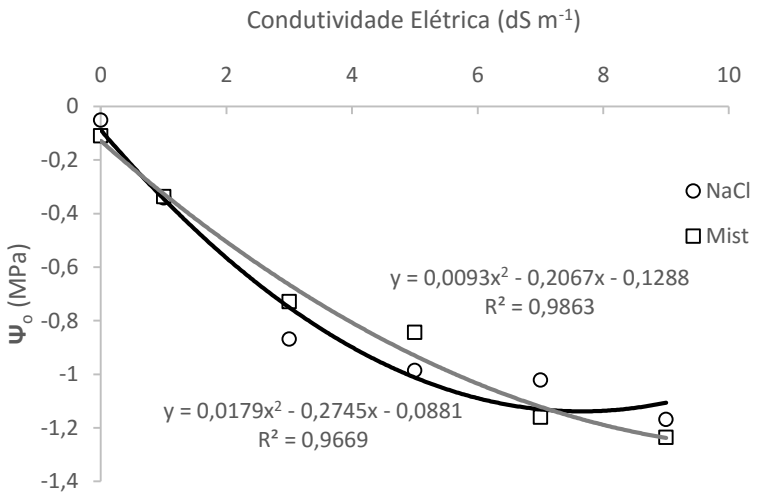


Figura 1. Potencial osmótico da solução da pasta de saturação do Neossolo Flúvico submetido a diferentes níveis de condutividade elétrica das águas de irrigação de diferentes composições aos 70 dias após o transplantio.

O potencial Mátrico do Solo (Ψm)

Durante a madrugada todos os tratamentos se encontravam em condições de umidade semelhante, próximos a 80% da capacidade de campo, indicando assim um Ψ_m semelhante entre os tratamentos (Figura 2). Porém ao meio dia, percebe-se a interferência dos sais influenciando a absorção de água das plantas cultivadas nos tratamentos com maior salinidade, em virtude da dificuldade de absorção de água e, também, menor transpiração de água devido a uma reduzida quantidade de folhas. Tem-se ainda, uma interferência nas propriedades coligativas da solução do solo, aumentando a energia potencial necessária para que houvesse o deslocamento da água na solução do solo para a atmosfera. Assim, os tratamentos que receberam as maiores concentrações salinas, via água de irrigação encontravam-se em condições de umidade quase semelhantes às da madrugada, fazendo com que o Ψ_m se torna-se menos negativo. Deve-se perceber também que o Potencial total irá variar com a umidade, porque há variação do Potencial Mátrico. Se a umidade diminui há aumento da CE, tornando o Potencial Osmótico mais negativo. Do ponto de vista do manejo, em situações com águas de irrigação de menor qualidade, a

frequência da irrigação deva ser aumentada, em vias de diminuir a influencia do Potencial Matricial no sistema.

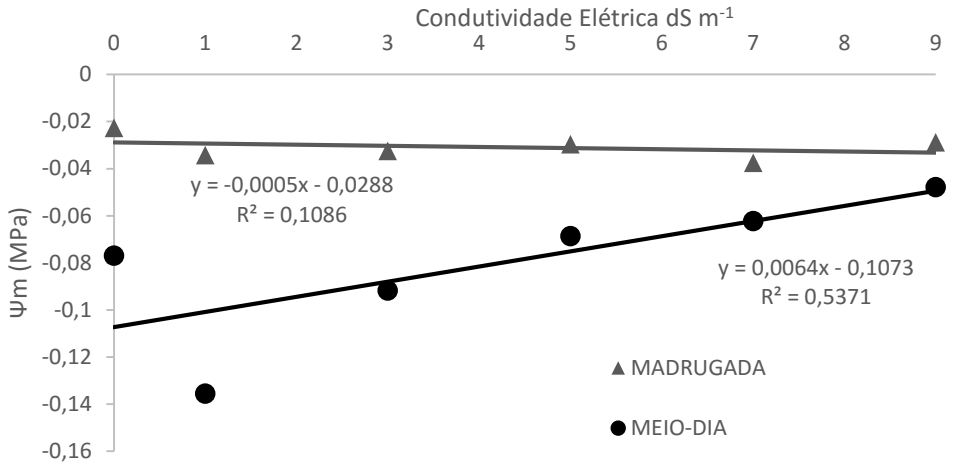


Figura 2. Potencial Matricial do Neossolo Flúvico submetido a diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação obtida aos 70 DAT na madrugada e ao meio dia.

O potencial Total do solo (Ψ)

Os valores de potencial total apresentaram efeito significativo apenas para a condutividade elétrica (Tabela 4). Assim, observa-se que houve uma diminuição desse potencial com o aumento da condutividade elétrica (Figura 3)

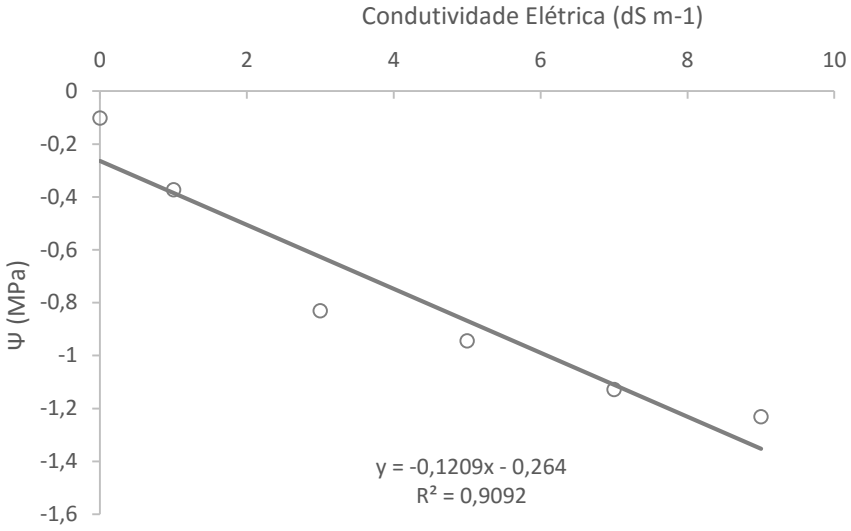


Figura 3 Potencial Total (Ψ) no solo Neossolo Flúvico submetido a diferentes níveis de condutividade elétrica das águas de irrigação determinado aos 70 DAT durante a madrugada.

A diminuição do potencial total resulta em maior demanda energética da planta, para que possa absorver água do solo. Esse incremento da necessidade energética resulta, para a planta, uma competição por energia entre os processos de assimilação e metabolização dos nutrientes e água, acarretando muitas vezes um desequilíbrio fisiológico (Cabot et al. 2014).

Sendo assim, faz-se interessante ressaltar a similaridade dos comportamentos entre as regressões para os valores de Ψ e Ψ_o no solo, indicando assim que o Ψ_o foi o maior contribuinte para os valores de potencial total do solo. Uma vez que o Ψ_o é proveniente da concentração de solutos na solução, pode-se afirmar que o incremento de sais resulta na redução do potencial osmótico, fazendo com que este contribua cada vez mais para o valor final do Potencial total (Figura 4).

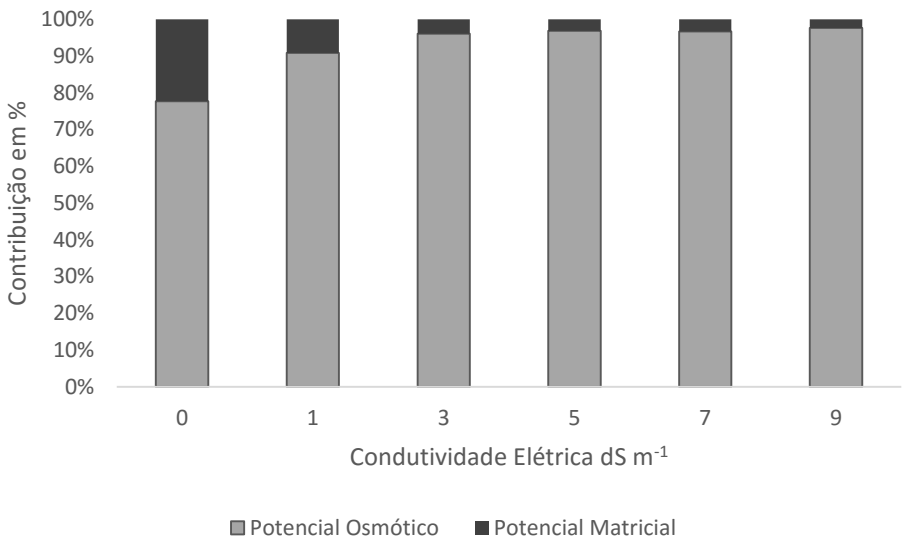


Figura 4 Contribuição Percentual dos Potenciais Osmótico e Mátrico para o Potencial total do Neossolo Flúvico submetido a condições salinas crescentes ao fim do experimento (70 DAT).

Potenciais de água na planta

Potencial Osmótico (Ψ_o)

O potencial osmótico aos 42 DAT apresentou efeito significativo apenas para a condutividade elétrica da água (Tabela 4), demonstrando que a fonte de sal não interfere na acumulação de solutos na planta. Ao aumentar a salinidade observou a diminuição do potencial osmótico (Figura 5).

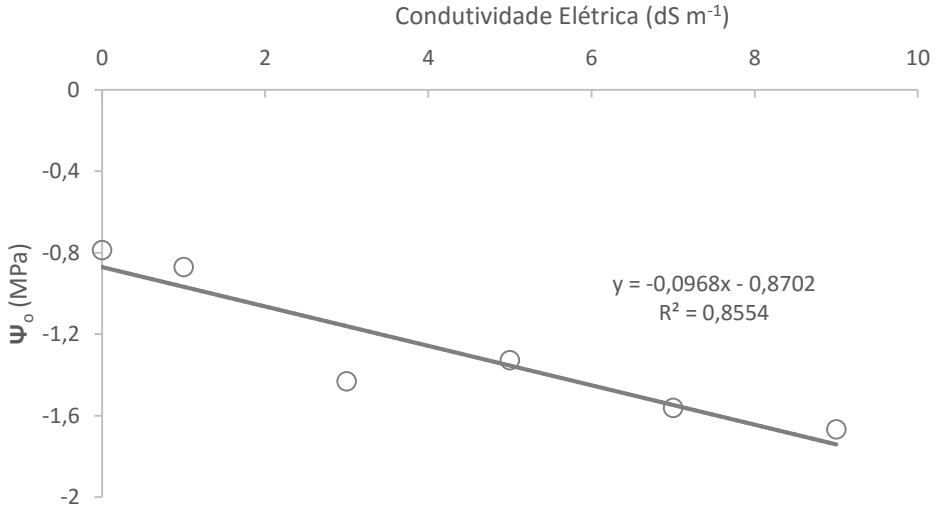


Figura 5 Potencial Osmótico da seiva das folhas de *Capsicum annuum* L var Itamara submetido a diferentes níveis de condutividade elétrica das águas de irrigação avaliado aos 42 DAT durante a madrugada.

A diminuição do potencial osmótico na seiva da folha, acontece devido a necessidade do *Capsicum annuum L,* de assimilar solutos e acumula-los para que por diferença de potencial haja a assimilação da solução do solo. A lei de Raoult mostra que a pressão de vapor da água em uma solução é diminuída em proporção à adição de solutos na mesma. Porém como a água é separada por uma membrana, a movimentação continuará para até que haja a manutenção do equilíbrio energético (Kramer & Boyer, 1995). Sendo assim, a ascensão da água na planta ocorre por diferença de potencial, fazendo com que a planta em uma situação de estresse tenha a necessidade de assimilar solutos para conseguir manter seu potencial hídrico mais baixo que o do solo.

Rubio et al. (2010) mencionaram que nas Pimentas o efeito osmótico é indicado como mais importante do que o efeito iônico, e o efeito nas plantas de pimentão aparentemente são baseados na salinidade.

Pode-se observar que os valores do potencial osmótico na madrugada aos 70 DAT se encontram mais baixos que os determinados aos 42 DAT, denotando assim que ao longo do tempo houve uma maior acumulação de solutos nas células vegetais das folhas. Isso justifica a diminuição geral dos

valores de Potencial Osmótico (Figura 6). Ainda nessa figura pode-se observar a relação do potencial osmótico do solo e da planta.

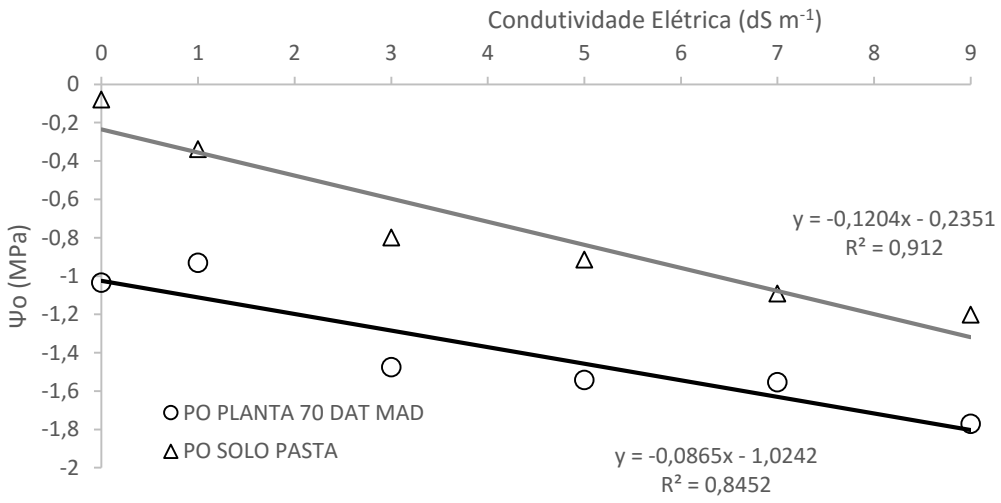


Figura 6 Comparativo entre o Potencial Osmótico da solução da pasta de saturação do Neossolo Flúvico e da seiva do Pimentão submetidos a diferentes níveis de condutividade elétrica das águas de irrigação aos 70 DAT.

Durante a Madrugada a planta se encontra com o seu máximo turgor celular e consequentemente menor concentração intracelular de solutos quando comparada ao período do meio dia, sendo assim é esperado que em plantas saudáveis haja a capacidade de se hidratar ao máximo durante a madrugada, e devido aos processos de transpiração chegar ao seu mínimo turgor no período do meio dia. Por conta do estresse salino prolongado, submetido às plantas de Pimentão, não houveram condições para a recuperação da hidratação celular durante a noite. Daí se observam curvas semelhantes para os potenciais osmóticos da madrugada e meio dia. As concentrações dos solutos nas seivas das folhas se encontrava em um estágio semelhante (Figuras 7 A e B).

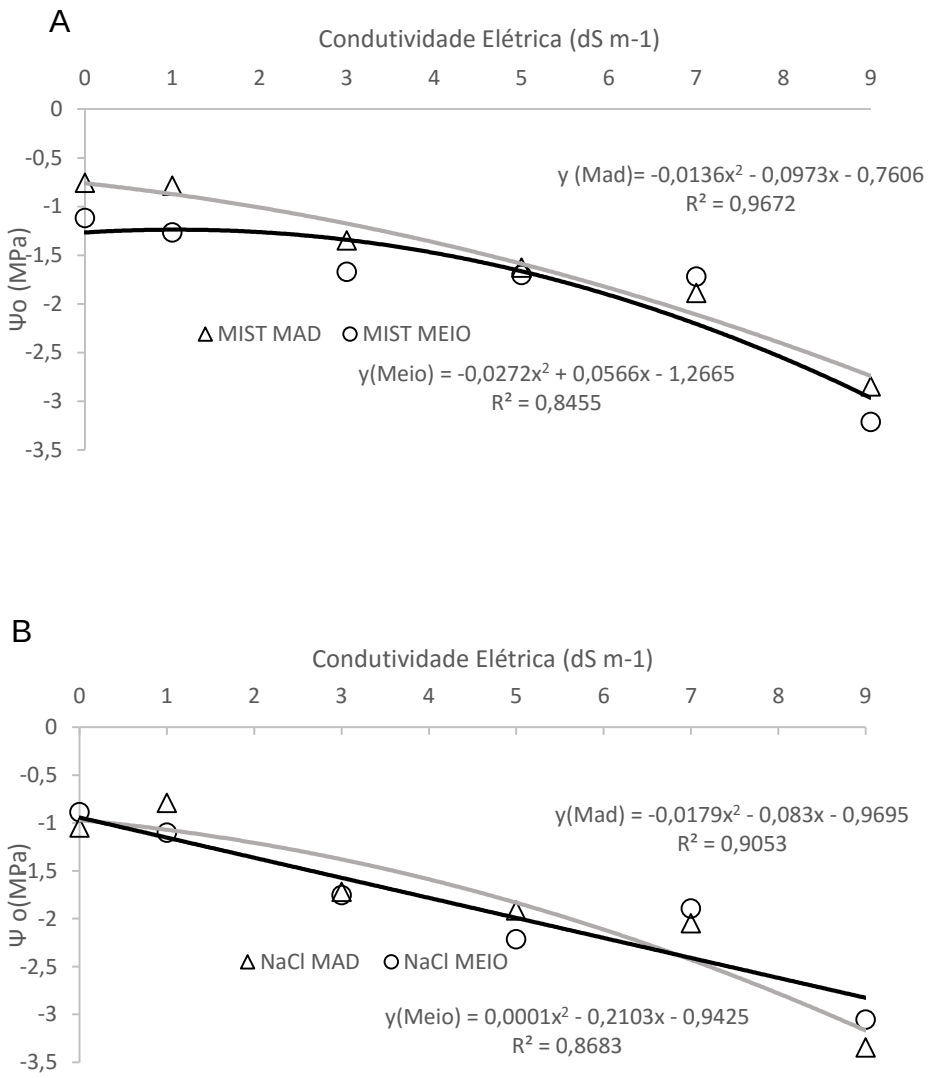


Figura 7. Potencial Osmótico da seiva das folhas de Capsicum annuum L var Itamara submetido a diferentes níveis de condutividade elétrica dos tratamentos submetidos a soluções de irrigação salina, construída com (A) NaCl e (B) Mistura de Sais , avaliado aos 70DAT na madrugada e ao meio dia

Potencial Total Planta

Como comentado anteriormente (Tabela 4) não houve efeito significativo para a fonte de sal no potencial hídrico do Pimentão, só ocorrendo para a fonte de variação Condutividade Elétrica.

É interessante destacar que os potenciais hídricos reduziram com a elevação da salinidade da água de irrigação e que esse aumento foi evidenciado com o decorrer do experimento, entre os dois períodos de avaliação (Figura 8).

Aos 70 DAT, no cenário da madrugada, os potenciais hídricos foram menores quando comparados aos 42 DAT. Isso pode ser explicado pela acumulação dos sais no solo e consequente necessidade da planta acumular solutos para reduzir esse potencial. Outro fato importante é a contribuição do estresse hídrico na redução do potencial hídrico ao meio dia aos 70 DAT (Figura 8). Observa-se que o potencial hídrico ao meio dia reduziu em mais de 100% ao da madrugada, evidenciando a menor contribuição do potencial de turgor.

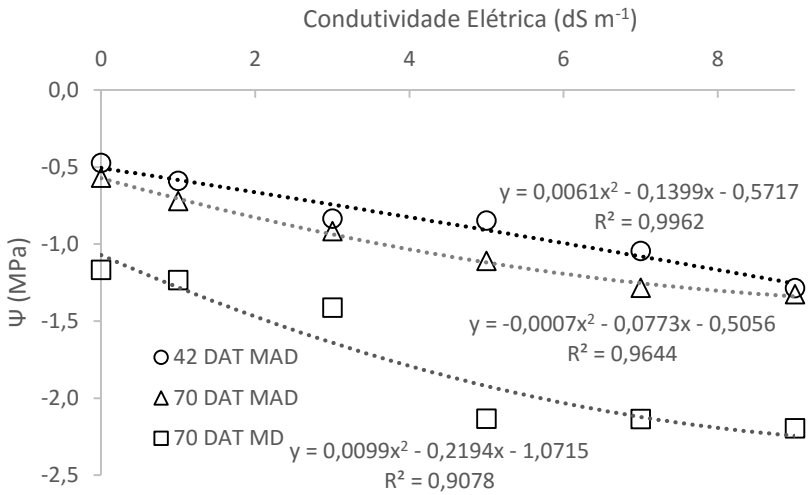


Figura 8 Potencial Total das folhas de Pimentão submetido a diferentes níveis de condutividade elétrica das águas de irrigação. Avaliado aos 42 DAT na madrugada e aos 70 DAT na madrugada e ao meio-dia.

Pascale et al (2003) avaliaram o efeito a longo prazo da irrigação de *Capsicum annuum* com soluções salinas de 0,5 (controle), 4,4 e 8,5 dS m^{-1} de NaCl cultivado em campo como também estresse hídrico. Os autores encontraram valores de potencial total de -0,95, -1,21,- 1,41 e -1,46 MPa para os tratamentos de 0,5, 4,4, 8,5 dS m^{-1} e Estresse hídrico (interrupção da irrigação artificial aos 30 DAT), respectivamente.

Azuma et al. (2010), ao submeter Pimentas da variedade Carballerro, a condições salinas via águas de irrigação de 0, 50 (~ 5 dS m^{-1}) ou 100 mM (~ 10 dS m^{-1}) de NaCl, observaram que o Potencial total das folhas, aos 21 dias apresentava valores de -0,7; -1,05 e -1,29 MPa para os tratamentos em concentração crescente de sais, respectivamente. Esses valores comprovam a

alta correlação da diminuição do potencial total das folhas de Pimentão, com o aporte salino promovido pelo uso das águas de irrigação salinas. É possível perceber também a semelhança dos valores encontrados no trabalho de Azuma et al (2010), com os encontrados neste experimento. Para a CE de 9 dS m^{-1}, observou-se um valor de 1,30 e 1,32 dS m^{-1} para as Ψ da folha aos 42 e 70 DAT, respectivamente. No trabalho citado obteve-se uma média de 1,29 para a concentração de 100 mM de NaCl. Nas condições de Condutividade Elétrica de 5 dS m^{-1} observaram-se valores de - 0,8 e - 1,11 MPa, para as determinações realizadas aos 42 e 70 DAT. Já no trabalho acima citado obtive-se uma média de -1,05 Mpa no tratamento de 50 mM de NaCl.

Teor Relativo de Água

Não houve diferença significativa para no teor relativo de água para os tratamentos avaliados. Nota-se que o teor de água das plantas aos 70 DAT é maior que o das plantas aos 42 DAT (Figura 9). É possível perceber os teores de água aos 70 DAT tendem a aumentar a medida que a se eleva a condutividade elétrica.

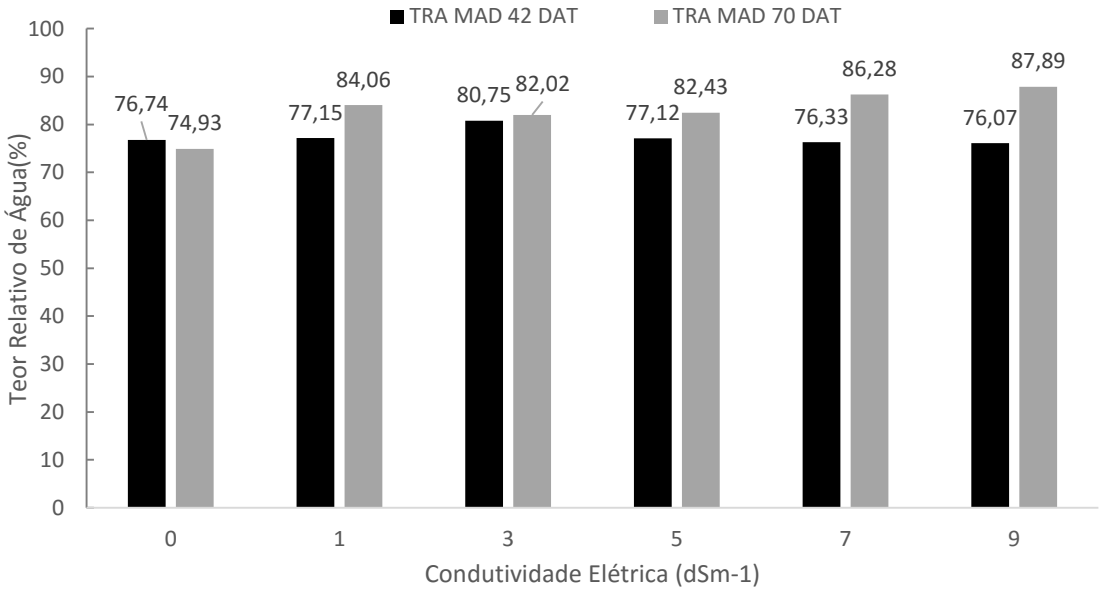


Figura 9 Teor Relativo de Água das folhas de *Capsicum Annuum* var Itamara, submetidas diferentes condutividades elétricas aos 42 e aos 70 DAT na madrugada.

Ainda em realção aos estudos de De Pascale et al (2003) avaliaram o efeito a longo prazo da irrigação de *Capsicum annuum* com soluções salinas de

0,5 (controle), 4,4 e 8,5 dS m^{-1} de NaCl cultivado em campo como também estresse hídrico. Os autores encontraram teores relativos de água próximos a 96% para todos os tratamentos em questão.

Comparando três variedades de *Capsicum annuum* submetidos a soluções compostas por NaCl em condutividades 2 (grupo controle), 4, 6 e 8 dS m^{-1}, Ziaf et al. (2009) encontraram uma redução significativa do Conteúdo Relativo de água das folhas das variedades testadas quando afetadas pelo ambiente salino, devido a ação da osmolalidade da solução de irrigação.

Já Panella et al (2015), não encontraram diferenças entre os valores do TRA entre os tratamentos avaliados, os autores propõem que sob períodos prolongados de exposição ao sal, condutividade raiz pode ser parcialmente recuperada, principalmente através da acumulação de solutos compatíveis e / ou íons em raízes. Estas respostas devem ser envolvidas na manutenção do conteúdo de água relativo nas folhas dos genótipos de pimenta enxertadas no experimento.

Associação entre o potencial osmótico e a produção de caule, folha, raiz, número de frutos e massa de frutos

É notável uma diminuição dos índices à medida que se decresce o potencial total da solução para todos os tratamentos comparados ao controle, exceto para o tratamento de 1 dS m^{-1}, que mostrou produções de frutos, em valores de número e de massa, semelhantes ao grupo controle, porém demonstrando uma produtividade superior em termos de caule, folha e raiz (Figura 10). As plantas irrigadas com a água de 3, 5, e 7 dS m^{-1} demonstraram semelhante produção de caule, folha, raiz e número de frutos. Porém o desenvolvimento dos frutos foi afetado com o aumento das concentrações salinas. O tratamento que recebeu a solução de 9 dS m^{-1} apresentou valores menores para todas as variáveis. Chartzoulakis & Klapaki (2000) e Rubio et al. (2009) também encontraram uma diminuição na produção dos frutos assim como no número de frutos por planta de Pimentão quando submetidas às condições de alta slinidade.

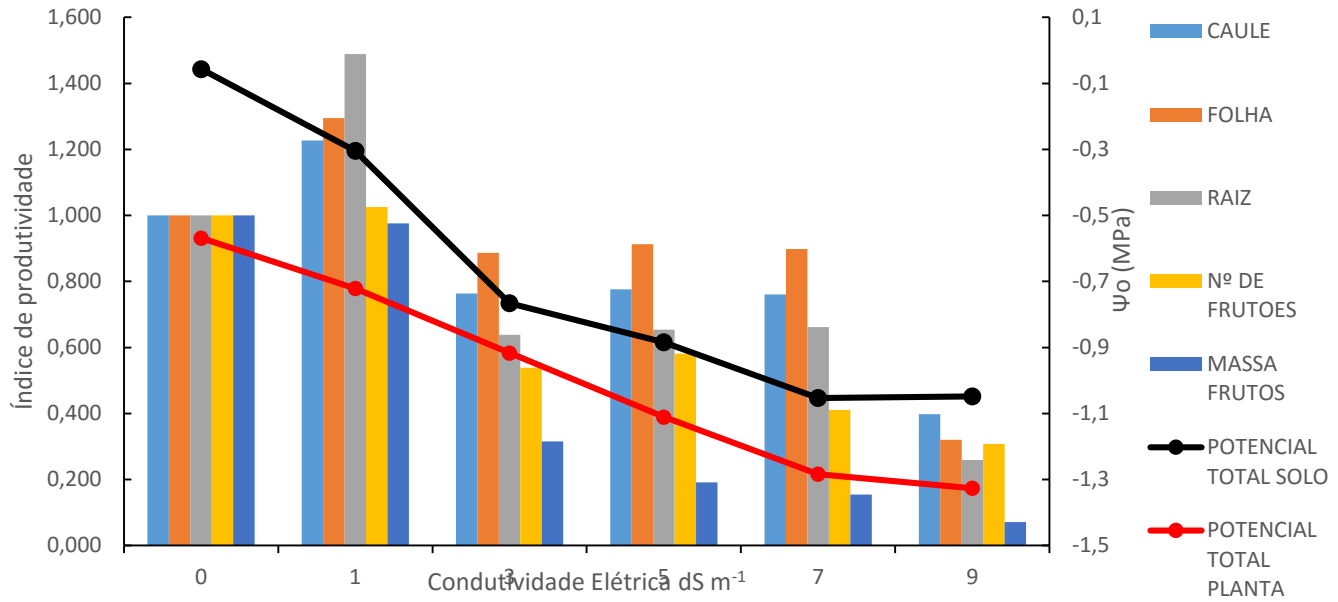


Figura 10 Índices de produtividade de massa fresca de do caule, folha, raiz, fruto e número de frutos de *Capsicum annuum* L. nos diferentes tratamentos, quando comparado com o potencial osmótico da pasta saturada aos 70 DAT.

Assim como nos índices de produtividade para a massa fresca *de Capsicum annum* Var. Itamara, apenas as plantas submetidas a condutividade de 1 dS m^{-1} obtiveram valores produtivos superiores ao grupo controle. Os

tratamentos de 3, 5, 7 e 9 dS m^{-1} foram inferiores na produção de massa seca (Figura 11). Sendo os valores para as CE's 3,5 e 7 semelhantes enquanto que os valores para as a CE de 9 dS m^{-1} foram inferiores a estas CE's. Diferentemente da Massa Fresca dos Furtos, para as CE's 3,5 e 7 houve uma semelhança dos valores para produção seca, indicando que o teor de água nos frutos foi afetado pelo efeito da concentração salina das soluções de irrigação.

Maas & Hoffman (1977) para estabelecer limites salinos para a produtividade aceitável comercialmente do pimentão encontraram um limite de 1,7 dS m^{-1} com uma perda de 12% de biomassa a cada 1 dS m^{-1} adicionado à solução salina imposta a planta.

Esse fenômeno pode ser creditado a diminuição da energia potencial da solução a qual impede uma assimilação de água suficiente para que haja uma turgidez satisfatória das Células vegetais. Ziaf et al. (2009) encontraram redução na produção de Biomassa com o aumento da concentração salina, indicando uma sensibilidade do *Capsicum annuum* ao ambiente salino.

Savvas et al, (2007) ao submeter *Capsicum annuum* L. cultivado em sistema hidropônico com substrato inerte, a soluções nutritivas (0,8 e 6 mmol m^{-3}). Os autores perceberam uma diminuição no número de frutos por planta como também no Peso Fresco dos mesmos, com o aumento da CE da solução. Aktas et al (2007), encontraram uma redução de biomassa ao comparar variedades de pimentão tolerantes e suscetíveis à salinidade. Na abstenção da salinidade as variedades tolerantes e suscetíveis apresentaram rendimentos semelhantes. Os autores atribuem esses resultados a ação deletéria dos íons Na, no equilíbrio nutricional das plantas.

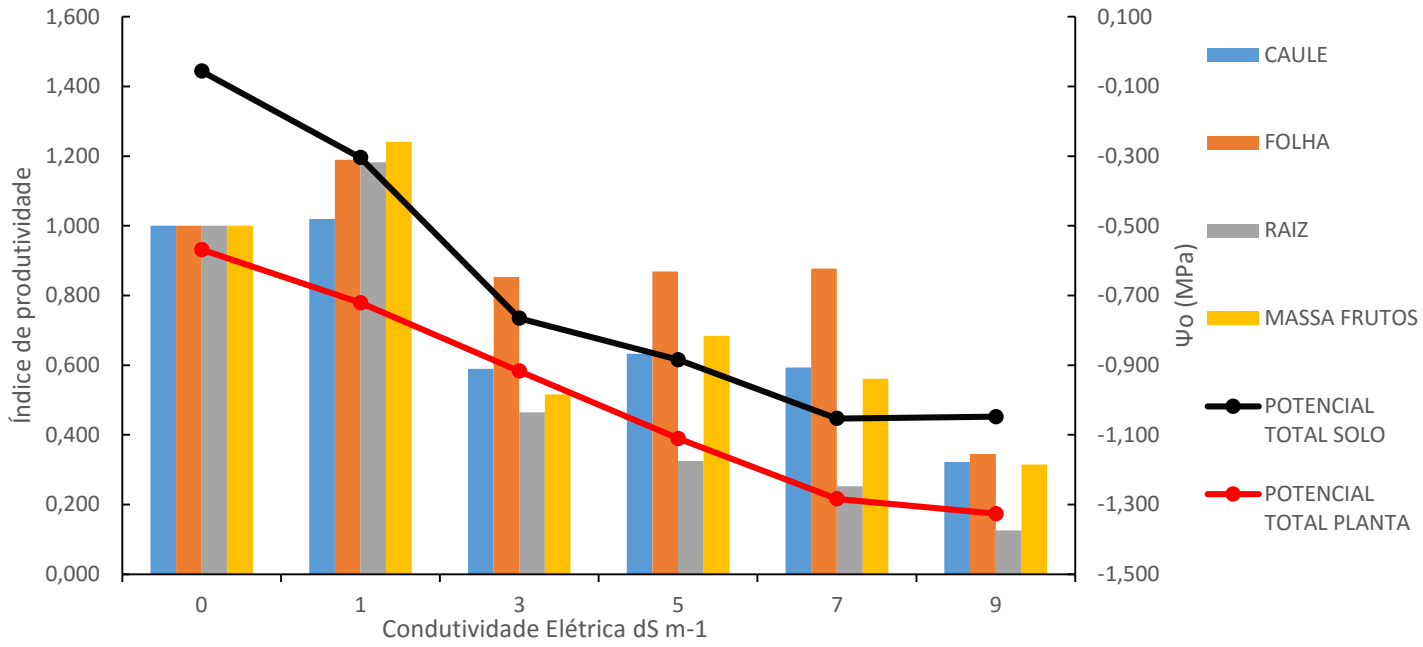


Figura 11. Índices de produtividade de massa seca de do caule, folha, raiz e fruto de *Capsicum annuum* L. nos diferentes tratamentos, quando comparado com o potencial total da pasta saturada aos 70 DAT.

Potencial total do solo x potencial total da planta

É possível observar que para os potenciais do solo e da planta a principal contribuição veio do potencial osmótico (Tabela 5) e que, não ocorreu equilíbrio entre os potencias totais do solo e da planta durante a madrugada. A maior e a menor diferença entre os potenciais da planta e do solo ocorreram nos tratamentos com condutividade elétrica água de irrigação de 0 e 9 dS m-1 respectivamente, como deltas de – 0,467 e – 0,096 MPa. De qualquer modo é possível observar que a planta reduziu o potencial hídrico à medida que o potencial do solo, também, foi diminuído. Para constatar essa afirmação é importante destacar que o potencial hídrico da planta no tratamento controle (0 dS m^{-1}) foi de – 0,569 MPa, enquanto para o tratamento com 9 dS m^{-1} foi – 1,326 MPa.

Donovan et al. (2001) encontraram desequilíbrio na madrugada entre os potenciais hídricos da planta e do solo em 16 de 21 espécies vegetais testadas, sob condições salinas. Donavan et al. (2003) também encontraram desequilíbrio entre o potencial hídrico da planta e do solo em plantas do gênero

Chrysothamnus e Sarcobatus. James et al. (2006) trabalhando com plantas do gênero Sascorbatus sob condições salinas verificou desequilíbrio de grande magnitude entre a planta e o solo. Donavan et al. (1999) também encontraram desequilíbrio na madrugada para a maioria das plantas cultivadas.

Tabela 5. Potenciais matricial, osmótico e total do solo e osmótico e total (MPa) do pimentão cultivado com água salina aos 70 dias após o transplantio determinados na madrugada

	Solo			Planta		**Δ (Planta – Solo)**
CE (dS m^{-1})	Ψ_m	Ψ_o	Ψ	Ψ_o	Ψ	
0	-0,023 ± 0,012	-0,079 ± 0,035	**-0,0564±0,0399**	-1,035 ± 0,402	**-0,569 ± 0,147**	**- 0,467**
1	-0,034 ± 0,06	-0,338 ± 0,016	**-0,3042±0,0175**	-0,931 ± 0,135	**-0,721 ± 0,088**	**- 0,348**
3	-0,032 ± 0,03	-0,798 ± 0,188	**-0,7657±0,1902**	-1,475 ± 0,383	**-0,917 ± 0,186**	**- 0,086**
5	-0,030 ± 0,007	-0,914 ± 0,181	**-0,8843±0,1807**	-1,543 ± 0,426	**-1,110 ± 0,623**	**- 0,167**
7	-0,037 ± 0,021	-1,090 ± 0,137	**-1,053±0,1267**	-1,554 ± 0,323	**-1,284 ±0,441**	**- 0,156**
9	-0,029 ± 0,006	-1,201 ± 0,192	**-1,0482±0,4046**	-1,770 ± 0,338	**-1,326 ± 0,569**	**- 0,096**

CONCLUSÕES

1) A salinidade da água de irrigação apresentou efeito significativo para os potenciais osmótico e total do solo e, osmótico e total da planta. A fonte de sal apenas influenciou apenas o potencial osmótico do solo aos 70 DAT,

2) A salinidade do solo diminuiu o crescimento da planta e, consequentemente, a transpiração e evaporação do solo, mantendo assim uma maior umidade nos tratamentos mais salinos fazendo com que o potencial matricial do solo se tornasse menos negativo em condições de maior salinidade ao meio dia.

3) Pode-se perceber ao longo das determinações do Potencial total nas folhas de Pimentão uma diminuição desses valores quando comparados os valores da madrugada, e uma diminuição ainda mais expressiva quando analisados os valores obtidos aos 70 DAT ao meio-dia, indicando uma alta concentração de solutos nas folhas do vegetal, durante o período mais seco do dia, devido à perda de água por transpiração.

4) O teor Relativo de água não se mostrou como uma variável que mostrasse o estado de estresse do Pimentão, porém denota que a cultura sempre encontrou condições de umidade favoráveis ao seu desenvolvimento.

5) As plantas submetidas as condutividades de 3, 5, 7 e 9 dS m^{-1} mostraram-se com um desempenho menor que o grupo controle e a CE de 1 dS m^{-1}, sendo essa última condição a que proporciona melhores rendimentos em termos de produção seca e fresca da biomassa vegetal.

6) Não houve equilíbrio dos potenciais total do solo e da planta durante a madrugada aos 70 dias após o transplantio. Entretanto a planta apresentou capacidade de reduzir o potencial hídrico à medida que o potencial total do solo foi diminuído

REFERENCIAS

ARAGÜÉS, R.; MEDINA, E. T.; ZRIBI, W.; CLAVERÍA, I.; ÁLVARO-FUENTES, J.; FACI, J. Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios. **Irrigation Science**, v. 33, n. 1, p. 67-79, 2015.

ASHRAF, M. P. J. C.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004.

AZUMA, R.; ITO, N.; NAKAYAMA, N.; SUWA, R.; NGUYEN, N. T.; LARRINAGA-MAYORAL, J. A.; ESAKA, M.; FUJIYAMA, H.; SANEOKA, H. Fruits are more sensitive to salinity than leaves and stems in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). **Scientia horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 171-178, 2010.

BEN-GAL, A.; BOROCHOV-NEORI[B] H.; YERMIYAHU U.; SHANI, U. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity? **Environmental and Experimental botany**, v. 65, p. 232-237, 2009.

BERN, CARLETON R.; CLARK, M. L.; SCHMIDT, T. S.; HOLLOWAY, J. M.; MCDOUGAL. R. R. Soil disturbance as a driver of increased stream salinity in a semiarid watershed undergoing energy development. **Journal of Hydrology**, v.524, p. 123-136, 2015.

BOJÓRQUEZ-QUINTAL, J. E.; ECHEVARRÍA-MACHADO, I.; MEDINA-LARA, F. MARTINEZ-ESTEVEZ, M. Plants challenges in a salinized world: the case of Capsicum. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 72, p. 13614-13626, 2012.

CABOT, C., SIBOLE, J. V.; BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Lessons from crop plants struggling with salinity. **Plant Science**, v. 226, p. 2-13, 2014.

CAVALCANTI, F. J. de A. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco (2 ª aprox.) 2 ed. rev. Recife: IPA, 1998. 198p.

CHARTZOULAKIS K, KLAPAKI G. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. **Scientia Horticulturae**, v. 86, n. 3, p. 247-260, 2000.

DE PASCALE, S., RUGGIERO, C., BARBIERI, G., & MAGGIO, A.. Physiological responses of pepper to salinity and drought. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 1, p. 48-54, 2003.

DEINLEIN, U.; STEPHAN, A. B.; HORIE, T.; LUO, W.; XU, G.; SCHROEDER, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in plant science**, v. 19, n. 6, p. 371-379, 2014.

DIAS, N. dá S.; BLANCO F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta.** In: GHEYI, H. R.; DIAS N. dá S.; LACERDA, C. F. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza -CE. INCTSal - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 129-141, 2010.

DONOVAN, L. A.; GRISE, D. J.; WEST, J. B.; PAPPERT, R. A.; ALDER, N. N.; RICHARDS, J. H. Predawn disequilibrium between plant and soil water potentials in two cold-desert shrubs. **Oecologia**, v. 120, n. 2, p. 209-217, 1999.

DONOVAN, L.; LINTON, M.; RICHARDS, J. Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. **Oecologia**, v. 129, n. 3, p. 328-335, 2001.

DONOVAN, L. A.; RICHARDS, J. H.; LINTON, M. J. Magnitude and mechanisms of disequilibrium between predawn plant and soil water potentials. **Ecology**, v. 84, n. 2, p. 463-470, 2003.

EMBRAPA, Manual de Métodos e Análises de Solos, SNLCS, 1997

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 945-963, 2008.

FOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. **Agricultural water management**, v. 78, n. 1, p. 15-24, 2005.

GOLDBERG, S. Influence of soil solution salinity on molybdenum adsorption by soils. **Soil science**, v. 174, n. 1, p. 9-13, 2009.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**. v. 31, p. 149–190. 1980.

JACKSON, R. D. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. **Annual review of phytopathology**, v. 24, n. 1, p. 265-287, 1986

JAMES, J. J.; ALDER, N. N.; MÜHLING, K. H.; LÄUCHLI, A. E.; SHACKEL, K. A.; DONOVAN, L. A.; RICHARDS, J. H. High apoplastic solute concentrations in leaves alter water relations of the halophytic shrub, Sarcobatus vermiculatus. **Journal of experimental botany**, v. 57, n. 1, p. 139-147, 2006.

KRAMER, P.J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic press, 1995.

MATEOS, R. M.; JIMÉNEZ, A.; ROMÁN, P.; ROMOJARO, F.; BACARIZO, S.; LETERRIER, M. ; GOMEZ, M.; SEVILLA, F. DEL RIO, L. A.; CORPAS, F. J.; PALMA, J. M. Antioxidant Systems from Pepper (*Capsicum annuum* L.): Involvement in the Response to Temperature Changes in Ripe Fruits. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 5, p. 9556-9580, 2013

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.

QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L**.** Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. **Advances in Agronomy**, v. 96, p. 197-247, 2007.

RENGASAMY, P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. **Functional Plant Biology**, v. 37, n. 7, p. 613-620, 2010.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. **Agriculture Handbook**, v. 60

ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current opinion in biotechnology**, v. 26, p. 115-124, 2014.

RUBIO, J. S.; GARCIA-SANCHEZ, F.; RUBIO, F.; MARTINEZ, V. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K+ and Ca2+ fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 2, p. 79-87, 2009.

SALEHI-SURMAGHI, M. H. **Medicinal plants and Phytotherapy**. Donyaee Taghzieh (In Farsi), v. 1. 2006.

SAVVAS, D.; STAMATI, E.; TSIROGIANNIS, I. L.; MANTZOS, N.; BAROUCHAS, P. E.; KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems**. Agricultural Water Management**, v. 91, n. 1, p. 102-111, 2007.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S. & VIÉGAS, R. A. Roots and leaves contrasting osmotic adjustment mechanisms in responses to NaCl-Salinity in A*triplex nummuaria***.** . **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 1, p. 1-8, 2009.

SONNEVELD, C. **Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture**. Wageningen Universiteit, 2000.

SOUZA, R. J. de; Nannetti, D. C. **A cultura do pimentão** (*Capsicum annuum* L.). Boletim técnico, 49. Lavras: UFLA, 1998.

ZIAF, K.; AMJAD, M.; PERVEZ, M. A.; IQBAL, Q.; RAJWANA, I. A.; AYYUB, M. Evaluation of different growth and physiological traits as indices of salt tolerance in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). **Pak. J. Bot**, v. 41, n. 4, p. 1797-1809, 2009.

CAPITULO II

Título

TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA EM PIMENTÃO (*Capsicum Annuum* Var. Itamara) CULTIVADO COM ÁGUAS SALINAS

RESUMO

A necessidade de conhecer os mecanismos fisiológicos de tolerância das culturas a salinidade é algo que deve ser explorado. Nesse sentido, estudos que avaliem a performance da fotossíntese e da transpiração são de grande interesse. Objetivou-se com essa pesquisa analisar a fluorescência da clorofila e as trocas gasosas em Pimentão cultivado com água de seis níveis de salinidade (0, 1, 3, 5, 7, 9 dS m^{-1}) elaboradas utilizando-se somente NaCl e uma mistura de Ca, Mg, K, Na e Cl semelhante a água de um poço de próxima a área de coleta do Neossolo Flúvico utilizado para o experimento. Para atingir esses objetivos foram avaliados os parâmetros de Fluorescência instantânea (F0), Fluorescência máxima em folhas mantidas em escuro (Fm), Fluorescência variável em folhas mantidas em escuro (Fv) e Eficiência máxima do Fotossistema II (Fv/Fm) como também as bandas K e L aos 33 e 54 dias após o transplantio (DAT). Os pigmentos fotossintéticos: clorofila a, clorofila b e carotenoides foram determinados aos 54 DAT. Os parâmetros de fotossíntese líquida, condutância estomática e a taxa de transpiração foram determinados aos 25 DAT. Houve aumento das variáveis F0 e Fm indicando resposta ao estresse causado pela salinidade. Essas inutilizações dos Centros de Reação podem ser respostas observadas devido ao decréscimo dos teores de clorofila. As bandas K e L expressas pelo Pimentão nos estreses salinos, demonstraram uma forma diferente da apresentada pelo grupo controle nas duas determinações, todavia um efeito provocado pela continuidade da salinidade pode ser notado aos 54 DAT. Isso pode ser explicado pela perda da eficiência do uso da energia, dando origem a espécies reativas de oxigênio (banda K); como também a perda da condutividade energética (banda L). Aos 33 DAT as plantas submetidas a água de 1 dS m^{-1} apresentaram os maiores valores de eficiência fotossintética. A redução dos teores dos pigmentos fotossintéticos, da fotossíntese líquida e transpiração foram observadas com o aumento da salinidade.

Palavras-Chave: Estresse salino, Fotossíntese, transpiração.

ABSTRACT

The need for more sensitive assessments in the detection of effects caused by soil salinity and water in agricultural crops is something that should be explored. In this sense, studies that assess the performance of photosynthesis and transpiration are of great interest. The objective of this research was to analyze the chlorophyll fluorescence and gas exchange in Chili cultivated with six water salinity levels (0, 1, 3, 5, 7, 9 dS m^{-1}). The solutions were prepared using only NaCl and a mixture of Ca, Mg, K, Na and Cl with the same ion proportion of a water sample collected from a nearby well in the Entisol collection area used for the experiment. To achieve this objective the parameters of instantaneous fluorescence (F0), maximal fluorescence in dark-adapted leaves (Fm), variable fluorescence in dark-adapted leaves (Fv) and Photosystem II Maximum efficiency (Fv / Fm) so as the band K and L, after 33 and 54 DAT were analyzed. The photosynthetic pigments: chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids to 54 DAT were also determined. The net photosynthetic parameters, stomatal conductance and transpiration rate were determined at 25 DAT. There was an increase of the variables F0 and Fm indicating stress due to salinity. These reaction centers losses responses can be given by the decrease in chlorophyll content. The K and L bands from the salinity treatments showed a different shape from the control at the two determinations; however, the salinity continuity effect can be noticed at 54 DAT. This can be explained by the loss in the efficiency of energy use, yielding to reactive species of oxygen (K band) and loss of energy conductivity (L band). At 33 DAT, plants submitted to water 1 dS m^{-1} had the highest photosynthetic efficiency. With the increase in EC's the contents of chlorophyll a, b and carotenoids reduced, as well as the net photosynthesis and transpiration.

Keywords: Salt Stress, Photosynthesis, Transpiration.

INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos principais fatores abióticos que impedem o desenvolvimento das plantas nas regiões semiáridas. Comparada a outras culturas o Pimentão tem uma alta suscetibilidade a salinidade (Subramanyam et al., 2010). A salinidade do solo afeta o desenvolvimento dos vegetais, seja pela inibição da absorção de água, toxicidade e desbalanço de determinados elementos químicos e, consequentemente, inibindo e alterando o metabolismo da planta. Assim, uma análise mais detalhada no sentido de avaliar processos que afetam a fotossíntese e alterações nas trocas gasosas se faz necessário para entender o comportamento das plantas. Nesse sentido, a fluorescência da clorofila é uma ferramenta de grande importância, uma vez que representa um sinal intrínseco emitido pelas folhas que pode ser empregado para monitorar o seu estado fisiológico, incluindo mudanças no aparato fotossintético (Lichtenthaler et al, 1990, Baker, 2008; Strasser et al., 2000; Stirbet & Govindjee, 2011)

É valido destacar que uma das respostas das plantas ao estressa salino dá-se com o fechamento estomático, que ocasiona um aumento da temperatura das folhas e inibição do crescimento dos ramos. Sendo assim, tem-se uma redução no desenvolvimento de novas folhas e uma significante redução na biomassa (Tester 2008).

Em plantas saudáveis 80% da energia absorvida é transferida para a fotossíntese. Apenas 2-5% representa a fluorescência da clorofila e o restante é dissipado por calor. Durante a etapa fotoquímica, a energia luminosa absorvida excita os elétrons presentes nas moléculas das clorofilas nos fotossistemas I e II para produção de ATP e NADPH, sendo essas moléculas as motrizes da etapa bioquímica da fotossíntese. É nessa fase que ocorre a fixação do CO_2. Esses processos são altamente competitivos, porém a fluorescência da clorofila permite investigar os mecanismos dos quais os tilacoides regulam a utilização da luz absorvida pelo Fotossistema II. Se a eficiência do processo fotoquímico aumenta, origina-se um decréscimo na produção quântica oriunda de processos não fotoquímicos e vice versa (Rohacek, 2008; Gouveia-Neto et al,2012; Silva Jr. et al, 2012).

O teste-JIP, pode ser utilizado para um rápido e eficiente monitoramento do centro receptor de elétrons, assim como a heterogeneidade da rota (pool) , seu tamanho, e os efeitos dos agentes inibidores ou que causam mutações nesse processo. As inflexões representam a heterogeneidade dos processos. A ascensão OJ representa a fase fotoquímica. A inflexão J representa o máximo momentâneo do Qa, talvez pela limitação de aceitação do elétron imposta pelo Qb, e o I reflete a heterogeneidade da rota PQ. Kautsky & Hirsch(1931) em um trabalho pioneiro no tocante a observação do transiente fotoquímico, trouxeram como relevante conclusão que o declínio na curva de fluorescência foi reconhecido como inversamente relacionado com o aumento da taxa de assimilação de CO_2, sugerindo assim que mais energia química é produzida pelos fótons quando menos fluorescência é observada.

A diminuição da concentração de CO_2 na planta acarreta um aumento na resistência difusiva de CO_2 atmosférico para os centros de carboxilação, no mesófilo das folhas, como também a diminuição dos teores dos pigmentos fotossintéticos e inibição do transporte de elétrons. Sendo assim essa redução é considerada a maior causa do decréscimo de fotossíntese em condições de estresse. Devido a diminuição da fotorrespiração, que diz respeito a assimilação do CO_2 pelos produtos do transporte de elétrons, a produção quântica do Fotossistema II é diretamente afetada, permitindo que sob certas condições a detecção da fluorescência torne-se eficiente para promover uma rápida e não destrutiva prova da assimilação de CO_2 (Baker, 2008; Ismail et al., 2014).

Fatores como a Taxa fotossintética e a Condutância estomática são reduzidos devido a diminuição da concentração interna de CO_2. Sendo assim a diminuição da fotossíntese líquida é governada por fatores não estomáticos (Ismail et al., 2104).

Zribi et al. (2009) encontraram alta correlação entre os teores de Na^+ acumulados nas folhas de tomateiro e a diminuição da eficiência quântica quando submetido a diferentes doses de NaCl na água de irrigação.

A diminuição da fotossíntese sob qualquer estresse, é geralmente associada a uma diminuição da demanda de energia (ATP e NADPH), levando a uma redução da utilização da energia luminosa absorvida nos cloroplastos (Ort e Baker, 2002). Quando a energia da luz absorvida excede as exigências da

fixação de CO_2, o excesso de energia pode levar a fotoinibição ou até mesmo causar danos ao aparato fotossintético (Sanda et al., 2011, Wu e Bao, 2011 e Huang et al., 2012).

Quando as folhas ou frutos submetidos a situações de calor ou salinidade são adaptados ao escuro (Srivastava et al., 1997; Strasser., 1997), um passo inicial marcado "K" pode ser visto em torno de 300 µS durante o aumento de transiente OJIP. Em seguida o transiente OJIP se transforma-se no transiente OKJIP. Tem sido relatado que a ocorrência da banda K é atribuível aos danos no lado do doador de FSII, especialmente para o complexo de evolução do oxigénio (Srivastava et al., 1997; Strasser, 1997;. Strasser et al, 2004 e Strasser et al., 2000).

Nesse contexto, objetivou-se com essa pesquisa avaliar a fluorescência da clorofila a e as trocas gasosas em Pimentão cultivado com água de seis níveis de salinidade (0, 1, 3, 5, 7, 9 dS m^{-1}) elaboradas com duas fontes de sais: utilizando somente NaCl e uma mistura de Ca, Mg, K, Na e Cl semelhante a água de um poço de onde coletou-se o solo para realização do experimento. Para atingir esses objetivos foram medidos parâmetros de Fluorescência instantânea (F0), Fluorescência máxima em folhas mantidas em escuro (Fm), Fluorescência variável em folhas mantidas em escuro (Fv) e Eficiência máxima do Fotossistema II (Fv/Fm) aos 33 e 54 dias após o transplantio. Foram analisadas as bandas K e L nos dois períodos, além dos pigmentos fotossintéticos: clorofila a, clorofila b e carotenoides aos 54 DAT. Determinou-se ainda a fotossíntese líquida, condutância estomática, carboxilação instantânea e a transpiração aos 25 dias após o transplantio.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do solo para a montagem do experimento

O solo caracterizado como Neossolo, utilizado no experimento é advindo do município de Pesqueira-PE, Agreste, região semiárida do Nordeste do Brasil localizada na sub-bacia do Rio Ipanema no Estado de Pernambuco entre as coordenadas 8º 34' 17" e 8º 18' 11" de Latitude Sul, e 37º 1' 20" de Longitude Oeste, com altitude média de 613 m. O solo foi coletado na camada de 0-30 cm e transportado para o laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco; foi seco ao ar, 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.

Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA) os cátions Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} e K^{+} trocáveis extraídos por acetato de amônio 1 mol L^{-1}. A condutividade elétrica foi estimada pelo método proposto Richards (1954), onde mediu-se a condutividade elétrica e determinadas as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com $AgNO_3$ e o pH em água (EMBRAPA, 1997). A capacidade de troca de cátions (T) foi determinada pelo método do cátion índice (RICHARDS, 1954). A partir dos resultados obtidos do complexo de troca, foram calculados os valores de soma de bases (SB) e Percentagem de Sódio Trocável (PST).

Tabela 1. Caracterização química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Extrato de Saturação		Complexo Sortivo		Relação (solúveis)	
Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
pH_{es}	8,17	$pH_{(1:2,5)}$	7,70	Na/Ca	1,42
CE (dS m^{-1})	0,99	Ca^{2+}($cmol_c kg^{-1}$)	5,53	Na/Mg	7,09
Ca^{2+}(mmol L^{-1})	19,07	Mg^{2+}($cmol_c$ kg^{-1})	2,22	Na/K	19,31
Mg^{2+}(mmol L^{-1})	3,81	Na^{+}($cmol_c$ kg^{-1})	0,26	Na/Cl	10,24
Na^{+}(mmol L^{-1})	27,04	K^{+}($cmol_c$ kg^{-1})	0,50	Cl/Ca	0,14
K^{+}(mmol L^{-1})	1,40	SB ($cmol_c$ kg^{-1})	8,51	Cl/Mg	0,69
Cl^{-1}(mmol L^{-1})	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

pH_{es}: pH determinado no extrato de saturação; PST: Percentagem de sódio trocável; SB: Soma de Bases.

Para a caracterização física (Tabela 2) foi feita a análise granulométrica na TFSA pelo método do densímetro; a argila dispersa em água e estimativa dos

graus de dispersão e floculação da argila; a densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo método do balão volumétrico; a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente pelo método da curva de retenção de água no solo (EMBRAPA, 1997). A estimativa da porosidade total foi feita utilizando-se os valores de densidades de partícula e do solo.

Tabela 2. Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Areia			Silte	Argila	ADA	Ds	Dp	GF	GD	PT	CC	PMP
Fina	Grossa	Total										
g kg^{-1}						gcm^{-3}		%			g g^{-1}	
312	117	429	422	149	102	1,24	2,52	31	69	50,79	0,23	0,05

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: (1 – ID) *100. CC: Capacidade de campo e PMP: Ponto de murcha permanente

Montagem do experimento e tratamentos a serem realizados

O pimentão foi cultivado em vasos com capacidade para 8 L $^{-1}$, preenchidos com 7kg de solo. Avaliou-se o crescimento por um período de 70 dias em casa de vegetação. O fornecimento de água foi diário utilizando-se de águas com condutividades elétricas de 0, 1, 3, 5, 7, 9 dS m^{-1} (Tabela 3) aplicada com proveta, baseando-se no peso inicial do conjunto vaso + solo úmido a 80% da capacidade de campo. Foram avaliadas duas fontes de sais: uma composta pela mistura de cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloreto, simulando as condições reais de campo e uma fonte de NaCl.

Condução do experimento

Mudas de *Capsicum annuum L. (*Variedade Itamara) foram transplantadas ao completarem a idade de 40 dias após o semeio. As plantas foram conduzidas através de Espaldeira simples com hastes dispostas a formar um renque. O pimentão foi fertilizado baseando-se na recomendação do Manual de Recomendação de Adubação (IPA, 2008). Por ocasião do preenchimento dos vasos foram instalados extratores com cápsula porosa, de onde foi coletada a solução do solo para leitura mensal da osmolalidade, condutividade elétrica e estimativa do potencial osmótico

Tabela 3. Quantidades necessárias de sal (g L^{-1}) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais

CE	Fontes de Agua				
	Cloreto de Sódio	Mistura de Sais			
	NaCl	NaCl	KCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$
0	-	-	-	-	-
1	0,5000	0,3770	0,0020	0,0860	0,1090
3	1,6110	1,1364	0,0071	0,2519	0,3200
5	2,8417	1,8950	0,0134	0,4260	0,5337
7	3,3422	2,9414	0,0170	0,6553	0,8267
9	6,0049	4,1826	0,0211	0,9312	1,1830

O transplantio das mudas foi realizado no dia posterior ao estabelecimento e equilíbrio da umidade requerida em cada vaso. As plantas foram irrigadas inicialmente, com água destilada por um período de 10 dias, realizando-se elevação gradual da condutividade elétrica para evitar choque osmótico nas plantas transplantadas. Durante todo o experimento, a umidade nos vasos foi mantida de forma gravimétrica, mediante pesagens realizadas todos os dias, sempre aos fins de tarde, para possibilitar que o solo durante a noite equilibrasse na umidade desejada, sem que a perda de umidade por evaporação fosse acumulada.

Fluorescência da Clorofila

A fluorescência da clorofila foi determinada com o auxílio de Fluorímetro Modelo Fluorpen FP 100, PSI. As amostras foram previamente adaptadas ao escuro durante 30 minutos, para isso foi acoplada uma pinça isoladora de luz para que toda a área se tornasse oxidada (Baker, 2008), fazendo com que, ao estímulo do instrumento tivesse um valor confiável da máxima taxa de fótons absorvidos pelos receptores (Fernandez-Jaramillo et al, 2012). Esse acompanhamento se deu aos 33 e 54 DAT. Foram avaliados os seguintes parâmetros fotossintéticos: o Transiente Fotossintético (Curva OJIP) Fluorescência inicial (F0), Fluorescência máxima em folhas adaptadas ao escuro

(Fm), Fluorescência variável em folhas adaptadas ao escuro (Fv) e Eficiência máxima do Fotossistema II (Fv/Fm) (Baker, 2008).

Pigmentos fotossintéticos

A extração dos pigmentos fotossintéticos Clorofila *a*, *b* e carotenoides foi realizada nas mesmas folhas utilizadas para a determinação da fluorescência e seguiu procedimentos descritos em Arnon (1949) e a quantificação dos mesmos foi feita segundo Lichtenthaler & Buschmann (2001) aos 54 dias após o transplantio.

Trocas gasosas

Aos 25 DAT foram determinadas a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) concentração interna de CO_2(Ci) e Eficiencia do uso da água (EUA%) utilizando-se do Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo LICOR XT6400).

Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio de análise de variância, ajustes de equações de regressões para os níveis de condutividade elétrica e teste de comparação de médias para comparação das fontes de água utilizando-se do software SAEG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fluorescência da Clorofila

O tipo de sal não foi significativo para os parâmetros da fluorescência da clorofila a (F0, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/F0) aos 33 e 54 DAT. Tais parâmetros não foram significativamente diferentes para as condutividades elétricas (Tabela 4).

Observou-se um aumento dos valores de F0 aos 33 DAT com o aumento da salinidade. Em contrapartida aos 54 DAT os valores de F0 diminuíram com o aumento da salinidade nos tratamentos, como também se mostraram maiores que quando aos 33 DAT (Tabela 3). Informação que também pode ser notada durante a observação dos transientes fotossintéticos nos dois períodos. A Fluorescência Inicial é caracterizada como a mínima fluorescência emitida quando todos os centros de reação, adaptados ao escuro, estão abertos (Gorbe & Calatayud, 2012). Para os valores de F0, Lavergne and Trissl (1995), Rohacek (2002) e Rohacek (2008) afirmam que maiores valores indicam uma maior contribuição da fluorescência no Fotossistema I. Maiores valores de F0 podem estar associados a perda dos centros de reação do Fotossistema II e também a danos no âmbito oxidativo (Baker, 2008), uma vez que eles já estariam indisponíveis para a recepção de energia quântica.

Tabela 4 . Fluorescência Inicial (F0), Fluorescência Variável (Fv), Fluorescência Máxima (Fm) Eficiencia da degradação da molécula da água do lado doador do FSII (Fv/F0), Máxima Eficiência quântica (Fv/Fm); Area da curva entre F0 e Fm (Area) aos 33 e 54 DAT em diferentes CE's

CE (dS m^{-1})	Variáveis Fotossintéticas											
	Fo				Fv				Fm			
	33 DAT		54 DAT		33 DAT		54 DAT		33 DAT		54 DAT	
0	5751,54	A	7417,833	A	17830,88	A	16226	A	23582,42	A	21773,17	A
1	5866,46	A	7626,25	A	21018,04	A	18024,83	A	26884,5	A	23942,83	A
3	5876,5	A	6502,667	B	18376	A	17270	A	24252,5	A	22898,33	A
5	5870,25	A	7347	A	18813,75	A	17557,5	A	24684	A	22971	A
7	5579,38	A	6298,833	B	17474,38	A	17750,92	A	23053,75	A	23839,83	A
9	6061,38	A	6865,25	A	15646,08	A	19795,67	A	21707,46	A	25751,67	A
CE (dS m^{-1})	Fv/Fo				Fv/Fm				Area			
	33 DAT		54 DAT		33 DAT		54 DAT		33 DAT		54 DAT	
0	3,100	A	2,187	A	0,756	A	0,745	A	8441443	A	7631871,7	A
1	3,583	A	2,364	A	0,782	A	0,753	A	9006503	A	7727396,3	A
3	3,127	A	2,656	A	0,758	A	0,754	A	9047987	A	7593435	A
5	3,205	A	2,390	A	0,762	A	0,764	A	8666720	A	7461776	A
7	3,132	A	2,818	A	0,758	A	0,745	A	7729632	B	7636686,7	A
9	2,581	B	2,883	A	0,721	A	0,769	A	6960219	B	8026294,4	A

Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Não houve diferença significativa entre os valores de Fv para nenhuma das determinações. Porém é perceptível uma redução nos valores de Fv para as plantas que receberam soluções de 0, 1, 3 e 5 dS m^{-1} quando comparadas os valores dos tratamentos entre as duas determinações. A Fluorescência Variável (Fv) indica a capacidade da planta transferir a energia dos elétrons ejetados das moléculas dos pigmentos para a formação do redutor NADPH, ATP e Fdr e, consequentemente, maior capacidade de assimilação do CO_2 na fase bioquímica da fotossíntese (ROHACEK, 2002; BAKER, 2008). Pode-se inferir que houve uma perda dessa capacidade ao longo do tempo com a imposição da salinidade em Pimentão.

Para a Fluorescência Máxima (Fm) que se caracteriza como o máximo valor obtido durante a aplicação do pulso de luz saturante, observa-se que não

houve diferença significativa entre os valores de Fm entre os tratamentos para os dois períodos. Percebe-se uma proximidade dos valores de Fm aos 33 DAT. Entretanto aos 54 DAT os valores tendem a aumentar a medida que a salinidade é aumentada. É notável a redução desses valores ao longo do tempo entre os tratamentos exceto nas CE's 7 e 9 dS m^{-1}.É interessante perceber a correlação inversamente proporcional, da queda dos valores de Clorofila *a* (dados apresentados posteriormente) com o aumento dos valores de Fm entre os tratamentos aos 54 DAT Maiores valores de Fm, acompanhados de baixos valores de F0 originam uma Area maior, ou seja, um maior número de elétrons percorrendo a cadeia transportadora de elétrons, ou seja maior atividade dos Centros de Reação do Fotossistema II.

A menor eficiência da degradação da molécula da água do lado doador do FSII (Fv/F0) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos salinos, exceto na CE 9 dS m^{-1}, que apresentou o menor valor da relação[1] aos 33 DAT. Aos 54 DAT não houve diferença significativa entre os valores de Fv/F0, porém através da Tabela 3, pode-se perceber que a CE 9 dS $m-^{1}$, apresentou o maior valor desta relação. Isso indica uma adaptação a condição salina ao longo do tempo.

Com relação a relação Fv/Fm, que expressa a máxima eficiência quântica, os resultados obtidos aos 54 DAT, o maior valor foi encontrado na CE de 9 dS m^{-1} e o menor na de 7 dS m^{-1}. Nenhum dos tratamentos apresentou diferença significativa ao 5% de probabilidade. Porém todos os tratamentos sem exceção se mostram em situações sob estresse, uma vez que valores abaixo de 0,83 são indicativos de folhas estressadas (Baker, 2008; Bjorkman e Demming, 1987). Campos et al 2014, submeteram *Capsicum annuum* a condições de déficit hídrico gradativo, dos 40%(grupo controle) aos 20% (estresse médio) ou 5% (estresse severo) da umidade na base do volume. Os autores reportam uma baixa influência do estresse na máxima eficiência quântica do Pimentão, porém as plantas mostraram-se em situação de estresse, visto que apresentaram valores por volta de 0,62.

A Razão Fv/Fm corrobora as quedas entre os pigmentos fotossintéticos mostrando os efeitos do estresse salino, onde no caso do Pimentão o Estresse

salino provocou um aumento na fluorescência máxima, porém os valores de Fv não tiveram o mesmo crescimento proporcional, fazendo assim que houvesse uma diminuição dos valores da Relação Fv/Fm (Tabelas 4 e 5). Valores de Fv/Fm próximos de 1 indicam uma maior eficiência.

Analisando os transientes fotossintéticos (Figuras 3), pode-se observar que nas duas situações (33 DAT e 54 DAT) as plantas submetidas ao estresse de 9 dS m^{-1} já demonstravam menor intensidade de fluorescência. Deve-se ressaltar que quando analisados individualmente para CE, os transientes demonstram que o período de exposição das plantas ao estresse salino acarretou um aumento da intensidade de fluorescência para todos os tratamentos exceto para o grupo controle. Isso demonstra um comprometimento do fotossistema no carreamento de elétrons para a fase fotoquímica da fotossíntese, acarretado pela exposição aos sais. O aumento nos valores de F0 nas determinações ao longo do tempo, o aumento dos valores de Fm e a diminuição da eficiência fotossintética, demonstrada pela relação Fv/Fm, indica uma degradação do fotossistema II, pela ação dos sais presentes na solução do solo.

O transiente fotossintético polifásico da Clorofila *a* foi determinado em prol de avaliar os efeitos do estresse salino na eficiência fotossintética do fotossistema II. A curva OJIP representa uma sucessiva redução do transporte de elétrons do Fotossistema II (Figura 3).

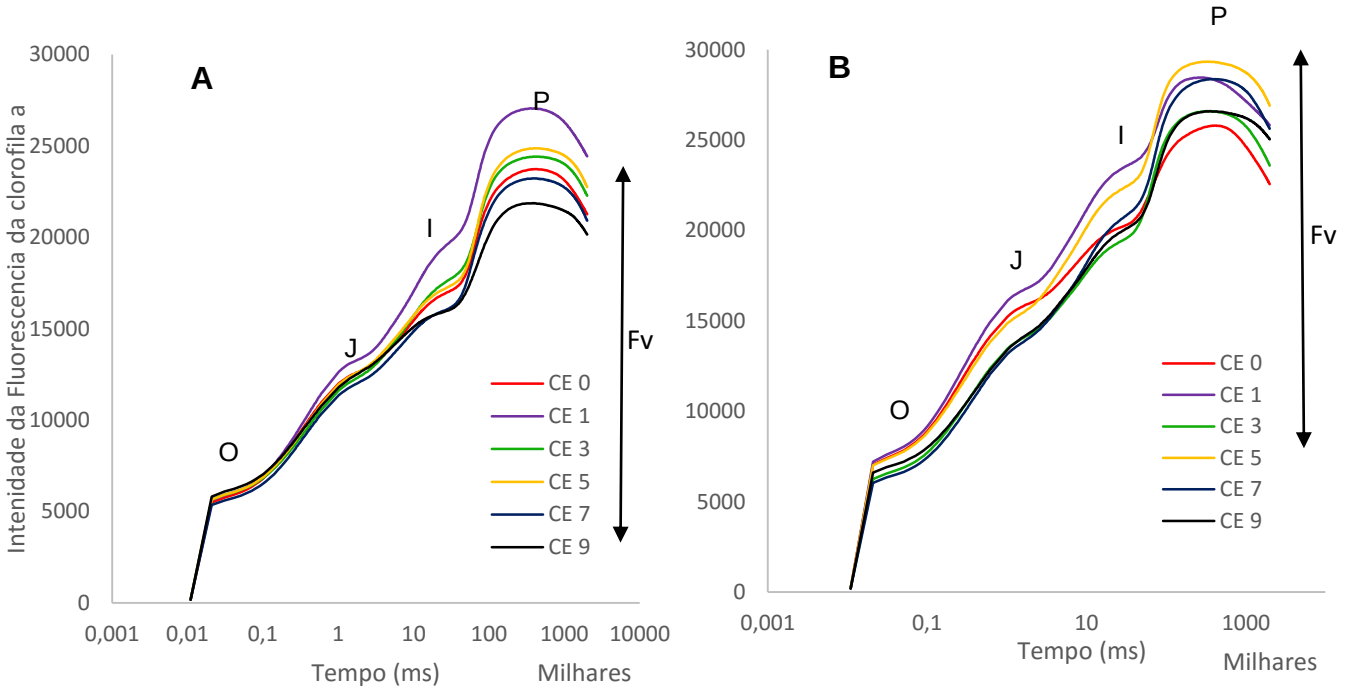


Figura. 3 Transiente fotossintético (Curva OJIP), realizado em folhas de Pimentão aos 33 DAT (A) e 54 DAT (B) submetidos a diferentes CE's.

Banda K

Não é possível visualizar nenhum efeito sobre VOJ observando apenas a figuras 3, porém com a normalização destas curvas pode-se observar a existência da banda K, que quando positiva reflete uma inativação do complexo de evolução de oxigênio e, ou, aumento do tamanho do complexo antena no fotossistema II (YUSUF et al. 2010). Nenhum dos tratamentos apresenta a banda K, exceto para 1 dS $^{-1}$ que apresenta o fenômeno de forma incipiente, indicando um princípio de resposta ao estresse salino (Figura 4). Já na Figura 5, percebe-se a apresentação da banda K em todos os tratamentos, porém de forma menos acentuada em 1 dS $^{-1}$. Isso pode ser atribuído ao efeito deletério dos sais ao longo do desenvolvimento do Pimentão, impedindo um eficiente aproveitamento da luz, dando origem a espécies reativas de oxigênio.

Campos et al 2014, ao submeteram Pimentão a condições de déficit hídrico gradativo. Observaram uma crescente acentuação da banda K, à medida

que o estresse atuava. Após o retorno da umidade a capacidade de campo a banda K foi gradativamente se tornando semelhante ao grupo controle,

Três variedades de Cevada (*Hordeum vulgare* L) foram submetidas a estresse hídrico por Oukarroum et al (2007). As variedades tiveram sua irrigação suspensa uma (estresse moderado) e duas semanas (estresse severo) após duas semanas de desenvolvimento. Após esse período a irrigação foi retomada por uma semana e as plantas reavaliadas. Os autores detectaram uma acentuação da banda K durante ao fim do período de estresse para todas as variedades e tratamentos. Após o retorno da irrigação a banda K se mostrou próxima ao grupo controle.

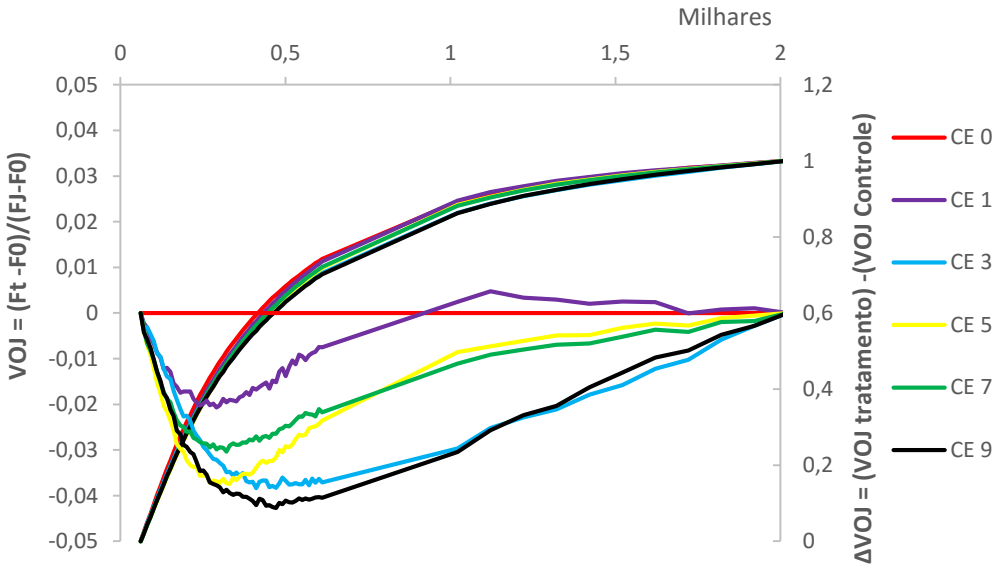


Figura 4 Fluorescência variável relativa [VOJ = (Ft - F0)/(FJ - F0)] e diferença cinética de [ΔVOJ = (VOJ tratamento) – (VOI controle] em plantas de Pimentão aos 33 DAT submetidas a salinidade.

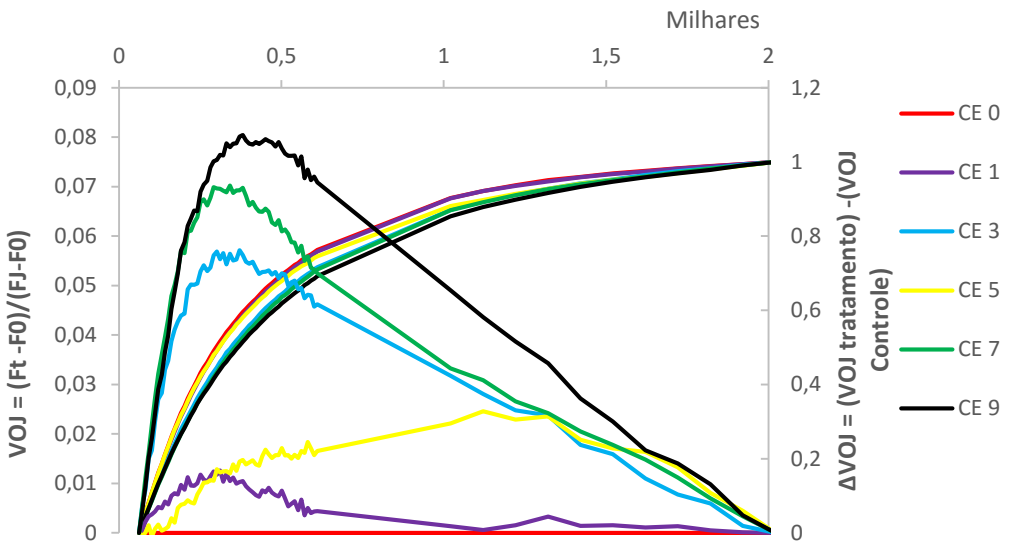


Figura 5. *Fluorescência variável relativa [VOJ = (Ft - F0)/(FJ - F0)] e diferença cinética de [ΔVOJ = (VOJ tratamento) – (VOI controle] em plantas de Pimentão aos 54 DAT submetidas a salinidade.*

Banda L

A banda L é um indicador de condutividade energética das unidades do FSII. Quanto maior o valor positivo da banda L, menor a conectividade entre as unidades do FSII, refletindo o fato de que quanto menor a conectividade, menor a estabilidade do sistema e a utilização da energia de excitação (STRASSER et al., 2004). Nas determinações realizadas aos 33 DAT (Figura 6) percebe-se que apenas a CE 3 dS m^{-1} apresentou banda L positiva. Já aos 54 DAT (Figura 7) apenas a CE 5 dS m^{-1} apresentou banda L positiva. Demonstra-se que ao longo do tempo o Pimentão, sob estresse salino, foi capaz de manter a capacidade de condutividade energética na fase inicial da clorofila. Sendo assim, pode-se inferir que em Pimentão, os sais influenciam sobremaneira na condutividade energética do Fotossistema II.

Campos et al, também encontraram uma Banda L mais pronunciada e com maior amplitude em relação ao grupo controle, ao submeter Pimentão a déficit hídrico.

Oukarroum et al (2007), ao submeterem diferentes variedades de cevada a dois períodos de suspensão de irrigação, encontraram uma banda L mais ampla, nos tratamentos estressados, quando comparadas ao tratamento

controle. Após o retorno da irrigação a banda L mostrou-se mais semelhante ao grupo controle.

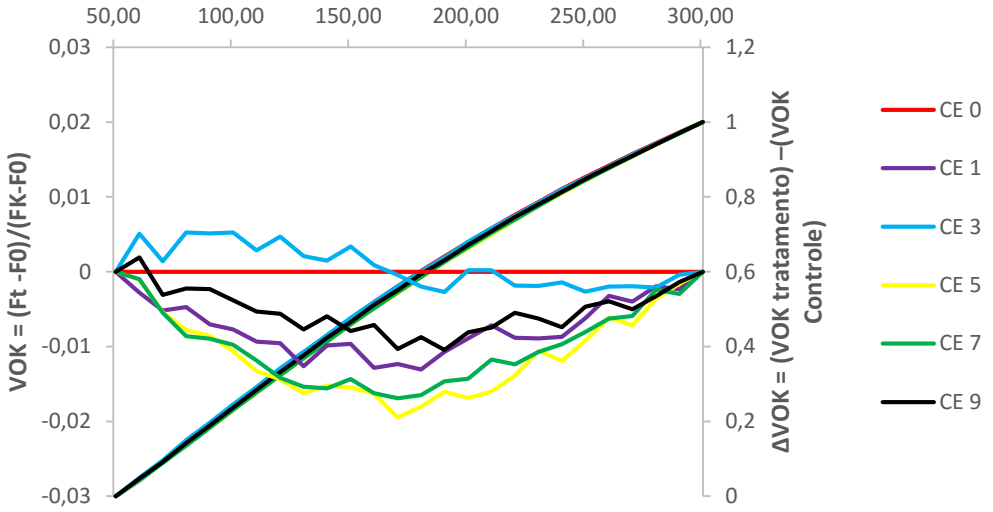


Figura 6. Fluorescência variável relativa [VOK = (Ft - FO) / (FK - FO)] e diferença cinética de VOK [ΔVOK = (VOK tratamento) – (VOK controle] em plantas de pimentão aos 33 DAT irrigado com soluções salinas

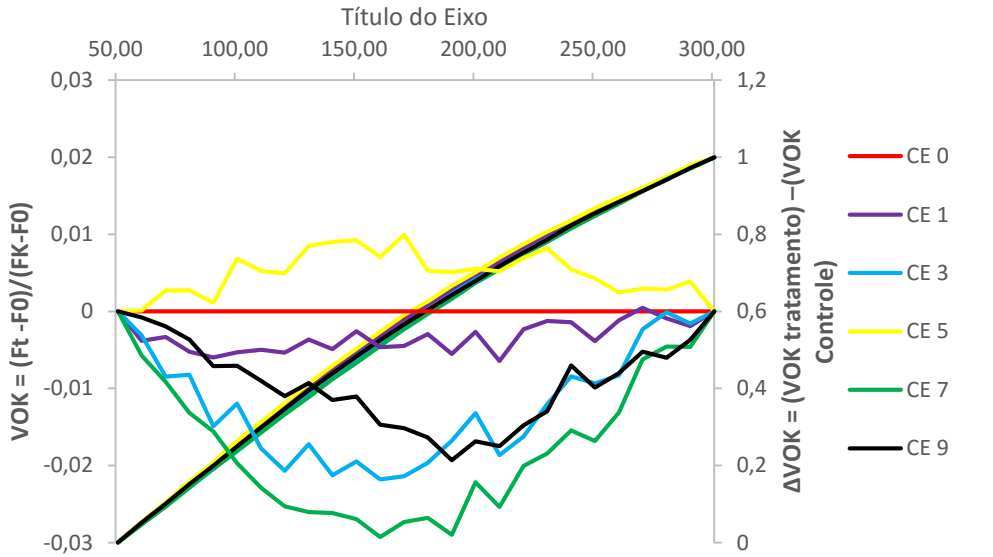


Figura 7. Fluorescência variável relativa [VOK = (Ft - FO) / (FK - FO)] e diferença cinética de VOK [ΔVOK = (VOK tratamento) – (VOK controle] em plantas de pimentão aos 54 DAT irrigado com soluções salinas

Pigmentos Fotossintéticos

Os teores dos pigmentos fotossintéticos em *Capsicum annuum* não diferiram significativamente no tocante as fontes de sais empregadas para confecção das soluções salinas. Sendo as diferenças constatadas apenas no

que diz respeito às condutividades elétricas. Com o aumento das CE's os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides nos tratamentos decaíram (Figura 13), em concordância com Parida & Das (2004), que afirmam que esse efeito deletério é provocado pelo stress via NaCl.

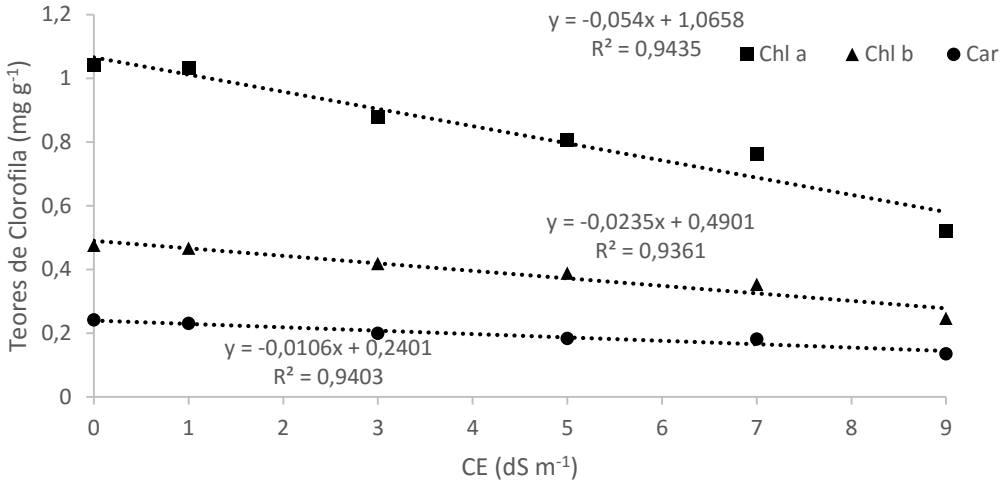


Figura 8. Valores médios dos Teores de clorofila *a, b* e *carotenoides* em diferentes CE's, Cada valor é uma média de quatro valores

Os teores de Clorofila a diminuíram com o aumento da concentração dos sais nas soluções de irrigação. Os teores de Clorofila b, foram reduzidos à medida que a salinidade era acentuada, porém de forma menos acentuada que a clorofila *a*. Houimili et al (2010) ao investigar a ação do fitohormonio 24-epibrassinoilida, na atenuação do estresse salino em pimentão provocado por de NaCl 4 g L^{-1} (~6,5 dS m^{-1}), encontraram valores de 1,03 e 0,86 mg/g de Clorofila *a* para o grupo controle e o afetado por NaCl, respectivamente. Valores de 0,717 e 0,419 mg/g de Clorofila *b* foram encontrados para os tratamentos grupos controle e NaCl, respectivamente.

Zhani et al. (2012) ao comparar as respostas de diferentes variedades de Pimentão Verde, a irrigação com águas de 0 a 12 g L^{-1} de NaCl encontraram valores de Clorofila *a* que variaram de 21,5 a 10,92 mg g^{-1} no tratamento controle a 2,5 e 1,1 no tratamento de 12 g L^{-1} de NaCl. Para Clorofila *b* os mesmos autores encontraram valores de 1,4 a 3,6 mg g^{-1} no grupo controle e 0,42 a 0,11 mg g^{-1} para o nível mais alto. No tocante a relação Clor a/b tem-se uma diminuição dos valores a partir das plantas expostas a condutividade elétrica de 3 dS m^{-1}

demonstrando que houve uma maior redução nos valores de Clor *a* que os de Clor *b.* Este comportamento também foi observado por Houimili et al. (2010), que justificaram com uma inibição da biossíntese de Clor *a* provocada pelo estresse salino.

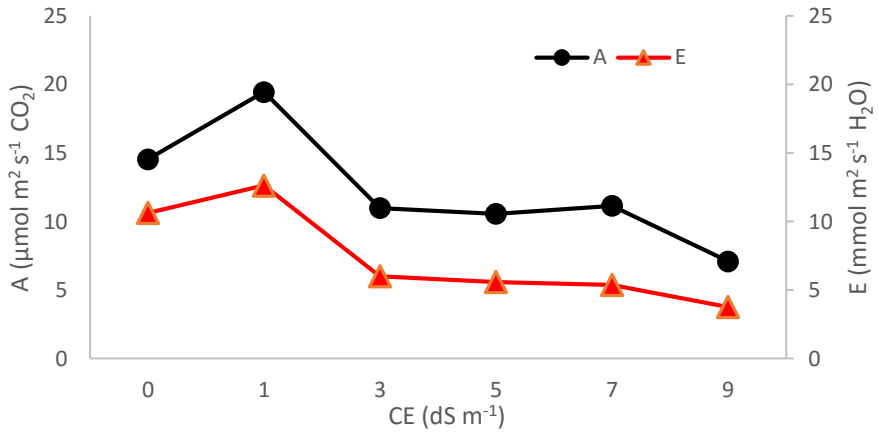
Ainda em relação à Figura 8, os carotenoides decaíram com o aumento da salinidade, porém de forma menos acentuada que as curvas resultantes dos outros pigmentos. Ziaf et al. (2009) que avaliaram a resposta de 3 variedades de pimentão submetidos a CE's de 2 (controle), 4, 6 e 8 dS m^{-1} encontraram uma degradação dos pigmentos fotossintéticos, exceto para a CE 6 dS m^{-1} a qual houve um aumento desses pigmentos, provavelmente devido ao *Capsicum annuum* ter a capacidade de excluir os íons Na^+ (Lycoskoufis et al., 2005).

No presente estudo este fato pode explicar a diminuição menos expressiva dos teores de carotenoides que, funcionando como antioxidantes, podem ter atenuado os efeitos das espécies reativas de oxigênio, atuando como fotoprotetores, convertendo o oxigênio singleto em oxigênio tripleto (forma menos reativa), mantendo-se excitados. Ao retornarem ao seu estado fundamental esses pigmentos liberam calor. (Ziaf et al., 2009; Ashraf & Harris, 2013).

Trocas Gasosas

Fotossíntese líquida e transpiração

A fotossíntese líquida (A) e a transpiração (E) tiveram serus valores elevados até é o tratamento com água de 1 dS m^{-1} e reduzidas a partir deste



(Figura 9).

Figura 9. Taxa de fotossíntese líquida (A) e taxa de transpiração (E) de folhas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) aos 25 dias após transplantio

Acréscimos na taxa fotossintética e na transpiração em condições de estresse moderado, como para as plantas de pimentão submetidas a CE de 1,0 dS m^{-1} da solução de irrigação, podem representar um mecanismo adaptativo dessa espécie ou variedade para se desenvolver em ambiente salinizado, ou a planta pode ter se beneficiado dos elementos como Ca e Mg fornecidos via a água de irrigação com mistura de sais, esse fato foi constatado por Ayers & Westcot (1991). Eles observaram que o crescimento e a produtividade do pimentão não são afetados para níveis de salinidade de até 1,5 dS m^{-1}

Panella et al. (2015) ao investigarem o efeito da enxertia em Pimentão e sua tolerância à salinidade, compararam situações de campo, com problemas de salinidade no solo e na água; de casa de vegetação, com sistema hidropônico onde ocorria a adição de solução nutritiva salina, com concentração final de 40 mM de NaCl. Os autores identificaram uma redução da taxa fotossintética em resposta a salinidade, quando comparados ao controle.

Condutância Estomática

Um acréscimo da condutância estomática (gs) foi observado para o tratamento que recebeu a solução de irrigação de 1 dS m^{-1}, seguido de sucessivas reduções à medida que houve o aumento da salinidade (Figura 15), demonstrando que o efeito da salinidade sobre as trocas gasosas em plantas de pimentão é regulado pela abertura do poro estomático. A diminuição da concentração de CO_2 na planta, aumenta a resistência de difusão do CO_2 no mesófilo, uma redução no Fotossistema II e diminuição dos teores dos pigmentos fotossintéticos como também inibição do transporte de elétrons interna de CO_2 (Ismail et al, 2014).

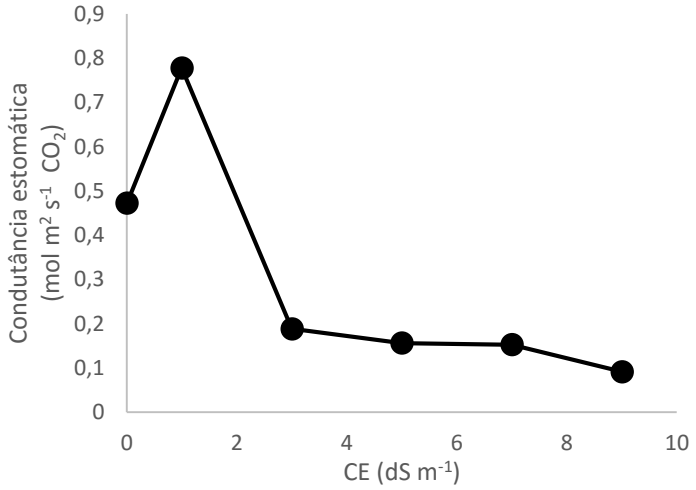


Figura 10. Condutância estomática de folhas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) aos 25 dias após transplantio.

Para uma CE de 1,0 dS m^{-1}, a absorção inicial de íons presentes na solução, provavelmente, contribuiu para o aumento da pressão de turgor foliar e consequentemente na abertura estomática, como observado a partir do aumento da condutância estomática. Carbanero et al (2004) concluíram que Pimentões submetidos a soluções salinas compostas de NaCl tem suas condutâncias estomáticas diminuídas. Esse efeito foi atenuado em soluções onde o $CaCl_2$ foi adicionada, comprovando o efeito do Ca na saúde estrutural da célula vegetal. O autor ainda discute que o cálcio tem um importante efeito na ativação da proteína quinase, que regula a abertura e fechamento das aquaporinas. Carbañero e Carvajal (2007), ao investigar a influência da ausência os íons Ca^+, Mg, e K^+, comparando com soluções salinas com concentrações de 10 e 100 mM de NaCl, concluíram que as duas soluções salinas acarretaram uma redução na condutância estomática do Pimentão, sendo essa g_s recuperada quando a adição da solução salina foi suspensa, adicionando-se solução nutritiva de Hoagland. Panella et al (2015) não encontraram diferenças da condutância estomática entre os tratamentos (enxertados e controle não enxertado), porém a salinidade acarretou uma diminuição deste parâmetro ao longo do tempo.

Para valores de CE superiores a 3,0 dS m^{-1}, foi observada a redução significativa da gs, sendo provavelmente uma resposta ao estresse salino em nível mais severo, quando as plantas não conseguem se ajustar osmoticamente

para absorver água e ativam o fechamento estomático de forma a limitar perdas de água por transpiração. Nessa ocasião, também ocorre restrições na absorção de CO_2, justificando a redução da Ci, e, consequentemente, proporciona a redução da atividade fotossintética. Comportamentos semelhantes foram observados em pinhão manso (Sousa et al., 2012), videira (Viana et al., 2001), feijão (Souza et al. 2011) quando submetidas a níveis elevados de estresse salino.

Concentração interna CO_2 e eficiência de carboxilação instantânea

A partir de 3 dS m^{-1}, a redução da abertura estomática limitou a entrada de CO_2 para dentro da folha, o que proporcionou a diminuição da sua concentração interna (Ci) com o aumento da salinidade (Figura. 11). Correlações entre gs e A também foram constatadas por Lima et al. (2003), os quais observaram que a fotossíntese é reduzida à medida que ocorre o fechamento dos estômatos.

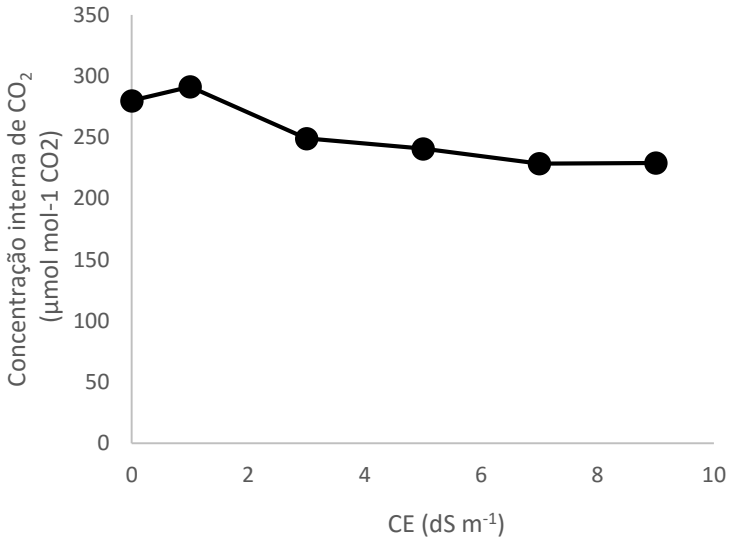


Figura 11. Concentração intercelular de CO_2 de folhas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) aos 25 dias após transplantio.

Pode-se perceber que o incremento da salinidade promoveu uma redução na concentração interna (Ci) de CO_2 e na caboxilação instantânea (A_n/Ci) do Pimentão, quando comparados ao grupo controle, promovido provavelmente pela redução da condutância estomática (Fig 17)

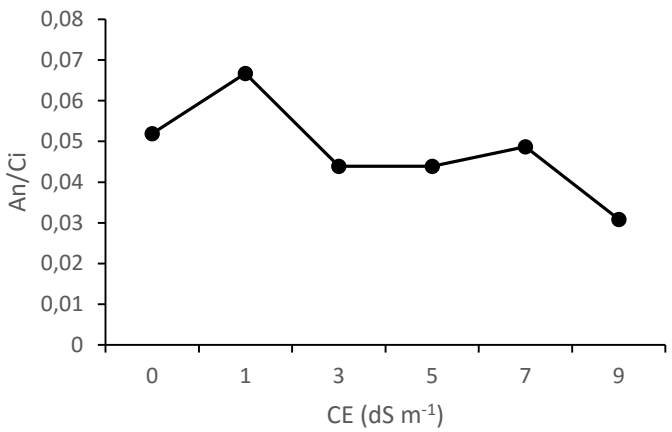


Figura 12. Carboxilação instantânea de CO_2 de folhas de pimentão (*Capsicum annuum* L. var Itamara) aos 25 dias após transplantio

Lycoscoufis et al (2005), ao comparar a ação de soluções de NaCl de 8 dS m^{-1} imposta a metade do sistema radicular com soluções salinas de CE moderada (1,9 dS m^{-1}), perceberam uma redução gradativa da taxa de assimilação de CO_2 ao longo do experimento, como também inicialmente uma redução na concentração intercelular de CO_2 e por conseguinte uma diminuição da carboxilação instantânea de CO_2.

Panella et al (2015) observaram que a fixação de CO_2 não diferiu do grupo controle aos 14 DAT e aos 28 DAT exceto por uma das combinações. Porém apresentaram diferenças significativas quando comparados ao longo do tempo. Os autores sugerem que o estresse salino afeta a fotossíntese devido a promoção de limitações metabólicas, provavelmente associadas com a redução da atividade da rubisco carboxilase

Eficiência do uso da água

Observa-se uma tendência ao aumento da eficiência do uso da água à medida que a salinidade é aumentada (Figura 13).

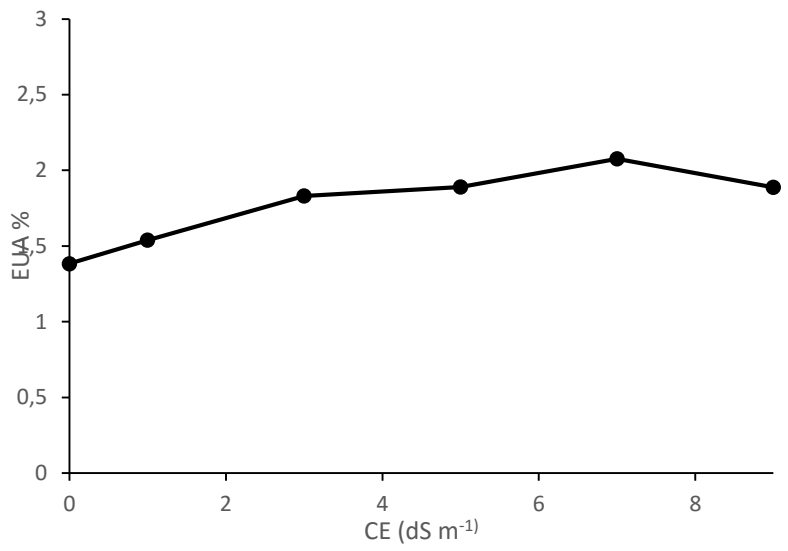


Figura 13. Eficiência do uso da água (%) de pimentão (*Capsicum annuum* L.) aos 25 dias após transplantio

Esses valores se mostram coerentes com os encontrados por Pascale et al (2003), onde o Pimentão submetido a condições não salinas (0,5 dS m^{-1}) e moderadamente salinas (4,4 dS m^{-1}), apresentaram valores mais baixos do que os pimentões submetidos ao estresse hídrico e condições salinas mais elevadas (8,5 dS m^{-1}). Essa resposta pode ser atribuída ao estimulo da salinidade no desenvolvimento de estratégias de tolerância as condições salinas como a suculência [Longstreth and Nobel, (1979) apud. Licoskoufys et al (2005)]

Efeitos negativos sobre as trocas gasosas trazem prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas a exemplo do importante papel desempenhado pela fotossíntese na produção da energia química necessária para o funcionamento do metabolismo vegetal, principalmente sobre condições de estresse.

Os resultados positivos, das trocas gasosas em pimentão encontrados na CE 1 dS m^{-1} pode representar um incremento de energia necessário para manutenção do metabolismo, ativando mecanismos de tolerância à salinidade, como ajustamento osmótico, compartimentalização de íons tóxicos e acumulação de solutos orgânicos compatíveis (Munns & Tester, 2008). Esse resultado se mostra em concordância com os índices de produção de biomassa apresentados no primeiro capitulo deste trabalho, onde as plantas que foram

submetidas a águas salinas de CE 1 dS m^{-1}, apresentaram os melhores rendimentos, superando inclusive o grupo controle.

CONCLUSÕES

1. Com relação aos parâmetros fotossintéticos, pode-se perceber que ao longo do tempo a planta se mostrou numa situação de acumulação de estresse, devido à elevação dos valores de F0 e diminuição dos valores da razão Fv/Fm. Esses valores em situações normais devem estar em torno de 0,83, logo conclui-se que as plantas de pimentão já se encontravam em situações de estresse

2. Na análise dos transientes fotossintéticos teve-se uma visível diferença entre os tratamentos. Os transientes se mostraram mais elevados que o grupo controle, possivelmente devido à alta competição dos fenômenos de utilização da luz, sendo a dissipação luminosa pela fluorescência da clorofila, a estratégia utilizada para se ver livre da energia assimilada, não servindo para o processo fotossintético. A estabilidade dos níveis de carotenóides, explicam a capacidade do Pimentão realizar essa estratégia de fotoproteção. As bandas K e L mostraram o efeito deletério dos sais ao longo do tempo, indicando a formação de espécies reativas de oxigênio, como também a perda da condutividade energética do FSII.

3. A Fluorescência da clorofila se mostra como uma interessante ferramenta na sinalização da salinidade, porém é imprescindível que se alie a outras ferramentas, como as trocas gasosas e a avaliação dos pigmentos fotossintéticos.

4. Os teores de Clorofila *a, b* e Carotenoides não diferiram significativamente no tocante a fonte de sal utilizada na confecção das soluções salinas, porém sofreram reduções com o aumento da salinidade da água.

5. No tocante as trocas gasosas do Pimentão Itamara, pode-se perceber uma elevação nas variáveis de Taxa fotossintética, Transpiração, condutância estomática, e concentração Intercelular de CO_2, na condição da CE 1 dS m^{-1}. A partir daí houve uma diminuição dessas variáveis com o aumento da salinidade.

ANEXO ÚNICO

Parâmetros Utilizados na análise de Fluorescência da clorofila e do teste OJIP

SIGLA	DEFINIÇÃO	OBTENÇÃO MATEMÁTICA
	Parâmetros obtidos através do transiente OJIP	
Fo	F50µs, Intensidade de fluorescência aos 50µs	
Fj	Intensidade de Fluorescência ao Ponto J (aos 2ms)	
Fm	Máxima Intensidade de Fluorescência	
Fv	Fluorescência Variável	Fm-F0
Fv/Fm	Valor relacionado a máxima eficiência quântica do PSII	
Vj	Fluorescência Variável relativa ao tempo J	(F2ms - F0) /(Fm-F0)
Area	Área entre F0 e Fm (Reflete o tamanho do Pool da Plastoquinona)	
Sm	Representa a energia necessária para o Fechamento de todos os centros de reação	Area/(Fm-F0)
N	Este valor indica quantas vezes a Quinona A é reduzida enquanto a fluorescência atinge seu máximo valor	Sm*M0*(I/Vj)
O-J-I-P	Transiente Fotossintético definido pelo nome de seus estágios intermediários (O é para Origem; P é para Ápice, do inglês "Peak"; J e I são estágios intermediários	
	Parâmetros de Eficiência Quântica	
φPo ou TR0/ABS	Máximo rendimento quântico para a fotoquímica inicial	(I-F0)/Fm ou Fv/Fm
φDo	Rendimento quântico em Dissipação Térmica	
φEo ou ET0/ABS	Rendimento quântico no transporte de elétrons	(I-F0/Fm)*Ψ0
Ψ0 ou ET0/TR0	Máximo rendimento quântico para o transporte de elétrons	I-Vj
	Parâmetros de Fluxo Específico	
RC	Centro de Reação	
ABS	Fluxo de Absorção	
PI ABS	Índice de Performance	(RC/ABS) x(φPo/(1-φPo)) x(Ψ0/(1-Ψ0))
ABS/RC	Fluxo de absorção luminosa por Centro de Reação	M0*(I/Vj)*(I/φPo)
TR0/RC		M0*(I/Vj)
ET0/RC		Mo*(I/Vj)*Ψ0
DI0/RC		(ABS/RC)-(TR0/RC)

Adaptado de Misra et al., 2012; Kalaji et al., 2010 e Strasser et al., 2000

REFERENCIAS

AYERS, R.S., WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29)

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.

BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B.. Photon yield of O2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v. 170, n. 4, p. 489-504, 1987.

CABAÑERO, F. J.; CARVAJAL, M. Different cation stresses affect specifically osmotic root hydraulic conductance, involving aquaporins, ATPase and xylem loading of ions in *Capsicum annuum*, L. plants**. Journal of plant physiology**, v. 164, n. 10, p. 1300-1310, 2007.

CABAÑERO, FRANCISCO J. MARTÍ, V.; CARVAJAL, M. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it water flux which determines calcium uptake?. **Plant Science**, v. 166, n. 2, p. 443-450, 2004.

CAMPOS, H., TREJO, C., PEÑA-VALDIVIA, C. B., GARCÍA-NAVA, R., CONDE-MARTÍNEZ, F. V., & CRUZ-ORTEGA, M. R. Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (Capsicum annuum L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 98, p. 56-64, 2014.

DE SOUZA, E. R; DOS SANTOS FREIRE, M. B. G.; DA CUNHA, K. P. V.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; RUIZ, H. A.; LINS, C. M. 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.

EMBRAPA, Manual de Métodos e Análises de Solos, SNLCS, 1997

FERNANDEZ-JARAMILLO, A. A. DUARTE-GALVAN, C.; CONTRERAS-MEDINA, L. M.; TORRES-PACHECO, I.; ROMERO-TRONCOSO, R. D. J.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; MILLAN-ALMARAZ, J. R. Instrumentation in Developing Chlorophyll Fluorescence Biosensing: A Review. **Sensors**, v. 12, n. 9, p. 11853-11869, 2012.

GORBE, E.; CALATAYUD, A. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 138, p. 24-35, 2012.

HÁK, R.; LICHTENTHALER, H. K.; RINDERLE, U. Decrease of the chlorophyll fluorescence ratio F690/F730 during greening and development of leaves. **Radiation and environmental biophysics**, v. 29, n. 4, p. 329-336, 1990.

HOUIMLI, S. I. M.; DENDEN, M.; MOUHANDES, B. D. Effects of 24-epibrassinolide on growth, chlorophyll, electrolyte leakage and proline by pepper plants under NaCl-stress. **EurAsia Journal of BioSciences**, v. 4, p. 96-104, 2010.

HUANG, W.; YANG, S. J.; ZHANG, S. B.; ZHANG, J. L.; CAO, K. F. Cyclic electron flow plays an important role in photoprotection for the resurrection plant Paraboea rufescens under drought stress. **Planta**, v. 235, n. 4, p. 819-828, 2012.

ISMAIL, I. M.; BASAHI, J. M.; HASSAN, I. A. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of pea (Pisum sativum L.) plants in response to ambient ozone at a rural site in Egypt. **Science of the Total Environment**, v. 497, p. 585-593, 2014.

KAUTSKY, H.; HIRSCH, A. Neue versuche zur kohlensäureassimilation. **Naturwissenschaften**, v. 19, n. 48, p. 964-964, 1931.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Extraction of Phtosynthetic Tissues: Chlorophylls and Carotenoids. **Current protocols in food analytical chemistry**, 2001.

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of Eucalyptus species to elevated CO2 concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003.LYCOSKOUFIS, I. H.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology,** v. 59, p. 651-681, 2008.

SAVVAS, D.; MAVROGIANOPOULOS, G. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 2, p. 147-161, 2005.

OUKARROUM, A., EL MADIDI, S., SCHANSKER, G., & STRASSER, R. J.. Probing the responses of barley cultivars (Hordeum vulgare L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 3, p. 438-446, 200

ORT, D. R.; BAKER, N. R. A photoprotective role for O_2 as an alternative electron sink in photosynthesis?. **Current opinion in plant biology**, v. 5, n. 3, p. 193-198, 2002.

PENELLA, C.; NEBAUER, S. G.; QUIÑONES, A.; SAN BAUTISTA, A.; LÓPEZ-GALARZA, S.; CALATAYUD, A. Some rootstocks improve pepper tolerance to mild salinity through ionic regulation. **Plant Science**, v. 230, p. 12-22, 2015.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Soil Science**, v. 78, n. 2, p. 154, 1954.

ROHÁČEK, K.; SOUKUPOVÁ, J.; BARTÁK, M. Chlorophyll fluorescence: a wonderful tool to study plant physiology and plant stress. **Plant Cell**

Compartments-Selected Topics. Research Signpost, Kerala, India, p. 41-104, 2008.

ROHÁČEK, Karel. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 1, p. 13-29, 2002.

ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current opinion in biotechnology**, v. 26, p. 115-124, 2014.

SANDA, S.; YOSHIDA, K.; KUWANO, M.; KAWAMURA, T.; MUNEKAGE, Y. N.; AKASHI, K.; YOKOTA, A. Responses of the photosynthetic electron transport system to excess light energy caused by water deficit in wild watermelon. **Physiologia plantarum**, v. 142, n. 3, p. 247-264, 2011.

SILVA JR, E. A.; GOUVEIA-NETO, A. S.; OLIVEIRA, R. A.; MOURA, D. S.; CUNHA, P. C.; COSTA, E. B.; CÂMARA, T. J. R.; WILLADINO, L. G. Water deficit and salt stress diagnosis through LED induced chlorophyll fluorescence analysis in Jatropha curcas L. **Journal of fluorescence,** v. 22, n. 2, p. 623-630, 2012.

SOUSA, G. D.; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. D. A.; AZEVEDO, B. D. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 237-245, 2012.Viana et al., 2001

SRIVASTAVA, A., GUISSÉ, B., GREPPIN, H., & STRASSER, R. J.. Regulation of antenna structure and electron transport in photosystem II of Pisum sativum under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1320, n. 1, p. 95-106, 1997.

STIRBET, A.; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient**. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.104, p. 236–257, 2011

STRASSER, B. J. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients. **Photosynthesis Research**, v. 52, n. 2, p. 147-155, 1997.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. **Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation,** p. 445-483, 2000.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. **Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient**. Springer Netherlands, 2004.

SUBRAMANYAM, K.; SAILAJA, K. V.; SUBRAMANYAM, K..; RAO, D. M.; LAKSHMIDEVI, K. Ectopic expression of an osmotin gene leads to enhanced salt tolerance in transgenic chilli pepper (Capsicum annum L.). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 105, n. 2, p. 181-192, 2011.

TOUCHETTE, B. W.; ADAMS, E. C.; LAIMBEER, P. Age-specific responses to elevated salinity in the coastal marsh plant black needlerush (Juncus roemerianus Scheele) as determined through polyphasic chlorophyll a fluorescence transients (OJIP). **Marine biology**, v. 159, p. 2137-2147, 2012.

WU, X.; BAO, W. Leaf growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in response to different water deficits in wheat cultivars. **Plant Production Science**, v. 14, n. 3, p. 254-259, 2011.

Yusuf, M. A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Sarin, N. B Overexpression of γ-tocopherol methyl transferase gene in transgenic Brassica juncea plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1797, n. 8, p. 1428-1438, 2010.

ZHANI, K.; ELOUER, M. A.; ALOUI, H.; HANNACHI, C. Selection of a salt tolerant Tunisian cultivar of chili pepper (Capsicum frutescens). **EurAsia Journal of BioSciences**, v. 6, p. 47-59, 2012.

ZIAF, K.; AMJAD, M.; PERVEZ, M. A.; IQBAL, Q.; RAJWANA, I. A.; AYYUB, M. Evaluation of different growth and physiological traits as indices of salt tolerance in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). **Pak. J. Bot**, v. 41, n. 4, p. 1797-1809, 2009.