

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

WANDERSON JOSÉ DE OLIVEIRA

**Ecofisiologia do feijão *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivado sob estresse salino**

RECIFE

2015

WANDERSON JOSÉ DE OLIVEIRA

**Ecofisiologia do feijão *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivado sob estresse salino**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, como parte das  
exigências para a obtenção do título de Mestre

Orientador:  
Prof. Edivan Rodrigues de Souza

RECIFE

2015

Ficha catalográfica

O48e Oliveira, Wanderson José de  
Ecofisiologia do feijão *Vigna unguiculata* (L.) Walp  
cultivado sob estresse salino / Wanderson José de Oliveira. –  
Recife, 2015.  
109 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Engenharia Agrícola, Recife, 2015.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Potencial hídrico 2. Fluorescência da clorofila 3. Trocas  
gasosas I. Souza, Edivan Rodrigues de, orientador II. Título

CDD 631

WANDERSON JOSÉ DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

**Ecofisiologia do feijão *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivado sob estresse salino**

COMISSÃO JUGADORA

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Edivan Rodrigues de Souza,  
DEPA/UFRPE

Examinadores:

\_\_\_\_\_  
Prof. Abelardo A. A. Montenegro  
Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE

\_\_\_\_\_  
Doutor Jailson Cavalcante Cunha  
Departamento de Agronomia/UFRPE

\_\_\_\_\_  
Prof. Mauro Guida dos Santos  
Departamento de Botânica/UFPE

A Deus pelo dom da vida. A meus pais Gilvan e Luciene pela educação que a Academia nunca poderia ter me dado. A meu irmão Willams pela companhia como amigo e profissional no caminho que nós dois escolhemos. A minha noiva Jaqueline por simplesmente existir. Aos amigos que fiz.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que ocorre na minha vida.

Ao meu pai, Gilvan Oliveira com quem aprendi o valor de ser homem. A minha mãe Luciene Oliveira pelo amor e carinho a mim dedicados. E por terem me mostrado o valor do trabalho, da educação e me ensinado a viver.

A meu irmão Willams Oliveira pela caminhada conjunta na formação, na profissão e na vida.

A minha noiva Jaqueline Francisca pelo apoio, incentivo e força em todos os momentos da minha vida.

A minha prima Ligia, por está sempre presente na minha vida. A minha Vó Lia pelo exemplo de altruísmo e a meu avô Aleixo pelo exemplo do caminho sempre reto, a tio Tuta, tia Neide, tia Nilda e meus primos Flávio, Thainá e Thainara que sempre torcem por mim.

Ao Professor Edivan Rodrigues de Souza pela valiosa orientação neste trabalho resultado de uma grande afinidade profissional.

Ao Prof<sup>o</sup> Newton Stanford meu primeiro orientador com quem tive o prazer de conviver durante toda a graduação.

Ao professor Brivaldo Gomes pelas contribuições precisas e decisivas que melhoraram esse tratavalho.

Ao Dr<sup>o</sup> Jailson Cunha por atender todas as ligações em qualquer hora e pelas muitas conversas que contribuíram para a melhora desse trabalho.

Aos amigos que fiz nesses 2 anos: Ana Villar (Aninha), Artu Evaristo, Célia Santos, Diego Melo, Heitor Duarte, Hammady Ramalho, Hidelblandi Farias, Francisco Junior (Chico), Jailson Cunha, Lucas Leal, Marcelo Schuler, Nubia Meirelle, Pâmella Souza, Prof<sup>o</sup> José Swami, Roberto Chaves (Cazuza), Venâncio Veloso. A Manuel Cunegundes fucionário público sempre prestativo e eficiente, um exemplo a ser seguido.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de PósGraduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida. Ao Coordenador Mario Rolim, e ao Vice- Coordenador Ênio França exemplos de determinação e entusiasmo pela pesquisa.

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

Ao IPA por ceder as sementes de Feijão-Caupi IPA – 206.

Ao CNPq, à CAPES pelo apoio financeiro.

**“O tempo não perdoa ninguém.”**

Frase dita todas as aulas pelo profº Marcelo Apolinário (CODAI/UFRPE) no meu curso de Técnico Agrícola, e que se tornou o lema de vida.

**“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”** (Theodore Roosevelt)

**“Não é o trabalho, e sim o proposito que o torna especial.”**

Sarayu em A cabana de Willam P. Young

## Sumário

RESUMO GERAL.....	10
GENERAL ABSTRACT.....	12
INTRODUÇÃO GERAL.....	14
CAPÍTULO I: Estado energético da água no continuum solo – planta - atmosfera em cultivo de feijão <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp irrigado com água salina .....	17
RESUMO .....	18
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO .....	20
MATERIAL E MÉTODOS .....	22
Coleta e preparo do solo .....	22
Caracterização inicial do solo .....	22
Montagem do experimento .....	23
Tratamentos .....	23
Manejo hídrico da cultura .....	24
Determinação do status hídrico no solo .....	25
Potencial da água na atmosfera.....	26
Parâmetros de crescimento .....	26
Delineamento experimental .....	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
Potencial hídrico do solo na madrugada ( $\Psi_t$ ) .....	27
Potencial hídrico da planta na madrugada ( $\Psi_o$ ).....	28
Potencial da água na atmosfera ( $\Psi_{atm}$ ) .....	30
Relação entre os potenciais hídrico do solo, da planta e da atmosfera .....	32
Potencial hídrico e os parâmetros de crescimento da planta.....	35
Evolução da salinidade do solo .....	40
CONCLUSÕES.....	43
BIBLIOGRAFIA.....	44
CAPÍTULO II: Trocas gasosas e efluxo de CO <sub>2</sub> em cultivo de feijão caupi <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp irrigado com água salina .....	49
RESUMO .....	50
ABSTRACT.....	51
INTRODUÇÃO .....	52
MATERIAL E MÉTODOS .....	54
Coleta e preparo do solo .....	54



Caracterização inicial do solo .....	54
Montagem do experimento .....	55
Tratamentos .....	55
Manejo hídrico da cultura .....	56
Determinação das trocas gasosas e efluxo de CO <sub>2</sub> do solo.....	56
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
Déficit de pressão de vapor e Condutância estomática.....	57
Fotossíntese Líquida.....	58
Eficiência de uso da água e eficiência intrínseca de uso da água .....	59
Eficiência instantânea da carboxilação .....	61
Efluxo de CO <sub>2</sub> no solo .....	62
CONCLUSÕES.....	64
BIBLIOGRAFIA.....	65
Capítulo III: Fluorescência da clorofila <i>a</i> e pigmentos fotossintéticos em <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp irrigado com água salina .....	69
RESUMO .....	70
ABSTRACT .....	71
INTRODUÇÃO .....	72
MATERIAL E MÉTODOS .....	74
Coleta e preparo do solo .....	74
Caracterização inicial do solo.....	74
Montagem do experimento .....	75
Tratamentos .....	75
Manejo hídrico da cultura .....	76
Leitura da Fluorescência da clorofila <i>a</i> e pigmentos fotossintéticos.....	76
Teste JIP.....	76
Delineamento experimental .....	77
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	79
Teste JIP.....	79
Curva OJIP.....	82
Fluorescência variável relativa e diferença cinética no trecho O-P .....	83
Fluorescência variável relativa e diferença cinética no trecho O-I .....	84
Fluorescência variável relativa e diferença cinética no trecho I - P .....	85
Banda K.....	87

Banda L.....	88
Pigmentos fotossintéticos.....	89
CONCLUSÕES.....	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	94
APÊNDICE A – ANOVA CAPÍTULO I .....	98
APÊNDICE B – ANOVA CAPÍTULO II .....	103
APÊNDICE C – ANOVA CAPÍTULO III .....	105
APÊNDICE D – MÉDIA, DESVIO PADRÃO (s) E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) PARA OS PARÂMETROS DO TESTE JIP.....	109

## **Ecofisiologia do feijão *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivado sob estresse salino**

### **RESUMO GERAL**

A salinidade do solo e da água compromete a produção de alimentos. Assim, a avaliação de espécies vegetais submetidas a condição de salinidade é essencial para entender o processo de tolerância. Uma cultura de destaque no cenário mundial principalmente por sua importância social é o feijão *Vigna unguiculata*. No Norte e Nordeste do Brasil é um dos tipos de feijão mais produzidos e consumidos. O impacto da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas pode ser observado a partir de diversas respostas, como a redução da biomassa vegetal e produtividade, diminuição do potencial hídrico, fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, dentre outras. Nesse contexto, foi desenvolvido um experimento em casa de vegetação onde se cultivou o feijão caupi cultivar IPA 206 em Neossolo Flúvico coletado de uma região que apresenta riscos de salinização. Foram utilizadas águas com seis níveis de condutividade elétrica: 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dS m<sup>-1</sup> formuladas a partir de NaCl e de uma mistura de sais, semelhante a concentração das águas dos poços encontrados na região. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em arranjo fatorial de 6 x 2, com 4 repetições pelo período de 60 dias. O status hídrico na planta foi medido diretamente através da utilização da câmara de pressão de Scholander, o potencial osmótico da planta foi determinado extraíndo-se a seiva da mesma folha usada para determinar o potencial hídrico com determinação da osmolaridade da seiva em osmômetro e estimativa do potencial osmótico realizada através da aplicação da Equação de Van't Hoff, ambos aos 35 dias após o plantio (DAP). Aos 17, 35, 46 e 60 DAP foram coletadas solução do solo para determinação do potencial osmótico de água no solo, depois de extraída a solução foi usado o mesmo procedimento que na determinação do potencial osmótico na folha. A fluorescência da clorofila *a* foi medida aos 33 DAP. Por ocasião da leitura de fluorescência *a* foram determinados os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides. As trocas gasosas na planta foram medidas aos 20 DAP com as seguintes variáveis: déficit de pressão de vapor, condutância estomática, fotossíntese, a eficiência de uso da água e a eficiência intrínseca de uso da água e a eficiência instantânea da carboxilação. O efluxo de CO<sub>2</sub> no solo foi medido ao final do experimento com a câmara de fluxo de CO<sub>2</sub> no solo, acessório do IRGA (Modelo 6400-09). A altura da planta foi mensurada aos 38 DAP; o peso seco da parte aérea e das raízes foram medidos aos 60 DAP; o comprimento médio e peso médio das vagens, o número médio de grãos e a produtividade foram medidos com os dados coletados dos 38 aos 60 DAP. Não houve diferença significativa entre os tipos de sais para os potenciais de água tanto no solo quanto na planta. Todos os potenciais decresceram de forma substancial com o aumento da

condutividade elétrica da água de irrigação. A altura da planta, o peso seco da parte aérea e da raiz, o comprimento médio e peso médio das vagens, além do número médio de grãos e a produtividade não apresentaram diferença significativa para os tipos de sais e também decresceram com o aumento da salinidade. As curvas da cinética da fluorescência mostraram de forma eficiente a existência do estresse salino, todos os índices de performance apresentaram diferença significativa indicando estresse salino. Todos os pigmentos fotossintéticos decresceram com o aumento da salinidade. O déficit de pressão de vapor, eficiência de uso da água, eficiência intrínseca de uso da água e a eficiência instantânea da carboxilação aumentaram com o aumento da CE da água de irrigação, enquanto a condutância estomática, fotossíntese líquida, e o efluxo de CO<sub>2</sub> no solo diminuíram com o aumento da CE da água de irrigação. O uso de água salina no cultivo do feijão caupi prejudicou seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, nas CE' acima de 7,5 dS m<sup>-1</sup> não foi observada produção, além de elevar substancialmente a salinidade do solo.

**Palavras-chave:** Potencial hídrico; Fluorescência da clorofila; Trocas gasosas.

***Ecophysiology of the Bean *Vigna unguiculata* (L.) Walp grown under salt stress***

**GENERAL ABSTRACT**

The salinity of soil affect the food production. The assessment of plant species under soil salinity condition and quality of water is essential to understand the process of tolerance to these conditions. A prominent culture in the world scene principally for its social importance is the bean *Vigna unguiculata*. In the North and Northeast of Brazil is a most produced and consumed bean types. The salinity impact under the growth of plants can be observed from several responses such as reduction in biomass and yield, decreased water potential, chlorophyll fluorescence, gas exchange, among others. This context an experiment was conducted in a greenhouse using the cowpea beans cultivar IPA 206 in Neossolo flúvico collected from a region with salinization risk. Were used water with six levels of electrical conductivity: 0; 2.5; 5; 7.5; 10; 12.5 dS m<sup>-1</sup> formulated with NaCl or a mixture of salts, similar to concentration in wells found in the region, in a factorial arrangement of 6 x 2. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four repetitions for 60 days. The water status in plant was measured using the Scholander pressure chamber, the osmotic potential of plant was determined by extracting the sap from the same leaf used to determine the water potential in plant. The osmolarity of sap was determined in osmometer and the estimation of osmotic potential was carried out used the Van't Hoff equation, both at 35 days after planting (DAP). At 17, 35, 46 and 60 DAP were collected the soil solution to determine the osmotic potential in the soil. The osmotic potential was determine using the same procedure of determination of osmotic potential under the leaf, The chlorophyll fluorescence was measured with fluorometer at 33 DAP. After the reading chlorophyll fluorescence the leaf was collected and were determined contents of chlorophyll *a*, *b* and carotenoids. Gas exchange in the plant were measured at 20 DAP with the Infrared gas analyzer. Were measured the vapor pressure deficit, stomatal conductance, photosynthesis, water use efficiency and the intrinsic water use efficiency of water use and the instantaneous efficiency of carboxylation. The soil CO<sub>2</sub> efflux was measured at end of experiment with the soil CO<sub>2</sub> flux chamber. Plant height was measured at 38 DAP, the dry weight of shoots and roots were measured at 60 DAP, the average length and the average weight of the string beans, the average number of grains and yield were measured from 38 at 60 DAP. About the results, there was no significant difference between the types of salts to the water potential in the soil and in the plant. All of them decreased substantially with increasing electrical conductivity of the irrigation water. The plant height, dry weight of shoot and root, the average length and weight of string beans, the average number of grains and yield no

presented significant differences for the types of salts and also decreased with the increase of salinity. Fluorescence kinetics demonstrate efficiently the existence of salt stress, all performance indexes present significant difference indicating salt stress. All photosynthetic pigments decreased with increasing salinity. The vapor pressure deficit, water use efficiency, intrinsic water use efficiency and the instantaneous efficiency of carboxylation increased with the increased of the EC, while the stomatal conductance, net photosynthesis and soil CO<sub>2</sub> efflux decreased with the increase of EC. The use of saline water in cowpea cultivation lower their vegetative and reproductive development, in EC's above 7.5 dS m<sup>-1</sup> production was not observedt, and caused serious damage to the soil.

**Keywords:** Water potential; Chlorophyll fluorescence; Gas exchange.

## INTRODUÇÃO GERAL

O feijão caupi é uma leguminosa bastante cultivada no mundo, pois serve de base alimentar para diversas populações. Possui alto valor nutritivo e caracteriza-se pela adaptação em amplas faixas de ambientes, sendo cultivado em regiões tropicais e subtropicais no mundo. Suas características lhe conferem um alto valor estratégico. Suas áreas de cultivo estão localizadas em sua maioria em regiões áridas e semiáridas da África, Ásia e América do Sul onde é um dos principais componentes da dieta alimentar de muitas populações. O Brasil é um grande produtor de feijão caupi e as regiões produtoras se concentram nas regiões Norte e Nordeste do país. O feijão caupi é moderadamente tolerante à seca e à salinidade e o estudo das variações ecofisiológicas ocasionadas pela salinidade representa um dado valioso para o manejo e exploração adequados dessa cultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas onde existe uma dependência maior de culturas adaptadas a estresses ambientais.

A salinidade do solo ocorre em várias partes do mundo, sendo um dos fatores que mais limitam a produção agrícola. Por ser um problema de difícil resolução tem também um grande impacto econômico. A salinidade do solo pode ocorrer de forma natural ou antrópica. Naturalmente tem ocorrência mais comum em regiões áridas e semiáridas onde devido à alta demanda evaporativa e à baixa pluviosidade provocam a evaporação das águas dos lençóis freáticos e consequente acúmulo de sais na superfície do solo. Antropicamente, a irrigação mal dimensionada e solos com ineficientes sistemas de drenagem são os principais fatores que contribuem para a salinidade do solo.

A salinidade do solo pode ocasionar dois tipos de problemas na planta: A toxidez por íons específicos e a diminuição do potencial da água, o que dificulta a absorção de água pela planta. Íons como  $\text{Na}^+$ , que competem pelos mesmos sítios de absorção que o  $\text{K}^+$  e o  $\text{Cl}^-$  que, mesmo sendo um micronutriente, em concentrações mais elevadas ocasionam danos as plantas, causam maiores danos por toxidez, ou  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$  que estão mais comumente ligados a diminuição do potencial hídrico do solo, dificultando a absorção de água.

Para que a planta absorva água em baixos potenciais do solo ela precisa reduzir também seu potencial hídrico. A diminuição do potencial hídrico na planta pode ser ocasionado pela acumulação de osmólitos compatíveis ou íons compartimentalizados no vacúolo das células. A diminuição no crescimento das plantas, a diminuição da espessura dos caules e a queda de produtividade também ocorre com a presença de estresse salino.

Outras variações fisiológicas podem ocorrer com o aumento da salinidade do solo. A fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta bastante eficiente na determinação do estresse

salino. Com o uso de um fluorômetro, a cinética de emissão da fluorescência pode ser construída. Uma curva formada entre a fluorescência inicial (F0) e a fluorescência máxima (Fm), ou em outros casos até o declínio da fluorescência pode servir para observar o comportamento da energia durante várias fases da fotoquímica. A curva OJIP pode ser dividida em diversos passos como O-J, J-I e I-P, cada um reflete uma fase da transferência de elétrons da fotossíntese. Esses passos ainda podem ser normalizados em função de F0 e Fm para melhor visualização dos passos. Com os dados obtidos na curva O-J-I-P pode ser realizado o teste JIP. Esse teste divide seus parâmetros em razões de fluxo de energia, fluxo específico por centro de reação, fluxo fenomenológico e índices de performance, cada um deles refletindo o que ocorre durante a fotoquímica.

Os pigmentos fotossintéticos também são afetados pelo estresse salino. Os pigmentos são responsáveis pela captação de luz e por transferi-los por ressonância para os centros de reações. O próprio centro de reação é formado por moléculas de clorofila modificadas.

As análise das trocas gasosas é uma ferramenta bastante sensível ao aumento da salinidade do solo, e alterações nestes parâmetros podem facilmente servir para identificar o grau de tolerância das plantas a salinidade. O déficit de pressão de vapor entre o ar e a folha é um indicador utilizado pelas plantas para identificar a necessidade de fechar os estômatos. O fechamento dos estômatos provoca a redução da condutância estomática, que conseqüentemente diminuirá a concentração interna de CO<sub>2</sub>, a fotossíntese, a transpiração e a relação entre a concentração interna e ambiente de CO<sub>2</sub>. Parâmetros como a eficiência de uso da água, a eficiência intrínseca de uso da água e a eficiência instantânea da carboxilação refletem de forma mais sensível a tolerância das plantas a salinidade.

Devido a grande área de solos salinizados no Brasil e no mundo e a importância social e econômica do feijão caupi, procurou-se nessa pesquisa analisar as variações na ecofisiologia do feijão caupi (IPA 206) cultivado com água com concentrações crescentes de sais (0;2,5; 5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 dS m<sup>-1</sup>) elaboradas com NaCl e com uma mistura de sais semelhantes às condições de campo, analisando as condições de solo antes e depois do cultivo, além de avaliar o status hídrico do solo, planta e na atmosfera, dados biométricos, fluorescência da clorofila a, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas no solo e na planta.

Para isso, a estrutura de apresentação desse documento, será dividida em três capítulos: 1) Estado energético da água no continuum solo – planta - atmosfera em cultivo de feijão *Vigna unguiculata* L. Walp irrigado com água salina; 2) Trocas gasosas e efluxo de CO<sub>2</sub> em cultivo de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigado com água salina e 3) Fluorescência da



clorofila a e pigmentos fotossintéticos em *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigado com água salina.

**CAPÍTULO I: Estado energético da água no continuum solo – planta - atmosfera em cultivo de feijão *Vigna unguiculata* L. Walp irrigado com água salina**

**Estado energético da água no continuum solo – planta - atmosfera em cultivo de feijão  
*Vigna unguiculata* L. Walp irrigado com água salina**

**RESUMO**

A salinidade do solo é um fator limitante para a produção das culturas e ocorre com maior frequência em regiões áridas e semiáridas do mundo. O estudo do estado energético da água sob condição de salinidade no sistema solo-planta-atmosfera auxilia no entendimento de movimento e disponibilidade de água. O entendimento deste estado energético em plantas de feijão vigna é de extrema importância, uma vez que essa cultura é a base alimentar em grande parte do mundo. Nesse contexto, foi desenvolvido um experimento em casa de vegetação utilizando a cultivar IPA 206 em Neossolo Flúvico coletado de uma região que apresenta riscos de salinização. Foram utilizadas águas com seis níveis de condutividade elétrica: 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dS m<sup>-1</sup> formuladas a partir de NaCl e de uma mistura de sais, semelhante a águas dos poços encontrada na região. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso com 4 repetições pelo período de 60 dias. Aos 35 dias após o plantio (DAP) foram determinados o potencial hídrico foliar com a Câmara de Scholander e o potencial osmótico com o auxílio do osmômetro de pressão de vapor, além do teor relativo de água. Para a determinação dos potenciais no solo foi extraída a solução do solo por meio da pasta de saturação no início e no fim do experimento, e da cápsula porosa aos 17, 35, 46 e 60 DAP para determinação do potencial osmótico; o potencial matricial do solo foi estimado pela curva de retenção de água no solo e assim contabilizou-se o potencial total do solo. Ainda foram determinados dados de crescimento, biomassa e produtividade de grãos. Não foram encontradas diferenças significativas entre os tipos de sais da água de irrigação. Com o aumento da concentração salina ocorreu uma diminuição do potencial osmótico tanto na planta, de -0,58 MPa (0 dS m<sup>-1</sup>) para -1,24 MPa (12,5 dS m<sup>-1</sup>) e no solo, de -0,07 MPa (0 dS m<sup>-1</sup>) para -1,64 MPa (12,5 dS m<sup>-1</sup>), o que contribuiu também para a diminuição do potencial total na planta, de -0,38 MPa (0 dS m<sup>-1</sup>) para -0,77 MPa (12,5 dS m<sup>-1</sup>). Aos 38 DAP a altura da planta sofreu uma redução de mais de 70% comparando o tratamento de maior salinidade com o controle. O TRA não sofreu alterações. Ocorreu uma redução de 86 % no peso seco da parte aérea para a CE de 10 dS m<sup>-1</sup>. O peso seco da raiz decresceu 60%. A relação entre os potenciais hídricos do solo e da planta não indicou equilíbrio durante a madrugada. O uso de água salina nestas condições de manejo não é indicado para a cultura do feijão caupi pois a CE 2,5 dS m<sup>-1</sup> provocou uma redução de 84% na produtividade.

**Palavras-chave:** Potencial hídrico; Teor Relativo de Água; Potencial osmótico.

***Energy state of water in continuum soil - plant - atmosphere in bean cultivation *Vigna unguiculata* L. Walp irrigated with saline water***

**ABSTRACT**

Soil salinity is a limiting factor for crop production and occurs more frequently in arid and semiarid regions of the world. The study of the energy status of water under saline condition in soil-plant system, help in understanding of water movement and availability of the same. The study of the energy status of water under saline condition in soil-plant system, help us understand of water movement and availability of the same. The understanding of this energy status in vigna bean cultivar IPA 206 is extremely important, since this crop is the staple food in much of the world. This context an experiment was conducted in a greenhouse using the cowpea beans cultivar IPA 206 in Neossolo flúvico collected from a region with salinization risk. Were used water with six levels of electrical conductivity: 0; 2.5; 5; 7.5; 10; 12.5 dS m<sup>-1</sup> formulated with NaCl or a mixture of salts, similar to concentration in wells found in the region, in a factorial arrangement of 6 x 2. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four repetitions for 60 days. At 35 days after planting (DAP) were determined the leaf water potential with the Chamber of Scholander and the osmotic potential with the vapor pressure osmometer, in addition to the relative water content. The soil solution was obtained with saturation extract in start and end in the experiment and with the porous capsule and at 17, 35, 46 and 60 days after planting (DAP) for determination osmotic potential, the determination of soil matric potential was estimated with the water retention curve in soil and after was calculated the soil water potential. Also were determined growth, biomass and yield. No significant differences were found between the types of salts used in the experiment. With increasing salt concentration, there was a decrease in leaf osmotic potential, of -0.58 MPa (0 dS m<sup>-1</sup>) to -1.24 MPa (12,5 dS m<sup>-1</sup>) and in soil of -0.07 MPa (0 dS m<sup>-1</sup>) to -1.64 MPa (12,5 dS m<sup>-1</sup>), contributing to the decrease in leaf water potential, of -0.38 MPa (0 dS m<sup>-1</sup>) to -0.77 MPa (12,5 dS m<sup>-1</sup>). The soil water potential decreased from -0.34 MPa to -0.98 MPa. At 38 DAP plant height decreased more 70% comparing the control and treatment EC 12.5 dS m<sup>-1</sup> and the root dry weight decreased by 60%. The RWC has not significantly changed with increased salinity. The relationship between soil water potential and leaf water potential has not indicate balance in pre-dawn. The use of saline water in these management conditions is not indicated for the cowpea beans crop because the more low EC resulted in decrease of 84% in yield.

**Keywords:** Water potential; Relative water content; Osmotic potential.

## INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é encontrada em mais de 100 países, sendo considerada um dos fatores ambientais que mais limitam o desenvolvimento e a produtividade das culturas (RENGASAMY et al., 2006; LV et. al., 2012). Podendo ocorrer de forma natural ou pelo manejo inadequado da água de irrigação (GLENN et al., 2009; NISHIDA et al., 2010), se tornando um grande problema principalmente em regiões áridas e semiáridas no mundo, mas susceptível a esse processo devido as condições de baixa pluviosidade registrada e elevado saldo de energia solar disponível ao processo de evapotranspiração (ANDRADE et al., 2011). A salinização de origem natural pode ser ocasionada pelo intemperismo das rochas, pela ascensão capilar e, conseqüente evaporação da água e acumulação de sais em superfície (FERREIRA, 1998). A antrópica pode ser ocasionada pelo mal manejo da irrigação ou por um sistema de drenagem deficiente.

As perspectivas mundiais indicam que a escassez de água é um impacto previsto das mudanças climáticas e exigirá o uso de recursos hídricos alternativos na agricultura, como a água salina (BEZBORODOV et al., 2010). Mas o uso dessa água para a irrigação enfrenta algumas restrições que impedem ou limitam seu uso, restrições que se não observadas podem trazer grandes danos ao meio ambiente, salinizando o solo e diminuindo o potencial produtivo das culturas. O uso de águas salinas ou o cultivo em solos já salinizados ocasiona perda de rendimento das culturas e vem se tornando um problema comum em todo o mundo, pois a maioria das plantas cultivadas são glicófitas e, portanto, sensíveis à salinidade (ADOLF et al., 2013). Um grave problema ocasionado pela salinidade dos solos é a alteração no status da água no solo. Segundo Oliveira et al. (2011) os efeitos negativos dos sais sobre o crescimento das plantas são associados ao componente de tensão osmótica, restringindo a absorção de água pelas raízes.

Diversas culturas são avaliadas em cultivo sob o efeito de estresse salino. O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma delas, sendo classificado como moderadamente sensível a salinidade (GRIEVE et. al., 2012), embora possua cultivares desenvolvidas para aumentar a tolerância ao estresse salino, como a IPA 206, classificada como moderadamente tolerante a salinidade (DANTAS et. al., 2002). O feijão vigna, feijão-caupi, feijão de corda, feijão fradinho (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) tem origem na África, precisamente na Nigéria (FREIRE FILHO, 1988). É uma espécie de alto valor nutritivo, caracteriza-se pela plasticidade e pela adaptação à ampla faixa de ambientes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (BARROS et. al., 2013) e diante das perspectivas de mudanças climáticas e da necessidade geral de

alimentos, é uma cultura de grande potencial estratégico sendo amplamente cultivado em regiões áridas e semiáridas constituindo-se em um dos principais componentes da dieta alimentar dessas populações (LIMA ET AL., 2007; FREIRE FILHO et al., 2011).

No Brasil o caupi é cultivado predominantemente nas Regiões Norte e Nordeste e, apesar de ser tolerante as condições de clima e solos destas regiões, ainda apresenta produtividade de 355 kg ha<sup>-1</sup> em função do baixo nível de tecnologia aplicada no cultivo (CONAB, 2008). No Estado de Pernambuco, uma cultivar bastante utilizada é a IPA 206, tolerante as condições de estresse hídrico e salino e a baixa fertilidade do solo, que ocasiona severas restrições à exploração agrícola (FREIRE FILHO et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2011). Com produtividade de 700 kg ha<sup>-1</sup> em sequeiro e 1240 kg ha<sup>-1</sup> irrigado é uma variedade moderadamente tolerante a seca com ciclo de 38 dias do plantio a floração e 70 dias para a colheita (EMBRAPA, 2003).

Segundo Ayres e Westcot (1999) o valor limite da condutividade elétrica para desenvolvimento normal do feijão-caupi é de 3,3 dS m<sup>-1</sup> na água de irrigação e de 1,3 dS m<sup>-1</sup> no extrato de saturação. Patel (2010), utilizando águas de irrigação CE de 0 a 10 dS m<sup>-1</sup> e Coelho et al. (2013) usando uma mistura de NaCl e CaCl<sub>2</sub>, com 0, 4, 8 e 12 dS m<sup>-1</sup> cultivaram feijão sob estresse salino e encontraram alterações fisiológicas durante o desenvolvimento da cultura. Embora a salinidade dificulte a absorção de água Cardona-Ayala et al. (2013) cultivaram feijão caupi a até aproximadamente -2 MPa de potencial hídrico, alcançado com o aumento da salinidade, e não encontrou murcha fisiológica nestas plantas.

Os efeitos da salinidade no solo e na planta são melhor avaliados quando se estuda o comportamento dos potenciais de água envolvidos no sistema solo-planta-atmosfera, para que se tenha informações sobre a movimentação e disponibilidade de água nesses ambientes. Diversos trabalhos podem ser encontrados na literatura associando a salinidade com os potenciais da água (KUSVURAN et al., 2012; ADOLF et al., 2013; COELHO et al., 2013; JOGAI AH et al., 2014).

Devido a importância socioeconômica do feijão e do avanço da salinidade em diversas partes do mundo pretende-se investigar o comportamento do feijão caupi (IPA 206) cultivado com água com concentrações crescentes de sais elaboradas com NaCl e com uma mistura de sais semelhantes às condições de campo, analisando as condições de solo antes e depois do cultivo, além de avaliar o status hídrico do solo, planta e atmosfera.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Coleta e preparo do solo

O material de solo utilizado no experimento foi coletado no Município de Pesqueira - PE, na profundidade de 0-30 cm e classificado como Neossolo Flúvico de acordo com a classificação da EMBRAPA (2013), isento de problemas de salinidade e sodicidade. Posteriormente, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm para a conservação dos microagregados.

### Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA) os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis extraídos por acetato de amônio 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; o extrato de saturação foi obtido através do preparo da pasta de saturação (RICHARDS, 1954), onde mediu-se a condutividade elétrica e determinadas as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com  $\text{AgNO}_3$  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 material de solo 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 <sub>es</sub>	8,17	pH <sub>(1:2,5)</sub>	7,70	Na/Ca	1,42
CE (dS $\text{m}^{-1}$ )	0,99	$\text{Ca}^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,53	Na/Mg	7,09
$\text{Ca}^{2+}$ (mmol $\text{L}^{-1}$ )	19,07	$\text{Mg}^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,22	Na/K	19,31
$\text{Mg}^{2+}$ (mmol $\text{L}^{-1}$ )	3,81	$\text{Na}^+$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,26	Na/Cl	10,24
$\text{Na}^+$ (mmol $\text{L}^{-1}$ )	27,04	$\text{K}^+$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,50	Cl/Ca	0,14
$\text{K}^+$ (mmol $\text{L}^{-1}$ )	1,40	SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	8,51	Cl/Mg	0,69
$\text{Cl}^{-1}$ (mmol $\text{L}^{-1}$ )	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

pH<sub>es</sub>: 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 <sup>-1</sup>						g cm <sup>-3</sup>		%		g g <sup>-1</sup>		
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

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco coordenadas 08° 00' 59,9'' S e 34° 56' 38,6'' W durante os meses de março a maio de 2014, totalizando 60 dias de acompanhamento. Foram cultivadas plantas de *Vigna unguiculata* em vasos com capacidade para seis litros de solo, sendo duas plantas por vaso, estes preenchidos com o solo peneirado em malha de 4 mm. Antes do plantio das sementes de feijão o vaso foi irrigado com 1,39 litros de água, volume que corresponde a uma umidade de 80% da capacidade de campo em base de massa. Foram plantadas 5 sementes por vaso e 5 dias após o plantio (DAP) foi realizado o desbaste deixando-se apenas duas plantas por vaso. O vaso continha 7,44 kg de material de solo. Para suprir as necessidades nutricionais da cultura foi realizada uma adubação com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 20 kg ha<sup>-1</sup> de P e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K na fundação e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na cobertura segundo o Manual de Recomendação de Adubação do instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA, 2008).

### Tratamentos

O solo foi irrigado com águas de condutividades elétricas de 0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> elaboradas a partir de NaCl e de uma mistura de Ca, Mg, Na, e K, simulando a composição encontrada em poços usados para a irrigação na região de Pesqueira-PE (Tabela 3).



**Tabela 3.** Quantidades necessárias de sal ( $\text{g L}^{-1}$ ) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais e o potencial osmótico das soluções (Mpa).

CE	Fontes de água								
	Cloreto de Sódio		Mistura de Sais						
	dS $\text{m}^{-1}$	NaCl	$\Psi_o$	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Total	$\Psi_o$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	1,3600	-0,1044	1,0510	0,0050	0,3060	0,2440	1,6060	-0,1171	
5	2,9060	-0,2227	1,9900	0,0130	0,5560	0,4430	3,0020	-0,2334	
7,5	4,6690	-0,3578	3,2010	0,0160	0,8860	0,6930	4,7960	-0,3458	
10	6,6500	-0,5096	4,6500	0,0270	1,2970	1,0060	6,9800	-0,5382	
12,5	8,8260	-0,6763	6,5010	0,0400	1,8230	1,4090	9,7730	-0,7063	

### Manejo hídrico da cultura

A irrigação era realizada ao final do dia utilizando-se de um becker e repondo a água perdida por evapotranspiração aferida por uma balança digital. Durante os sete primeiros dias se utilizou água destilada e, a partir do oitavo dia, utilizou-se água com valores de CE de modo crescente para que não houvesse o choque osmótico. Assim, todos os vasos foram equilibrados com as CE's correspondente aos tratamentos aos 16 DAP.

### Determinação do status hídrico das plantas

A medição do potencial hídrico das plantas foi realizada aos 35 DAP na madrugada, das 3:00 às 4:00 horas, onde esperava-se encontrar um equilíbrio entre os potenciais da planta e do solo. Foi coletada uma folha sadia do terço médio da planta, depois de coletada a folha foi envolvida em filme plástico e refrigerada em caixa de isopor contendo gelo onde ficaram armazenadas até a hora da leitura para diminuir as perdas por transpiração. A determinação do potencial hídrico ( $\Psi_t$ ) da planta foi medido diretamente através da utilização da câmara de pressão de Scholander, (modelo 1515D Pressure Chamber Instrument - PMS Instrument Company).

Para a determinação do potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) das plantas foi utilizada a mesma folha onde se determinou o potencial hídrico. Essa folha foi envolta em papel alumínio devidamente

identificado e foi armazenada a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  em um freezer até seu processamento. Por ocasião do processamento as folhas foram maceradas com nitrogênio líquido e filtradas com tecido de musseline.

A seiva obtida foi acondicionada em tubos apropriados e centrifugada a  $10.000\text{ g}$  por  $10$  minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ . Foi feita coleta do sobrenadante e leitura da osmolalidade em osmômetro (VAPRO WESCOR Modelo 5600) (SILVEIRA et al., 2009).

A estimativa do potencial osmótico foi realizada através da aplicação da Equação de Van't Hoff

$$\psi_o = -R T C \quad \text{Eq. 01}$$

Onde,  $R$  é a constante geral dos gases ( $0,0082\text{ kg MPa mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ),  $T$  é a temperatura (K), e,  $C$  é a concentração de soluto, expressa em  $\text{mol kg}^{-1}$ .

Por ocasião da coleta e antes do congelamento das folhas usadas para a determinação do potencial osmótico foram retiradas delas discos de mesmo tamanho para determinação do Teor Relativo de Água (TRA) (WEATHERLEY, 1950). Das folhas coletadas, foram recortados discos de mesma área e feitas pesagens antes (Peso da Massa Fresca) e depois de  $24$  horas em completo turgor (Peso da Massa Túrgida), depois disso os discos foram colocados em envelopes de papel e levados à estufa de circulação de aeração forçada, à  $60^{\circ}\text{C}$  por  $48\text{ h}$  para secagem, por fim foi realizada uma nova pesagem (Peso da Massa Seca).

A determinação do TRA foi feita através da seguinte equação:

$$\text{TRA} = (\text{PMF} - \text{PMS}) / (\text{PMT} - \text{PMS}) \quad \text{Eq. 02}$$

onde, PMF é o peso da massa fresca; PMS, é o peso da massa seca; e, PMT é o peso da massa túrgida.

A suculência foliar (SF) e o peso específico (PE) foi determinada simultaneamente com o TRA através da equação 03 para a SF foliar e 04 para o PE:

$$\text{SF} = (\text{PMF} - \text{PMS}) / A \quad \text{Eq. 03}$$

onde, PMF é o peso da matéria fresca, PMS é o peso da massa seca e  $A$  é a área dos discos foliares usados (DELF, 1912).

$$\text{PE} = \text{PMS} / A \quad \text{Eq. 04}$$

onde, PMS é o peso da massa seca e  $A$  é a área dos discos foliares usados.

### **Determinação do status hídrico no solo**

O potencial total da água no solo ( $\Psi_t$ ) foi determinado aos  $35\text{ DAP}$ , durante a madrugada foi coletada uma amostra de solo para determinação da umidade e estimou-se o potencial

mátrico, utilizando a curva de retenção de água no solo. Para determinação do potencial osmótico foi feita uma coleta da solução do solo no mesmo dia através de capsula extratora, a osmolalidade foi determinada pelo osmômetro de pressão de vapor e o potencial estimado pela equação de Van't Hoff. Com a soma do potencial mátrico e osmótico foi obtido o potencial hídrico do solo. O potencial osmótico também foi determinado aos 17, 46 e 60 DAP com a solução do solo sendo coletada com cápsula extratora e no final do experimento com o extrato da pasta saturada.

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g \quad \text{Eq. 05}$$

### **Potencial da água na atmosfera**

Como último componente do sistema solo-planta-atmosfera, tem-se o potencial da água na atmosfera, que pode ser calculado em função da umidade relativa do ar e temperatura, como mostrado na equação 6 (SLATYER, 1967).

$$\Psi_a = (-RT / V_a) \ln (e_a/e_s) \text{ ou } \Psi_a = (-RT / V_a) \ln (UR) \quad \text{Eq. 06}$$

Onde, R é a constante geral dos gases (0,0082 L MPa mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), T é a temperatura (K), V<sub>a</sub> é o volume parcial molar da água (0,018 L mol<sup>-1</sup>), e<sub>a</sub> é a pressão parcial de vapor atual (MPa), e<sub>s</sub> é a pressão parcial de vapor na saturação (MPa) e UR é a umidade relativa (MPa MPa<sup>-1</sup>).

As medições da temperatura e da umidade relativa foram realizadas a cada 15 min durante o período de experimento com um data logger HOB0 modelo U12-012.

### **Parâmetros de crescimento**

A altura da planta foi medida com trena aos 38 DAP. Ao final do experimento a planta foi coletada e separada em folhas, caule e raízes, pesadas e secas em estufa de circulação forçada com 65 °C. Dos 38 aos 60 DAP as vagens maduras foram coletadas, onde mediu-se o comprimento, pesou-se contabilizou-se o número de grãos. Os grãos foram pesados para estimativa da produtividade.

### **Delineamento experimental**

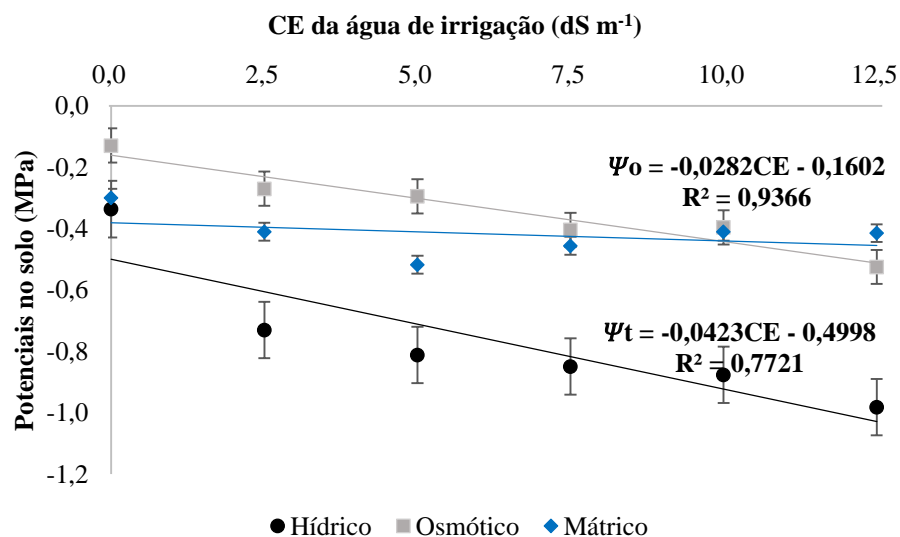
O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 4 repetições num arranjo fatorial 6 x 2 correspondendo a seis níveis de condutividade elétrica e duas fontes de água. Foi

feito ajuste do modelo de regressão para os níveis de salinidade e teste de comparação de médias para as fontes de água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Potencial hídrico do solo na madrugada ( $\Psi_t$ )

O potencial mátrico da solução do solo associado com potencial osmótico e o potencial gravitacional compõem o potencial hídrico ou total do solo. Devido a manutenção da umidade do solo ao longo do experimento e entre os tratamentos, a maior contribuição para o potencial total foi devido ao potencial osmótico (Figura 1).



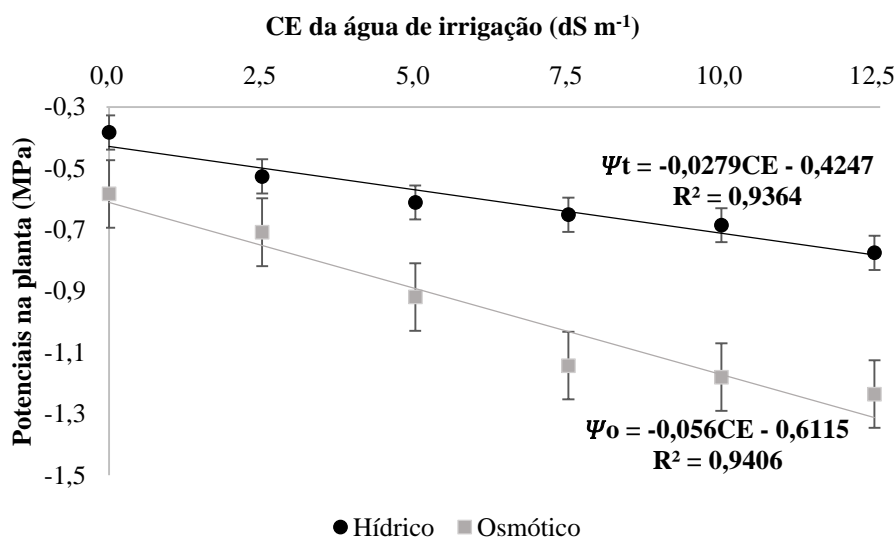
**Figura 1.** Potencial mátrico, osmótico e hídrico do solo com seu erro padrão em função dos valores de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 35 dias após o plantio determinado na madrugada. Potencial mátrico CV% = 36,62; Potencial osmótico CV% = 19,12; Potencial total CV% = 17,56.

O aumento da concentração de sais no solo reduz o potencial osmótico da solução do solo e, conseqüentemente, o potencial hídrico ou total do solo. O potencial total do solo reduziu cerca de 190%, passando de -0,34 MPa no tratamento controle (0 dS m<sup>-1</sup>) para -0,98 MPa no tratamento com CE de 12,5 dS m<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram encontrados por Razzaghi et al. (2011), em que o potencial hídrico do solo também decresceu com o aumento da salinidade. Coelho et al. (2014) cultivando feijão caupi sob diferentes CEs encontraram redução do potencial osmótico em Neossolo Franco-arenoso e em Neossolo de textura Franco-argilosa.

## Potencial hídrico da planta na madrugada ( $\Psi_o$ )

Não houve diferença significativa entre as fontes de sais usadas na composição da água de irrigação para o potencial osmótico ( $P < 0,05$ ). Corroborando Gómez-Bellot et al. (2013), que, também, não encontraram diferença significativa entre os tipos de água de irrigação para o potencial osmótico quando usou uma solução de NaCl ( $4 \text{ dS m}^{-1}$ ) e água residuária ( $4 \text{ dS m}^{-1}$ ) na irrigação de plantas de *Euonymus* e *Laurustinus*. O potencial osmótico diminuiu com o aumento da CE de forma linear; a CE de  $0 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou o maior valor de potencial osmótico, correspondente a  $-0,58 \text{ MPa}$ ; já no tratamento de maior salinidade,  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ , o valor do potencial osmótico foi de  $-1,24 \text{ MPa}$ , ocasionado uma redução de 113% (Figura 2).

Também não houve diferença significativa entre as fontes de sais para o potencial hídrico ( $P < 0,05$ ). A relação entre o potencial hídrico na planta em função da CE dos tratamentos decresceu de forma linear (Figura 2). A CE de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou um valor de  $-0,53 \text{ MPa}$ , uma redução de 37% em relação a testemunha que apresentou  $-0,38 \text{ MPa}$ . As CE's de 5, 7,5 e 10 e  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  apresentaram redução de 60, 70, 80 e 100 % respectivamente em relação ao controle.



**Figura 2.** Potencial osmótico e hídrico na folha do feijoeiro com seu erro padrão em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 35 dias após o plantio determinado na madrugada. Potencial osmótico CV% = 17,93; Potencial hídrico CV% 26,77.

Com o aumento da CE do solo e, conseqüentemente, da concentração dos sais usados na composição da água de irrigação, houve a diminuição do potencial do solo. Esse potencial menor, exige que a planta diminua também seu potencial para que possa absorver água. Um

dos mecanismos usados pela planta para que isso ocorra é a osmorregulação, que se caracteriza pela acumulação de sais e solutos orgânicos na folha, ou seja, o potencial osmótico da célula se altera para manter o gradiente de potencial total entre a folha e o solo (MELONI et al., 2004; MUDGAL, et al., 2010).

A linearidade dessa relação também foi encontrada em trabalhos realizados por Coelho (2014) com feijão caupi submetido ao estresse salino. Kusvuran (2012) trabalhando com melão sob estresse hídrico e salino também encontrou um decréscimo no potencial osmótico com o aumento da concentração salina. O mesmo foi encontrado por Akram et al. (2012) trabalhando com plantas de girassol cultivadas sob condições salinas e Noreen (2012) cultivando rabanete irrigado com solução nutritiva contendo diferentes concentrações de NaCl. Bayelo-Jiménez et al. (2003) trabalhando com diversas espécies de feijão *Phaseolus* sob estresse salino encontraram decréscimo do potencial osmótico com o aumento da salinidade em todas as plantas. Souza et al. (2011) também encontraram redução do potencial osmótico com o aumento da concentração salina no substrato de crescimento diminuindo de -0,61 MPa para -0,73 MPa em plantas de feijão caupi.

Segundo Chen & Jiang (2010) os solutos dissolvidos na zona das raízes geram um potencial osmótico mais baixo, o que diminui o potencial total do solo. Isso acaba influenciando o potencial hídrico da planta. Para que se forme um continuum solo-planta-atmosfera os potenciais hídricos devem decrescer neste sentido.

O aumento da pressão osmótica no interior das células, mantêm a absorção de água e o potencial de pressão das células, o que concorre para a continuidade dos processos fisiológicos, ainda que em níveis menores (MARIJUAN & BOSCH, 2013).

Jogaiah (2014) também encontrou a diminuição do potencial hídrico em plantas de uva cultivadas sobre estresse salino.

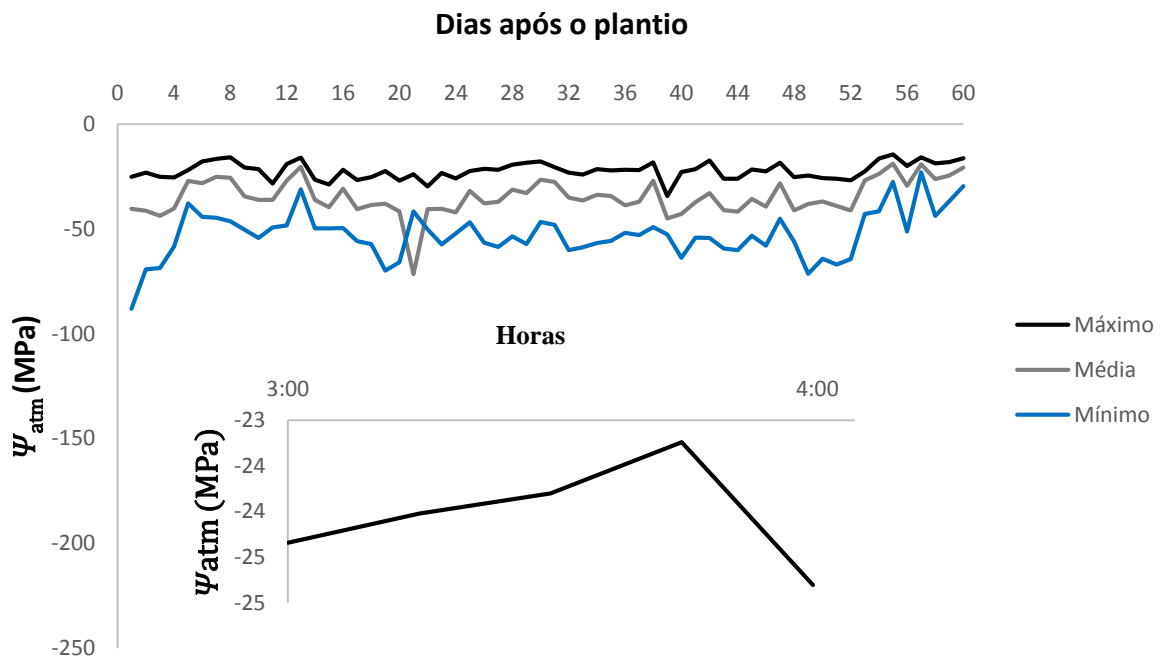
Observando a diminuição do potencial hídrico da planta com o aumento da concentração salina, diminuição essa provocada pela diminuição do potencial osmótico da planta, fica evidente o ajustamento osmótico nestas plantas, seja ele pela absorção de íons do solo ou pela produção de osmólitos compatíveis.

A determinação do potencial hídrico tem papel fundamental no manejo da cultura. Sua determinação possibilita que águas com maiores teores de sais possam ser usadas, ou não, dependendo da tolerância da cultura. As alterações fisiológicas que perturbam o desenvolvimento normal das plantas nas fases vegetativa e reprodutiva também estão intimamente ligadas a quantidade de água disponível para as plantas, que por sua vez é regulada

pela diferença de potencial hídrico entre o solo e a planta, ou sofre com os efeitos tóxicos dos sais responsáveis pelo rebaixamento do potencial hídrico em condições de salinidade.

### Potencial da água na atmosfera ( $\Psi_{atm}$ )

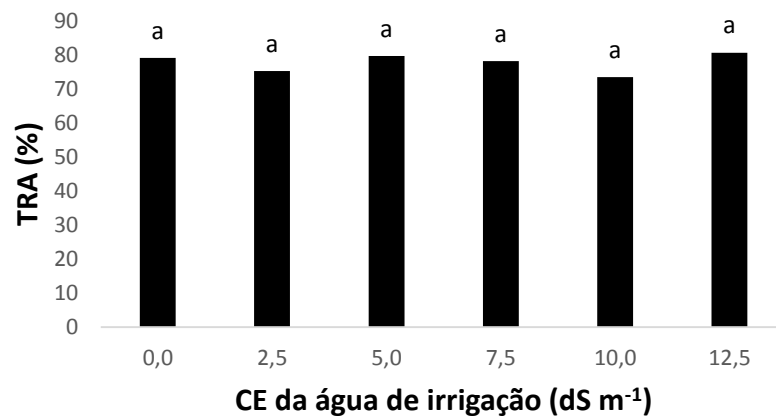
Para o período de determinação do potencial da água na planta (35 DAP), o  $\Psi_{atm}$  variou de aproximadamente -23 a -25 MPa, o que apesar de ser um valor baixo comparado a média noturna, é 30 vezes inferior ao menor valor de potencial de água na planta encontrado no tratamento  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  (0,77MPa) (Figuras 3).



**Figura 3.** Valores mínimos, médios e máximos do potencial da água na atmosfera dos 0 aos 60 dias de cultivo de feijão caupi irrigado com água salina na casa de vegetação onde foi desenvolvido o experimento.

O aumento no  $\Psi_{atm}$  noturno tem um efeito bastante benéfico para a planta. O fechamento dos estômatos durante a noite proporciona uma menor perda de água para a atmosfera. Com isso, a planta absorve e conserva a água do solo, apresentando-se túrgida durante a madrugada. Devido a isso não foram encontradas diferenças significativas entre as condutividades para o teor relativo de água (TRA) ( $P < 0,05$ ) e nem para as fontes de sais utilizadas.

Com a diminuição do potencial osmótico da folha ocorreu a entrada de água na planta para manutenção das atividades fisiológicas, provocando esse equilíbrio no TRA (Figura 4).



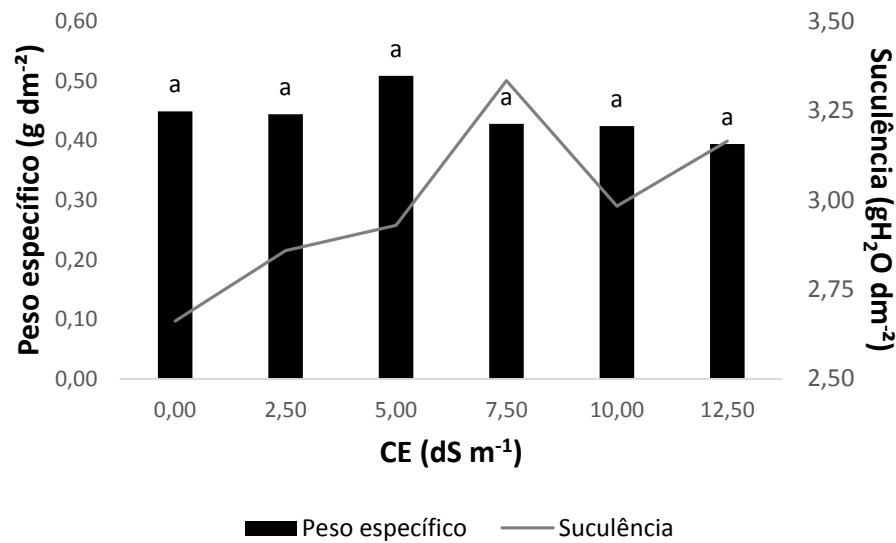
**Figura 4.** Teor relativo de água (TRA) em plantas de feijão caupi cultivado com água salina em função dos valores da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 35 dias após o plantio determinado na madrugada. Letras iguais não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. CV% = 9,88.

Esses resultados evidenciam que o feijoeiro caupi foi capaz de extrair água a potenciais de água no solo de - 0,98 MPa. Resultados diferentes foram encontrados por Shaheen (2013), que encontrou um decréscimo do TRA em função do aumento da salinidade trabalhando com berinjela analisando o TRA das 6:00 as 8:00 horas da manhã.

Como a umidade na planta não variou, ou seja, tinha-se água suficiente para que ocorresse a expansão da células e crescimento dos tecidos, vê-se que a planta consegue suportar os baixos potenciais existentes no solo e continuar com a absorção de água. Diferenças na biometria (mostrados a frente) podem ter ocorrido pelo efeito tóxico dos íons, que afetam, a absorção de nutrientes, a assimilação do CO<sub>2</sub> e a fotossíntese de uma forma geral, ocasionando uma queda na produção de ATP e conseqüentemente diminuindo a formação de novos tecidos nas plantas. Ou pela diminuição da condutância estomática que provoca redução na entrada de CO<sub>2</sub> na planta diminuindo a fotossíntese.

Além do TRA, o peso específico e a suculência também podem sofrer variações em condições de estresse salino. O peso específico não variou com o aumento da CE; ao contrário da suculência, que sofreu alterações com a salinidade (Figura 5).





**Figura 5.** Peso específico e suculência foliar em plantas de feijão caupi cultivado com água salina em função dos valores da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 35 dias após o plantio. Letras iguais não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. Peso específico CV% = 24,95; Suculência CV% = 13,61.

O aumento da suculência, indica o aumento na quantidade de água na planta em relação a sua massa, o que provocou a manutenção do peso específico. Dhingra (2014) encontrou um aumento na suculência foliar da planta de Guar com o aumento do estresse salino. Silva et al. (2010) não encontraram diferenças significativas para o TRA e suculência de plantas de pinhão-manso cultivados sob estresse salino.

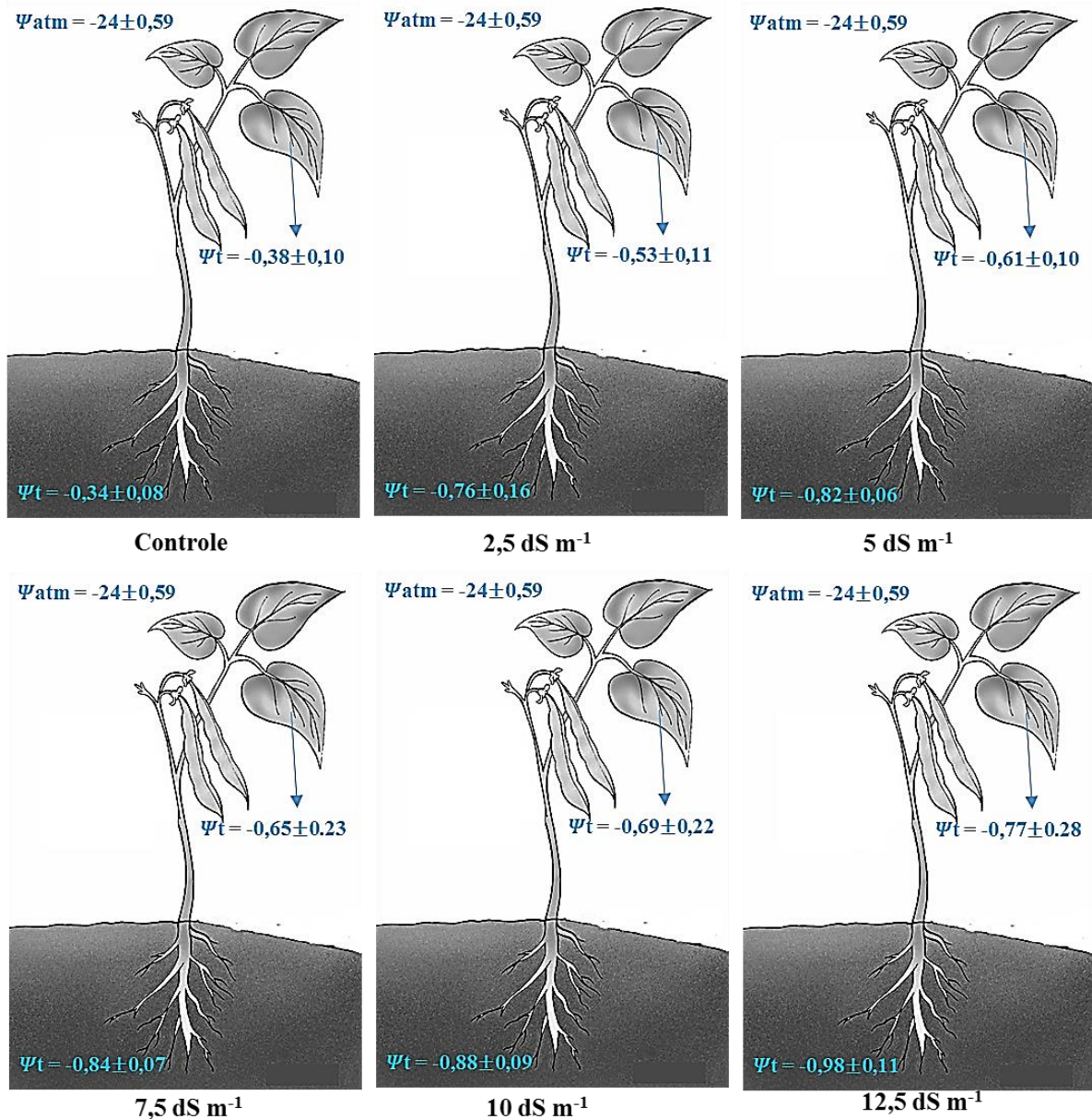
O aumento da suculência indica uma aclimatação da planta ao estresse salino. Pode-se dizer que qualquer efeito deletério do estresse salino nestas condições não ocorreu devido à falta de água para a planta. Segundo Weber (2008), a suculência ajuda a planta a lidar com o estresse salino. A entrada de água e a manutenção do peso específico também indicam uma tolerância ao estresse salino por parte do feijão caupi IPA 206.

### **Relação entre os potenciais hídrico do solo, da planta e da atmosfera**

Apesar de importante, existe pouca informação sobre a relação entre a perda de água noturna e o desequilíbrio entre os potenciais hídrico do solo e da planta na madrugada (BUCCI et al., 2004). Os potenciais hídricos no continuum solo-planta-atmosfera determinam a movimentação da água na planta, e conseqüentemente influenciam nos diversos processos fisiológicos das plantas. Durante o dia, a planta para absorver o CO<sub>2</sub> necessário ao processo fotossintético abre seus estômatos, e nesse processo acaba perdendo água para atmosfera. Essa água perdida da planta para atmosfera, é repostada pela absorção de água pelas raízes. Para que

isso ocorra é necessário que neste continuum exista um gradiente de potencial, onde a planta apresente potencial menor que o solo e maior que a atmosfera.

Durante a noite em plantas C<sub>3</sub> como o feijão caupi, não é realizada nenhuma fase da fotossíntese. Isso provoca o fechamento dos estômatos e a interrupção da perda de água para a atmosfera. Teoricamente a planta continuaria absorver água até que seu potencial hídrico entrasse em equilíbrio com o potencial hídrico do solo. Segundo Katerji & Hallaire (1984) na madrugada o potencial hídrico na folha expressa o equilíbrio entre o potencial hídrico da folha e o potencial hídrico do solo, ou pelo menos existe uma expectativa que o potencial da planta entre em equilíbrio com o potencial da zona radicular (CAIRD et al., 2007). Alguns estudos realizados encontram na verdade desequilíbrio na madrugada entre o potencial de água na planta e no solo, com grandes magnitudes de desequilíbrio ( $\geq 0,5$  MPa) (DONAVAN et al., 2001). Os potenciais hídricos do solo, planta e atmosfera são descritos na Figura 6.



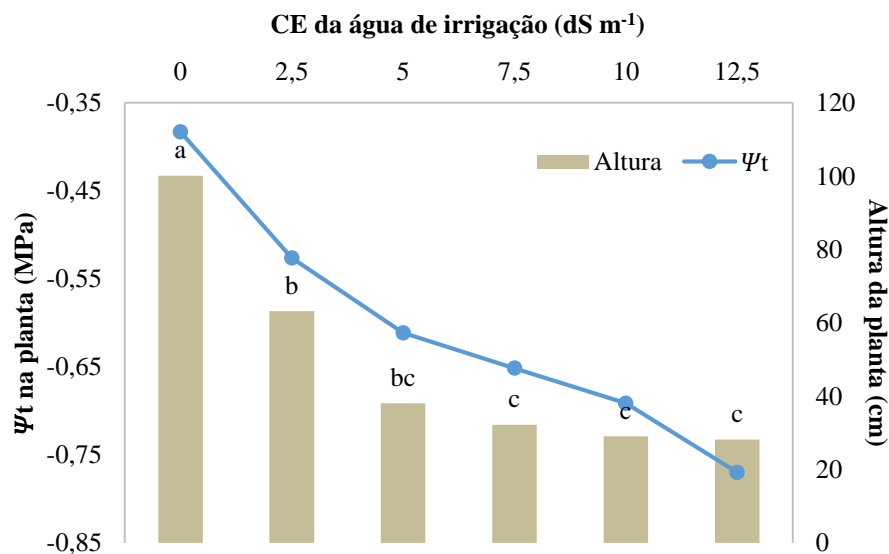
**Figura 6.** Potenciais hídricos (MPa) no continuum solo-planta-atmosfera em cultivo de feijão caupi cultivado com água salina aos 35 dias após o plantio determinados na madrugada.

Nenhum dos tratamentos alcançou o equilíbrio entre os potenciais do solo e da planta na madrugada. Apenas no tratamento controle esses valores se encontravam mais próximos. Nos outros tratamentos a diferença entre as médias dos potenciais do solo e da planta foi de  $-0,2 \pm 0,01$  MPa, expressando um desequilíbrio de baixa magnitude, corroborando com os dados de potenciais hídricos do solo e da planta. A ausência de variações nos valores do TRA indica que a planta em algum momento esteve com o potencial hídrico da folha menor do que o do solo, mais que naquele momento a turgidez proporcionou uma diluição dos sais da folha fazendo com que o potencial hídrico do solo fosse menor e assim cessasse a absorção de água. Apenas o tratamento controle continuou absorvendo água durante a madrugada. Como a

transpiração a noite é mínima e as irrigações eram feitas no fim da tarde, o principal responsável pela entrada de água na planta é o rebaixamento do potencial osmótico, porém a ocorrência de um maior potencial da planta em relação ao solo não apresenta um mecanismo que o justifique. Donavan et al. (2001) encontraram desequilíbrio na madrugada entre os potenciais hídricos da planta e do solo em 16 de 21 espécies vegetais testadas. 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 *Sarcobatus* 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.

### Potencial hídrico e os parâmetros de crescimento da planta

A análise biométrica de uma planta sobre estresse reflete o que está ocorrendo em sua fisiologia. A altura da planta aos 38 DAP reflete o impacto da diminuição do potencial hídrico do solo sob o crescimento do feijão caupi (Figura 7)

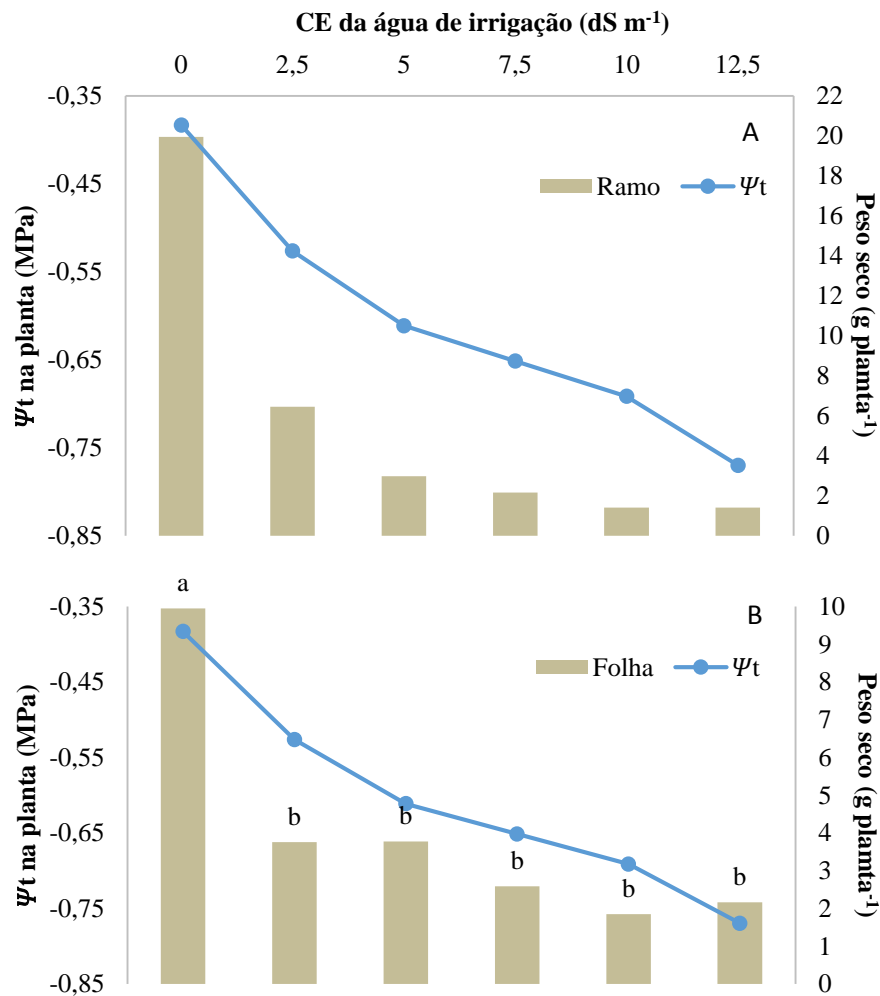


**Figura 7.** Altura das plantas de feijão caupi cultivados com água salina aos 38 dias após o plantio em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE). CV% = 23,56.

As 38 DAP, ou seja, ao fim do ciclo vegetativo da planta, já podem ser observadas diferenças significativas entre os tratamentos. As plantas com tratamento de CE com 2,5 dS m<sup>-1</sup> foram as que menos sofreram com o estresse salino, diminuindo 37% em relação a testemunha. A CE de 12,5 dS m<sup>-1</sup> sofreu uma redução de mais de 70% na sua altura.

Quanto menor o potencial da água na planta maior o seu efeito sobre a altura. Com a diminuição do potencial hídrico a planta tem mais dificuldade para absorver água e nutrientes, impedindo que a planta se desenvolva normalmente. Coelho et al. (2013) e Patel et al. (2010) encontraram redução da altura do feijão caupi com o aumento da salinidade do solo.

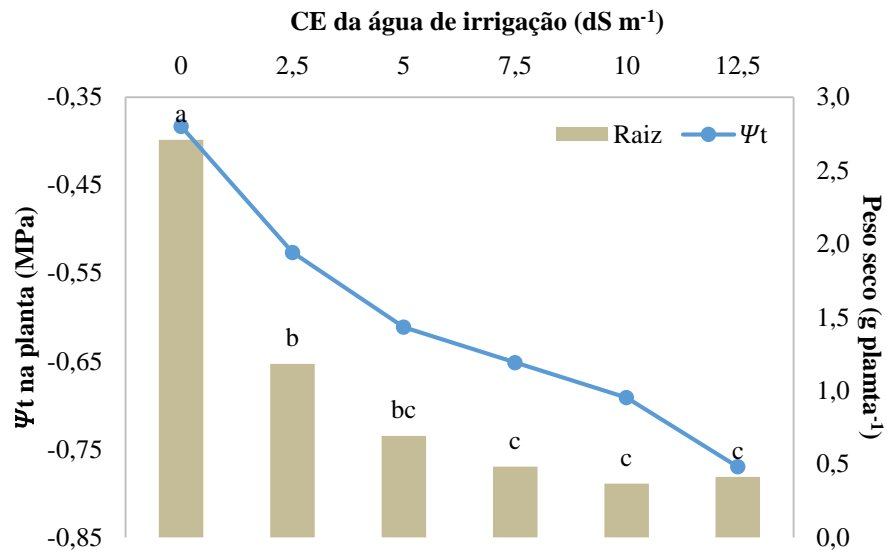
Os dados da biomassa de folhas e ramos (Figura 8) e raiz (Figura 9) auxiliam na discussão dos efeitos da salinidade.



**Figura 8.** Peso seco dos ramos (A) e das folhas (B) em plantas de feijão caupi cultivadas com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 60 dias após o plantio. Folha CV% = 51,15; Ramo CV% = 42,19.

Para peso seco da parte aérea os tratamentos maiores que  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  diferiram da testemunha, ocasionando redução no peso seco da planta. Para o peso seco da folha e dos ramos ocorreu uma redução de 62% e 65 % para o tratamento  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  e de cerca de 80% e 90% para a CE de  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ , respectivamente.

Para raiz os resultados foram semelhantes aos encontrados na parte aérea da planta (Figura 9).

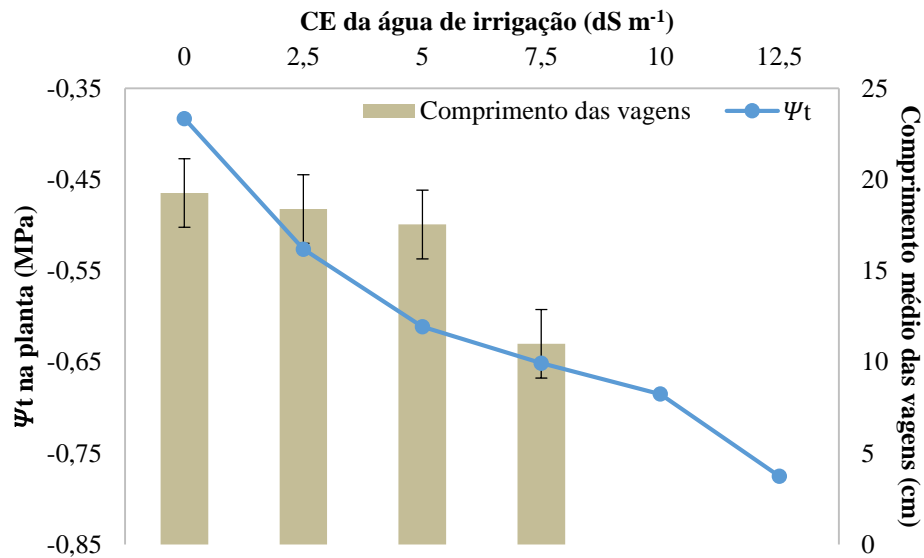


**Figura 9.** Peso seco da raiz em plantas de feijão caupi cultivado com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 60 dias após o plantio. CV% = 33,78.

Ocorreu um decréscimo substancial no peso seco da raiz entre o tratamento testemunha e os demais tratamentos. Não houve diferença significativa entre os tipos de sais ( $P < 0,05$ ). O tratamento com CE de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  provocou uma redução de 56% e de 85% para o tratamento com CE de  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ .

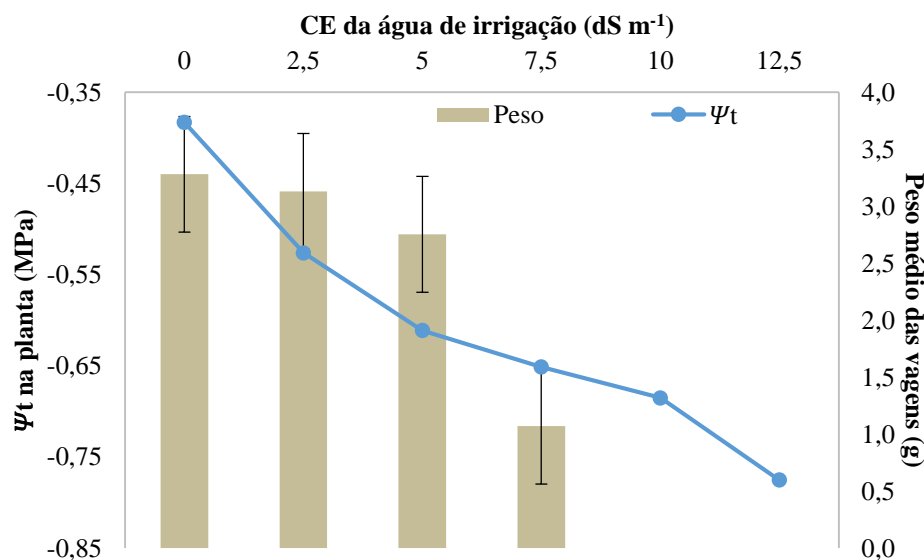
Dhingra (2014), investigando plantas de Guar, cultivado sob estresse salino encontraram redução na altura da planta e no peso fresco e seco das raízes com o aumento da salinidade. Gengmao et al. (2015) encontraram diminuição da altura, peso fresco e seco das plantas cultivando girassol sob concentrações crescentes de NaCl.

A fase reprodutiva do feijão caupi se inicia aos 38 DAP. Devido aos altos níveis de salinidade, os tratamentos de 10 e  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  não apresentaram formação de vagens. Mesmo com a fase reprodutiva podendo durar até os 70 DAP, a coleta do experimento foi antecipada devido a severidade dos danos causados às plantas nos tratamentos mais salinos. O comprimento médio das vagens decresceu em função da CE do solo (Figura 10).



**Figura 10.** Comprimento médio das vagens com seu erro padrão em plantas de feijão caupi cultivado com água salina coletados dos 38 aos 60 dias após o plantio em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE).

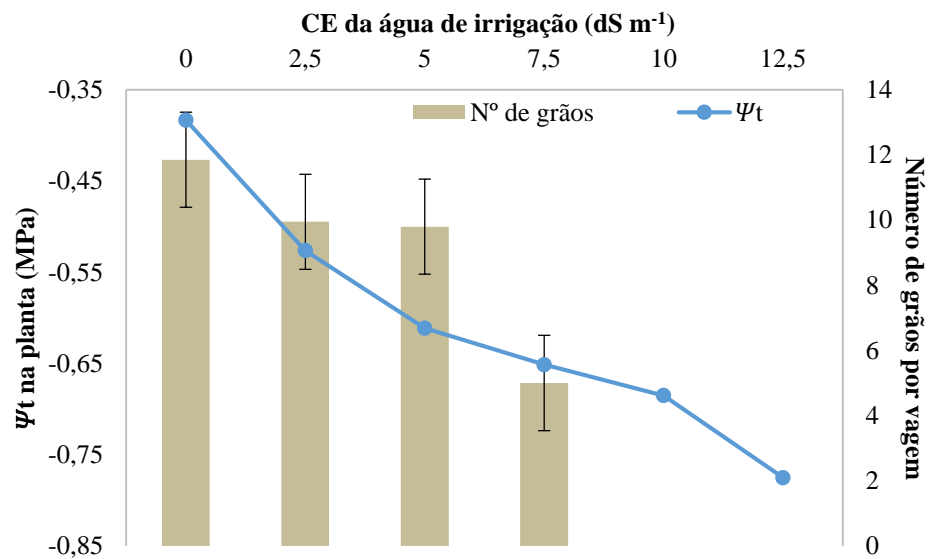
Inicialmente esse decréscimo não é substancial, mas no tratamento 7,5 dS m<sup>-1</sup> ocorre uma diminuição de 40% no comprimento médio das vagens, enquanto para os outros valores de CE não ocorreu redução. O peso médio das vagenstambém decresceu em função da CE (Figura11).



**Figura 11.** Peso médio das vagens com seu erro padrão em plantas de feijão caupi cultivado com água salina coletados dos 38 aos 60 dias após o plantio em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE).

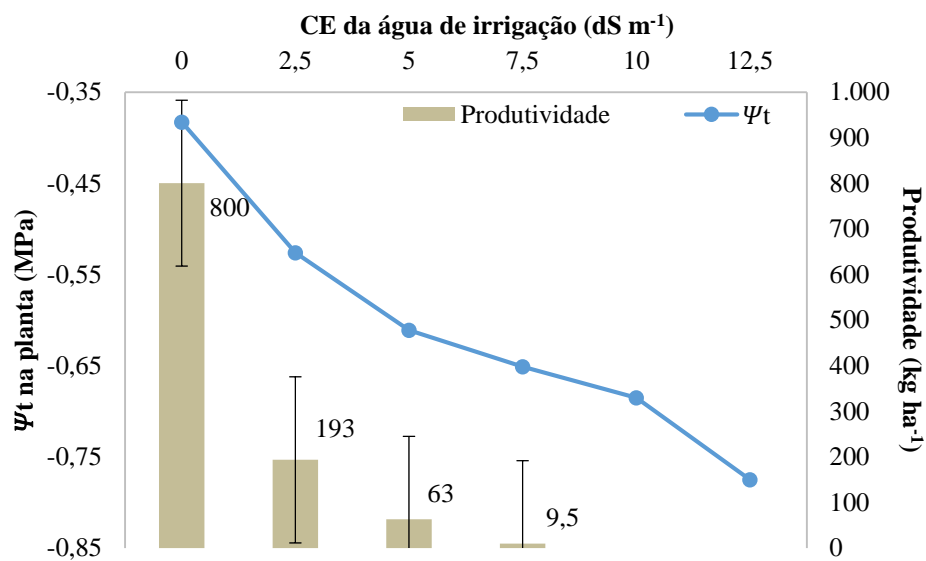
O peso médio das vagens diminuiu em 65% comparando o controle e o tratamento com CE de 7,5 dS m<sup>-1</sup>. Diferente do comprimento médio das vagens, a CE de 5 dS m<sup>-1</sup> também provocou uma redução no peso médio das vagens, cerca de 10%; enquanto as outras CEs não

apresentaram redução. Outro fator avaliado foi o número médio de grãos por vargem (Figura 12).



**Figura 12.** Número médio de grãos com seu erro padrão em plantas de feijão caupi cultivado com água salina coletados dos 38 aos 60 dias após o plantio em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE).

O número médio de grãos por vargem só apresentou maiores alterações para o tratamento com CE  $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ , apresentando uma redução de 50% em relação ao controle. Os dados de produtividade traduzem de melhor forma o impacto do menor número de grãos no tratamento com CE  $7,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 13).



**Figura 13.** Produtividade com seu erro padrão em plantas de feijão caupi cultivado com água salina coletados dos 38 aos 60 dias após o plantio em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) e com densidade de 50000 plantas/hectare.

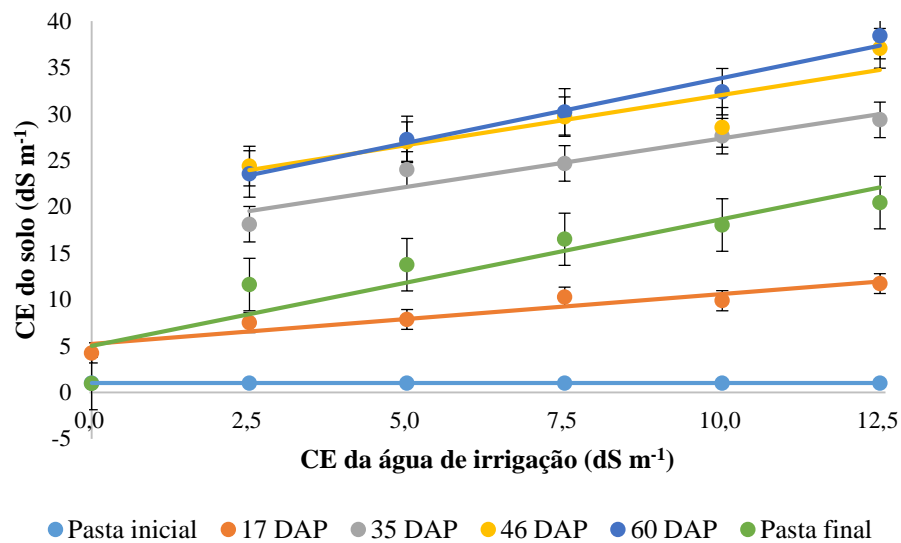


Considerando uma densidade de 50000 plantas  $h^{-1}$  a produtividade apresentou diminuição drástica já a partir da CE 2,5  $dS\ m^{-1}$ , reduzindo de 800  $kg\ ha^{-1}$  para 193  $kg\ ha^{-1}$  (redução de 75%), a CE 5  $dS\ m^{-1}$  apresentou produtividade de 63  $kg\ ha^{-1}$  (redução de 92%) e a 7,5  $dS\ m^{-1}$  de 9,5  $kg\ ha^{-1}$  (redução de 99%), ou seja, o peso dos grãos sofreu bastante com a diminuição dos potenciais de água no solo e na planta. Mass & Poss (1988) encontraram redução na produção de sementes e de vagens de feijão caupi com o aumento do potencial osmótico da água de irrigação.

No Nordeste brasileiro registram-se baixos rendimentos no cultivo do feijão. Para a safra 2010- 2011 a produtividade foi de 482  $kg\ ha^{-1}$  (CONAB, 2011). A produtividade em sequeiro do feijão caupi IPA 206 é de 340  $kg\ ha^{-1}$  (SANTOS et. al, 2008). Martins et al. (2003) encontraram produtividade no feijão caupi IPA 206 irrigado de 693  $kg\ ha^{-1}$ . Dantas et al. (2002) encontraram produtividades de 240, 123 e 60,5  $kg\ ha^{-1}$  para o feijão IPA 206 em condições de salinidade considerando uma densidade de 50000 plantas  $ha^{-1}$  para as CEs 3, 6 e 9  $dS\ m^{-1}$  no solo de cultivo respectivamente.

### **Evolução da salinidade do solo**

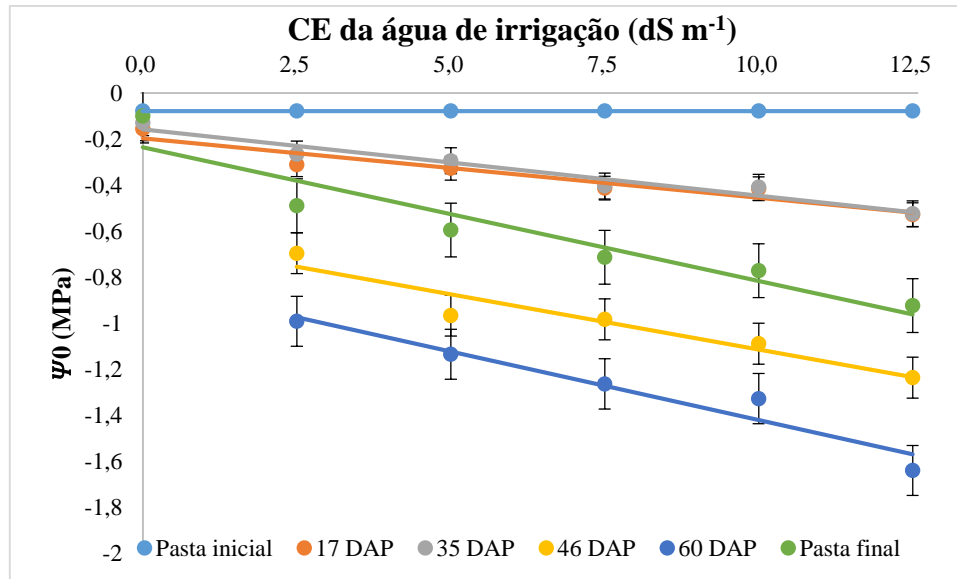
A condutividade elétrica inicial do solo (medida na solução extraída pela pasta de saturação) apresentou valor próximo a 1  $dS\ m^{-1}$  antes do experimento; aos 17 DAP evidencia-se o aumento nos valores da CE do solo, o que continua ocorrendo ao longo do experimento (Figura 17). A partir de 35 DAP os tratamentos testemunhas não apresentaram solução na cápsula extratora. Todos os tratamentos ocasionaram elevação da salinidade, sendo mais pronunciado aos 60 DAP. Nessa data, quando medida na solução extraída com a cápsula extratora a CE do solo foi de 38,44  $dS\ m^{-1}$  (CE 12,5  $dS\ m^{-1}$ ). Na solução extraída pela pasta de saturação ao final do experimento (60 DAP) observou-se um valor de 20,33  $dS\ m^{-1}$  para o tratamento em que se aplicou 12,5  $dS\ m^{-1}$ . Vale salientar que há uma diferença entre os valores de CE obtidos da solução extraída da cápsula extratora e da pasta de saturação, em que a última por ser mais diluída apresenta valores mais baixos. Existe uma relação na literatura (GHEYI et al., 2010) em que a CE na capacidade de campo é o dobro daquela encontrada na pasta de saturação. Souza et al. (2013) também apresentam diversos métodos e suas diferenças quanto aos valores de CE e potencial osmótico para o mesmo tipo de solo utilizado nesse experimento.



**Figura 17.** Condutividade elétrica do solo com seu erro padrão durante o período experimental para todos os tratamentos. 17 DAP CV% = 12,32; 35 DAP CV% = 7,28; 46 DAP CV% = 8,42; 60 DAP CV% = 6,33; Pasta final CV% = 13,31.

O feijão caupi tolera a irrigação com água salina com condutividade elétrica de até 3,3 dS m<sup>-1</sup> e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo de até 4,9 dS m<sup>-1</sup>, sendo considerada, portanto, uma espécie moderadamente tolerante à salinidade (Ayers & Westcot, 1999). Coelho et al. (2013), trabalhando com feijão-caupi e níveis de salinidade de 2,0, 4,0, 8,0 e 12,0 dS m<sup>-1</sup> constataram que, a partir de um nível de CE do extrato de saturação do solo igual a 4,00 dS m<sup>-1</sup>, decréscimos drásticos na biometria da planta já podiam ser observados. Almeida et al. (2012) encontraram diminuição de mais de 20 % na matéria seca da parte aérea em 10 variedades de feijão caupi com a salinidade da água de irrigação com 5,0 dS m<sup>-1</sup>. Nascimento et al. (2013) cultivando feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade e utilizando fração de lixiviação de 20% observaram reduções no diâmetro do caule e no número de folhas a partir da CE 0,6 dS m<sup>-1</sup>.

Não houve diferença significativa entre os tipos de águas de irrigação para o potencial osmótico do solo ( $P < 0,05$ ). As maiores CEs apresentam os menores valores de  $\Psi_o$ , e com o passar do tempo ocorreu uma redução dos valores para todos os tratamentos com sais (Figura 18).



**Figura 18.** Potencial osmótico do solo com seu erro padrão relacionados com os valores de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação durante o experimento. 17 DAP CV% = 15,42; 35 DAP CV% = 19,12; 46 DAP CV% = 9,25; 60 DAP CV% = 9,01; Pasta final CV% = 17,66.

A concentração de sais no solo aumenta em razão da maior parte da água ser removida pela evapotranspiração. Quando o sistema é fechado (vaso sem drenagem) os sais só são retirados do solo quando extraídos pelas plantas. O potencial osmótico do solo inicial era de -0,08 MPa e evoluiu para o mais alto valor encontrado no final do cultivo, em que a CE 12,5 dS m<sup>-1</sup> ocasionou um valor de potencial osmótico de -1,64 MPa. Aos 60 DAP, o potencial osmótico do tratamento com CE de 2,5 dS m<sup>-1</sup> alcançou -0,99 MPa, ou seja, no fim do cultivo todos os tratamentos apresentavam baixos valores de potencial osmótico, o que limitou a capacidade de produção de biomassa da cultura.

Coelho et al. (2014) também encontraram decréscimo do potencial osmótico em Neossolo flúvico franco-arenoso e franco-argiloso com o passar do tempo e com o aumento da salinidade.

## CONCLUSÕES

- 1) Não houve diferença significativa entre as fontes de sais usadas na composição da água de irrigação para o potencial osmótico e hídrico do solo e da planta;
- 2) A CE de  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  provocou uma redução de 213% para o potencial osmótico e de 50% para o potencial hídrico na planta em relação ao controle;
- 3) Não ocorreu equilíbrio entre os potenciais hídricos do solo e da planta na madrugada.
- 4) O Comprimento das vagens, peso médio das vagens e número médio de grãos por vagem apresentaram maiores reduções para o tratamento com CE  $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ .
- 5) A salinidade da água de irrigação a partir da CE de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  limitou a produção de feijão caupi afetando sua produtividade.

## BIBLIOGRAFIA

- ADOLF, V. I.; JACOBSENA, S.; SHABALA, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 43– 54, 2013.
- AKRAM, N.; A.; ASHRAF, M.; AL-QURAINY, F. Aminolevulinic acid-induced changes in some key physiological attributes and activities of antioxidant enzymes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants under saline regimes. **Scientia Horticulturae**, v. 142, p. 143-148, 2012.
- ALMEIDA, W. S.; FERNANDES, F. R.; BERTINI, C. H. D. M.; PINHEIRO, M. D. S.; TEÓFILO, E. M. Emergência e vigor de plântulas de genótipos de feijão-caupi sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p.1047-1054, 2012
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. **Revistas brasileira de engenharia agrícola e Ambiental**, v.15, p. 410-415, 2011.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água para irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- BARROS, M. A.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. J. D.; NEVES, A. C. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 48, p 403-410, 2013.
- BAYUELO-JIMÉNEZ, J. S.; DEBOUCK, D. G.; LYNCH, J. P. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. **Field Crops Research**, v. 80, p. 207-222, 2003.
- BEZBORODOV, G. A.; SHADMANOV, D. K.; MIRHASHIMOV, R. T.; YULDASHEV, T.; QURESHID, A. S.; NOBLEE, A.D.; QADIR, M. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 138, p. 95–102, 2010.
- BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; HINOJOSA, J. A.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. **Tree Physiology**, v. 24, p. 1119-1127, 2004.
- CAIRD, M. A.; RICHARDS, J. H.; DONOVAN, L. A. Nighttime stomatal conductance and transpiration in C3 and C4 plants. **Plant Physiology**, v. 143, p. 4-10, 2007.
- CARDONA-AYALA, C. E.; JARMA-OROZCO, A.; ARAMÉNDIZ-TATIS, H.; PERNETH-MONTAÑO, M.; VERGARA-CÓRDOBA, C. A. Gas exchange and mass distribution of the cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) under water deficit. **Agronomía Colombiana**, v. 31, p. 288-296, 2013.
- CHEN, H.; JIANG, J. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environmental Reviews*, v.18, p. 309-319, 2010.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; NETO, E. B.; CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 379–385, 2013.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; NETO, E. B.; SOUZA, E. R. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p.708-713, 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra Brasileira: grãos, sexto levantamento, março de 2011. Conab, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Oitavo levantamento de avaliação da safra 2007/2008. Brasília. 2008. 22p. Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra8\\_levantamento\\_mai2008.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra8_levantamento_mai2008.pdf). Acesso em: 19/07/2013.

DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. S. N. ANDRADE, S. I. O.; SALES, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 425-430, 2002.

DELFT, E. M. Transpiration in succulent plants. **Annals of Botany**, v. 2, p. 409-442, 1912.

DHINGRA, H. R. Effect of salinity stress on morpho-physiological, biochemical and yield characters of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 393-398, 2014.

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, 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, 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, p. 463-470, 2003.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo de feijão caupi**. Teresina, 2003. 108 p.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

FERREIRA, P. A. **Manejo de Água: Plantas em solos salinos**. Viçosa-MG. UFV/DE. 1998. 93 p.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: Avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. D. M.; SILVA, K.; NOGUEIRA, M.; RODRIGUES, E. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. **IV Reunião nacional de Biofortificação**. Teresina, PI. 2011.

GENGMAO, Z.; YU, H.; XING, S.; SHIHUI, L.; QUANMEI, S.; CHANGHAI, W. Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p.175-181, 2105.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. INCT Sal: Fortaleza, 2010.

GLENN, E.P.; MCKEON, C.; GERHART, V.; NAGLER, P.L.; JORDAN, F.; ARTIOLA, J. Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. **Landscape and Urban Planning**. v. 89, p. 57–64, 2009.

GÓMEZ-BELLOT, M. J.; ÁLVAREZ, S.; BAÑÓN, S.; ORTUÑO, M. F.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Physiological mechanisms involved in the recovery of euonymus and laurustinus subjected to saline waters. **Agricultural Water Management**, v. 128, p. 131-139, 2013.

GRIEVE, C. M.; GRATTAN, S. R.; MAAS, E. V. Plant salt tolerance. IN: WALLENDER, W. W.; TANJI, K. K. ASCE Manual and reports on Engineering No. 71. **Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition)**. ASCE, Reston, VA. Chapter 13, p. 405–459, 2012.

IPA. **Manual de Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2a. aproximação**. 2 ed. rev. Recife, 2008. 212p.

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, p. 139-147, 2006.

JOGAIAH, S.; RAMTEKE, S. D.; SHARMA, J.; UPADHYAY, A. K. Moisture and Salinity Stress Induced Changes in Biochemical Constituents and Water Relations of Different Grape Rootstock Cultivars. **International Journal of Agronomy**, 2014.

KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. **Agronomie**, v. 4, p. 999-1008, 1984.

KUSVURAN, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, p. 775-781, 2012.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, v. 2, p.79–86, 2007.

LV, S.; JIANG, P.; CHEN, X.; FAN, P.; WANG, X.; LI, Y. Multiple compartmentalization of sodium conferred salt tolerance in *Salicornia europaea*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 51, p. 47-52, 2012.

MAAS, E. V.; POSS, J. A. Salt sensitivity of cowpea at various growth stages. **Irrigation Science**, v. 10, p. 313-320, 1989.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p.660-666, 2013.

MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO, J.R.A.; NEVES, M.C.P.; MORGADO, L.B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, p.333-339, 2003.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C.A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine betaine accumulation in *Prosopis alba*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 16, p. 39-46, 2004.

MUDGAL, V.; MADAAN, N.; MUDGAL, A. Biochemical Mechanisms of Salt Tolerance in Plants: A Review. **International Journal Botany**, v. 6, p. 136-143, 2010.

NASCIMENTO, R. D.; ANDRADE, J. R.; MAIA JÚNIOR, S. D. O.; BARBOSA, J. W. D. S., ALENCAR, A. E. V. D.; Sousa, J. S. Crescimento de genótipos de feijão caupi irrigados com água salina. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, p. 41-45, 2013.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C.; FILHO, F. R. F.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 853-860, 2011.

NISHIDA, K.; KHAN, N.M.; SHIOZAWA, S. Effects of salt accumulation on the leaf water potential and transpiration rate of pot-grown wheat with a controlled saline groundwater table. **Soil Science and Plant Nutrition**. v. 55, p. 375–384, 2010.

NOREEN, Z.; ASHRAF, M.; AKRAM, N. A. Salt-induced regulation of photosynthetic capacity and ion accumulation in some genetically diverse cultivars of radish (*Raphanus sativus* L.). **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 85, p. 91, 2012.

OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L. M.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E Accumulation of organic and inorganic solutes in NaCl stressed sorghum seedlings from aged and primed seeds. **Scientia Agrícola**, v. 68, p.632-637, 2011.

PATEL, P. R.; KAJAL, S. S.; PATEL, V. R.; PATEL, V. J.; KHRISTI, S. M. Impact of salt stress on nutrient uptake and growth of cowpea. **Journal Plant Physiology**, v. 22, p. 43-48, 2010.

RAZZAGHI, F.; AHMADI, S. H.; ADOLF, V. I.; JENSEN, C. R.; JACOBSEN, S. E.; ANDERSEN, M. N. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, p. 348-360, 2011.



RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 1017–1023, 2006.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

SANTOS, C. A. F.; BARROS, G. A. A.; SANTOS, I. C. C.; FERRAZ, M. G. S. Comportamento agronômico e qualidade culinária de feijão-caupi no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 3, p. 404-408, 2008.

SHAHEEN, S.; NASEER, S.; ASHRAF, M.; AKRAM, N. A. Salt stress affects water relations, photosynthesis, and oxidative defense mechanisms in *Solanum melongena* L. **Journal of Plant Interactions**, v. 8, p. 85-96, 2013.

SILVA, E. D.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 1130-1137, 2010.

SILVEIRA, J.A.G.; ARAÚJO, S.A.M.; LIMA, J.P.M.S.; VIÉGAS, R.A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, v.66, p.1-8, 2009.

SLATYER, R. O. **Plant-water relationships**. Academic Press, N. Y. 1967.

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

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

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. **New Phytologist**, v. 49, p. 81-97, 1950.

WEBER, D.J. Adaptive mechanisms of salt tolerant plants in desert regions. In: Salinity and water stress. **Springer Netherlands**, v. 44, p. 179-185, 2008.

**CAPÍTULO II: Trocas gasosas e efluxo de CO<sub>2</sub> em cultivo de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigado com água salina**

## **Trocas gasosas e efluxo de CO<sub>2</sub> em cultivo de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigado com água salina**

### **RESUMO**

Medições instantâneas de trocas gasosas em vegetais cultivados sob estresses abióticos são de grande relevância, especialmente para identificar a tolerância e prever o crescimento e produtividade. Associado a isso, a emissão de CO<sub>2</sub> do solo é afetada pelo mesmo tipo de estresse que acomete a planta, uma vez que a microbiota do solo também é afetada. Assim, foi realizado um experimento em casa de vegetação, cultivando o feijão IPA 206 irrigado com águas de seis níveis de condutividade elétrica: 0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup>, formuladas a partir de NaCl e de uma mistura de sais com NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub>, semelhante a composição iônica das águas de poços da região de coleta do solo. O experimento foi conduzido em arranjo fatorial 6x2 em blocos ao acaso com quatro repetições pelo período de 60 dias. Aos 20 dias após o plantio (DAP) foram determinados os parâmetros (déficit de pressão de vapor, fotossíntese líquida, eficiência de uso da água, eficiência intrínseca de uso da água, eficiência instantânea da carboxilação) relacionados com as trocas gasosas na planta por meio do Infra-red gas analyser (IRGA Modelo LICOR XT6400) em folhas do terço médio da planta. Aos 60 DAP foi medido o efluxo de CO<sub>2</sub> no solo com uma câmara de fluxo de CO<sub>2</sub> (Modelo 6400-09). O déficit de pressão de vapor aumentou com a elevação dos níveis de salinidade, reduzindo também a condutância estomática e assimilação de CO<sub>2</sub>. O aumento da CE da água de irrigação provocou um incremento médio de 16% na eficiência de uso da água. A concentração interna de CO<sub>2</sub> sofreu uma redução média de 13%. A eficiência instantânea da carboxilação sofreu um decréscimo de 59% para a CE 12,5 dS m<sup>-1</sup> ocasionada principalmente pela diminuição da fotossíntese, que foi bem maior do que a da concentração interna de CO<sub>2</sub>. A temperatura do solo não apresentou diferença significativa para a condutividade elétrica e tipo de sal. O efluxo de CO<sub>2</sub> no solo apresentou diferença significativa entre os sais e entre as CE's. Para os tratamentos com NaCl apresentou uma redução média de 77% e para os tratamentos com mistura apresentou uma redução de 82% para a CE 12,5 dS m<sup>-1</sup> em relação ao controle.

**Palavras-chave:** Condutância estomática, fotossíntese, estresse salino.

*Gas exchange and CO<sub>2</sub> efflux in cultivation Cowpea beans Vigna unguiculata (L.) Walp irrigated with saline water*

**ABSTRACT**

Instantaneous measurements of gas exchange in plants cultivated under abiotic stresses are of great importance, especially to identify tolerance and predict the growth and productivity. Associated with this, and soil CO<sub>2</sub> emission is affected by same type of stress that affects the plant, since soil microbiota is also affected. Thus, an experiment was conducted in a greenhouse, cultivating the beans IPA 206 irrigated with water six levels of electrical conductivity: 0; 2.5; 5; 7.5; 10 and 12.5 dS m<sup>-1</sup>, formulated from a mixture of NaCl and salts NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub>, with similar ionic composition of the water wells of the soil collection region. The experiment was conducted in factorial arrangement 6 x 2, in blocks randomized with four replications during 60 days. At 20 days after planting (DAP) were determined parameters (vapor pressure deficit, net photosynthesis, leaf transpiration, internal CO<sub>2</sub> concentration, relationship between the internal concentration and CO<sub>2</sub> environment, water use efficiency, intrinsic water use efficiency, instantaneous efficiency of carboxylation) related to gas exchange in the plant through the Infrared gas analyzer (IRGA Model LIQUOR XT6400) in leaves of middle third plants. At 60 DAP was measured CO<sub>2</sub> efflux in soil with a CO<sub>2</sub> flux chamber (Model 6400-09). The vapor pressure deficit increased with increasing salinity levels, also reducing stomatal conductance and CO<sub>2</sub> assimilation. Increased EC water irrigation caused an average increase of 16% in the efficiency of water use. The average internal CO<sub>2</sub> concentration reduced 13%. The instantaneous efficiency of carboxylation decrease 59% in CE 12.5 dS m<sup>-1</sup> caused mainly by decrease in photosynthesis, which was more than the internal concentration CO<sub>2</sub>. The soil temperature was not significantly different for the electrical conductivity and type of salt. The soil CO<sub>2</sub> efflux presented significant differences between the salts and the EC's. The treatments with NaCl decreased 77% and for the treatments with mixture decreased 82% for the EC 12.5 dS m<sup>-1</sup> compared to control.

**Keywords:** Stomatal conductance; Photosynthesis; Salinity stress.

## INTRODUÇÃO

Um problema ambiental que tem causado grandes prejuízos a agricultura no mundo é a salinização dos solos. A salinidade do solo provoca o estresse salino, que limita o crescimento das culturas (KRONZUCKER & BRITTO, 2011). Estima-se que 20% das terras cultivadas e 50% das terras irrigadas no mundo estejam afetadas pela salinidade (QADIR et al., 2008).

O efeito da toxidez induzido pela salinidade pode causar danos agudos a fotossíntese devido às alterações nas trocas gasosas, causando limitações a condutância estomática e a outros processos bioquímicos (SILVA et al., 2011). Segundo Nazar et al. (2011) o estresse salino causa redução na fotossíntese, condutância estomática e na concentração interna de CO<sub>2</sub>. Rodrigues et al. (2014) relatam que os parâmetros de trocas gasosas, tais como a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância estomática e eficiência instantânea de carboxilação são fortemente afetadas pela salinidade, principalmente em alta concentração de NaCl. Neves et al. (2009); Silva et al. (2013b) e Soares et al. (2013) verificaram que o aumento da concentração salina das águas reduziu a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração da cultura do feijão-caupi.

A mensuração do efluxo do CO<sub>2</sub> é um parâmetro de grande utilidade quando se pretende avaliar os efeitos da salinidade sobre a microbiota do solo. O efluxo de CO<sub>2</sub> no solo é resultado de dois processos: O primeiro é a produção de CO<sub>2</sub> no solo pela respiração das raízes e microrganismos; o segundo é o transporte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (FANG et al., 1998). A respiração inclui todo CO<sub>2</sub> advindo da respiração das raízes e microrganismos, enquanto o efluxo de CO<sub>2</sub> só contabiliza o que é liberado para a atmosfera, sem considerar o que permanece no solo. Porém, como a maior parte do CO<sub>2</sub> produzido pela respiração em algum momento será liberada para a atmosfera, ela acaba refletindo a respiração do solo (RAICH et al., 1985)

O aumento da área irrigada e a diminuição da disponibilidade de água de boa qualidade têm incrementado a utilização de águas marginais, com diferentes níveis de salinidades (OLIVEIRA et al., 2011). A utilização de água de baixa qualidade para a irrigação torna-se um fator limitante para a produção vegetal, uma vez que a salinidade inibe o crescimento das plantas, em função dos efeitos osmóticos e tóxicos dos íons (MUNNS, 2002). A salinidade do solo afeta principalmente as regiões áridas e semiáridas no mundo, onde a alta demanda evapotranspirativa e a baixa pluviosidade contribuem para o aparecimento do problema.

As leguminosas são um dos mais importantes alimentos nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África, Sul da Europa e América Central e do Sul (CHA-UM et al, 2013). O feijão caupi uma das principais leguminosas que serve como fonte de alimento no mundo

(SINGH et al., 2003). Cultivado numa área de mais de 12 milhões de hectares (VIJAYKUMAR et al., 2010), o feijão caupi é uma planta herbácea tropical que contém em suas sementes secas ou frescas (23-32% de proteína e 64% de carboidrato) tendo as vagens imaturas, e até as folhas utilizados para consumo humano (THIAM et al., 2013). É uma cultura de grande importância socioeconômica das regiões Norte e Nordeste do Brasil, não só pela ampla aceitação popular como também pelo seu alto valor nutritivo (FREIRE FILHO et al., 2005).

O grau de tolerância do feijão-caupi ao estresse salino varia entre os diferentes genótipos (DANTAS et. al., 2002). Ayers & Westcot (1999) o consideram uma espécie moderadamente tolerante à salinidade da água de irrigação, apresentando salinidade limiar de  $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ . A salinidade pode afetar as plantas de diversas formas, como diminuição da área foliar, diminuição do tamanho da planta, menor absorção de água e nutrientes, mas todos os danos convergem para alterações no aparato fotossintético. Sob exposição a salinidade o aumento da concentração de íons no tecido foliar e a atividade bioquímica dos vegetais pode ser afetada.

Tendo em vista a grande área de solos salinizados no mundo e a importância do feijão caupi para Brasil, principalmente para o Nordeste, o objetivo dessa pesquisa é investigar os efeitos da salinidade na cultura do feijão cultivado com água de seis níveis de salinidade (0; 2,5; 5; 7,5; 10 e  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) elaboradas somente com NaCl e, também, uma mistura de sais semelhante à água encontrada no local de coleta do solo onde a cultura será cultivada. Para isso serão utilizadas variáveis como, déficit de pressão de vapor, condutância estomática, fotossíntese líquida, eficiência de uso da água, eficiência intrínseca de uso da água e eficiência instantânea da carboxilação. Ainda, com o intuito de observar os efeitos provocados pela salinidade na microbiota do solo será estimado o efluxo de  $\text{CO}_2$  utilizando-se de uma câmara de fluxo de  $\text{CO}_2$  acessório do IRGA (Modelo 6400-09).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Coleta e preparo do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado no Município de Pesqueira - PE, na profundidade de 0-30 cm e classificado como Neossolo Flúvico de acordo com a classificação da EMBRAPA (2013), isento de problemas de salinidade e sodicidade. Posteriormente, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm para a conservação dos microagregados.

### Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA) os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis extraídos por acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ ; o extrato de saturação foi obtido através do preparo da pasta de saturação (RICHARDS, 1954), onde mediu-se a condutividade elétrica e determinadas as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com  $\text{AgNO}_3$  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 <sub>es</sub>	8,17	pH <sub>(1:2,5)</sub>	7,70	Na/Ca	1,42
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,99	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,53	Na/Mg	7,09
Ca <sup>2+</sup> (mmol L <sup>-1</sup> )	19,07	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,22	Na/K	19,31
Mg <sup>2+</sup> (mmol L <sup>-1</sup> )	3,81	Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,26	Na/Cl	10,24
Na <sup>+</sup> (mmol L <sup>-1</sup> )	27,04	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,50	Cl/Ca	0,14
K <sup>+</sup> (mmol L <sup>-1</sup> )	1,40	SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	8,51	Cl/Mg	0,69
Cl <sup>-1</sup> (mmol L <sup>-1</sup> )	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

pH<sub>es</sub>: 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 <sup>-1</sup>					g cm <sup>-3</sup>		%		g g <sup>-1</sup>			
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

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco coordenadas 08° 00' 59,9'' S e 34° 56' 38,6'' W durante os meses de março a maio de 2014, totalizando 60 dias de acompanhamento. Foram cultivadas plantas de *Vigna unguiculata* em vasos com capacidade para seis litros de solo, sendo duas plantas por vaso, estes preenchidos com o solo peneirado em malha de 4 mm. Antes do plantio das sementes de feijão o vaso foi irrigado com 1,39 litros de água, volume que corresponde a uma umidade de 80% da capacidade de campo em base de massa. Foram plantadas 5 sementes por vaso e 5 dias após o plantio (DAP) foi realizado o desbaste deixando-se apenas duas plantas por vaso. O vaso continha 7,44 kg de material de solo. Para suprir as necessidades nutricionais da cultura foi realizada uma adubação com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 20 kg ha<sup>-1</sup> de P e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K na fundação e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na cobertura segundo o Manual de Recomendação de Adubação do instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA, 2008).

### Tratamentos

O solo foi irrigado com águas de condutividades elétricas de 0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> elaboradas a partir de NaCl e de uma mistura de Ca, Mg, Na, e K, simulando a composição encontrada em poços usados para a irrigação na região de Pesqueira-PE (Tabela 3).



**Tabela 3.** Quantidades necessárias de sal ( $\text{g L}^{-1}$ ) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais e o potencial osmótico das soluções (Mpa).

CE	Fontes de água								
	Cloreto de Sódio		Mistura de Sais						
	dS $\text{m}^{-1}$	NaCl	$\Psi_o$	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Total	$\Psi_o$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	1,3600	-0,1044	1,0510	0,0050	0,3060	0,2440	1,6060	-0,1171	
5	2,9060	-0,2227	1,9900	0,0130	0,5560	0,4430	3,0020	-0,2334	
7,5	4,6690	-0,3578	3,2010	0,0160	0,8860	0,6930	4,7960	-0,3458	
10	6,6500	-0,5096	4,6500	0,0270	1,2970	1,0060	6,9800	-0,5382	
12,5	8,8260	-0,6763	6,5010	0,0400	1,8230	1,4090	9,7730	-0,7063	

### Manejo hídrico da cultura

A irrigação era realizada ao final do dia utilizando-se de um becker e repondo a água perdida por evapotranspiração aferida por uma balança digital. Durante os sete primeiros dias se utilizou água destilada e, a partir do oitavo dia, utilizou-se água com valores de CE de modo crescente para que não houvesse o choque osmótico. Assim, todos os vasos foram equilibrados com as CE's correspondente aos tratamentos aos 16 DAP.

### Determinação das trocas gasosas e efluxo de CO<sub>2</sub> do solo

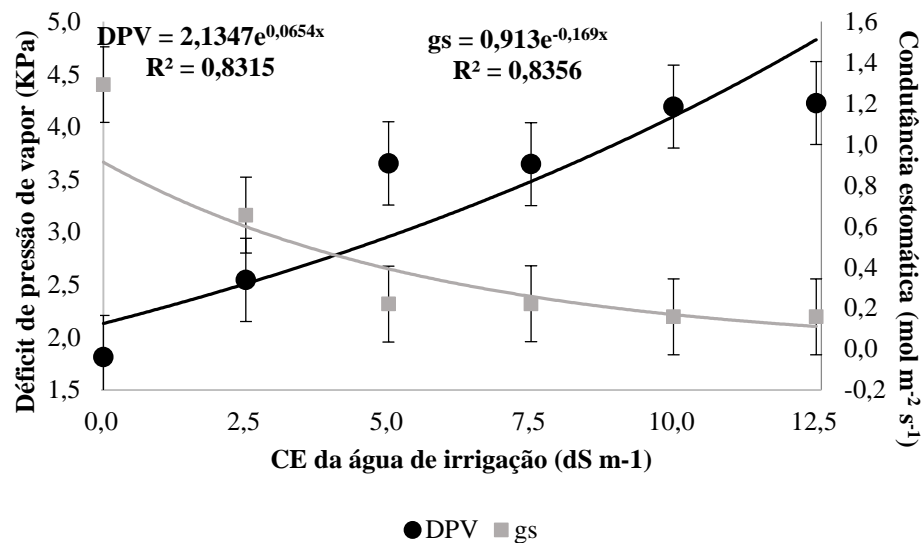
Aos 20 DAP foram determinadas a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), o déficit de pressão de vapor (DVP<sub>folha-ar</sub>), eficiência de uso da água A/E (EUA), eficiência intrínseca de uso da água calculado por A/gs (EIUA) e Eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) utilizando-se o Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo LICOR XT6400). Aos 60 DAP foi determinado o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo com o auxílio de uma Câmara de fluxo de CO<sub>2</sub> (Modelo 6400-09) acoplada ao IRGA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Déficit de pressão de vapor e Condutância estomática

Não ocorreu diferença significativa entre os tipos de sais para déficit de pressão de vapor ( $P < 0,05$ ). As CE's apresentaram diferença significativa ( $P < 0,01$ ) (Figura 1). A CE de 2,5  $\text{dS m}^{-1}$  apresentou um aumento de 40% em relação a testemunha. O aumento máximo foi de 133% para a CE de 12,5  $\text{dS m}^{-1}$ .

Aos 20 DAP não houve diferença significativa entre as fontes de sais ( $P < 0,05$ ), mais ocorreu redução significativa entre as CE's para a condutância estomática ( $P < 0,01$ ) (Figura 1). A condutividade elétrica de 2,5  $\text{dS m}^{-1}$  apresentou redução de 54% para os tratamentos com NaCl e 42% para os tratamentos com Mistura de sais em relação a testemunha. Para o tratamento 12,5  $\text{dS m}^{-1}$  as reduções chegaram a 84% e 93% de redução para os tratamentos com NaCl e Mistura de sais respectivamente, também em relação a testemunha.



**Figura 1.** Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV) e condutância estomática (gs) e seus respectivos erros padrão em plantas de feijão caupi cultivados com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 20 dias após o plantio. Déficit de pressão de vapor CV% 17,09; Condutância estomática CV% 48,52.

O déficit de pressão de vapor representa a diferença entre as pressões parciais de vapor no ar na saturação e dentro da câmara estomática no momento da medição. Quanto maior o valor do déficit de pressão de vapor, maior o gradiente de energia potencial da água entre o ar e a folha. Os estômatos geralmente fecham quando o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar aumenta, ocasionando a diminuição da condutância estomática (AZIZIAN &

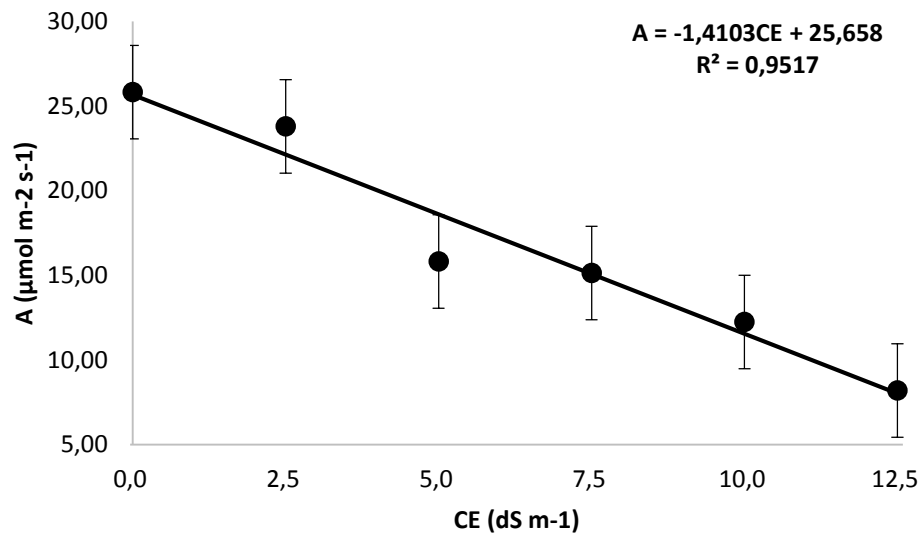
SEPASKHAH, 2013). Um dos mecanismos primários para a redução da perda de água em plantas sobre estresse salino é a redução da abertura estomática (LIMA et al., 2014). Com o aumento da concentração salina e conseqüentemente maior dificuldade da planta absorver água do solo, é necessário que a planta diminua a perda de água, resultando na diminuição da condutância estomática.

Com a diminuição da condutância estomática e conseqüente fechamento dos estômatos outros parâmetros como fotossíntese líquida, transpiração e concentração interna de CO<sub>2</sub> sofrem alterações.

Kusvuran (2012) testando 4 genótipos de melão encontrou redução da condutância estomática em todos eles com o aumento do estresse salino. Pérez-López et al. (2012) encontrou redução na condutância estomática de cevada cultivada sobre estresse salino. Rodrigues et al. (2014) encontraram redução da condutância estomática em mamona com o aumento da dose de NaCl na solução nutritiva. Wilson et al. (2006) encontraram redução na condutância estomática em quatro cultivares de feijão caupi com o aumento da salinidade da água de irrigação. Essa diminuição é uma resposta ao aumento da salinidade da água de irrigação devido ao efeito osmótico causado pela acumulação de sais solúveis no solo e na planta.

### **Fotossíntese Líquida**

A fotossíntese líquida diferiu significativamente apenas entre as CE's (P<0,01). A fotossíntese líquida diminuiu com o aumento da salinidade. A diminuição entre a testemunha e o tratamento com CE de 2,5 dS m<sup>-1</sup> é de 8% enquanto para o tratamento de 12,5 dS m<sup>-1</sup> chega a 68% (Figura 2).



**Figura 3.** Fotossíntese líquida (A) e seu erro padrão em plantas de feijão caupi cultivados com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 20 dias após o plantio. CV% = 29,19.

A fotossíntese líquida, devido a sua sensibilidade é um indicador ideal de estresse salino (HATAMNIA, et al., 2013). Estando intimamente ligada com a diminuição dos pigmentos fotossintéticos (CHA-UM et al., 2103). A fotossíntese líquida representa a fotossíntese bruta, descontando-se a taxa de respiração e fotorrespiração. Quando a fotossíntese líquida se iguala a zero tem-se o ponto de compensação de CO<sub>2</sub>. Quanto mais próximo do ponto de compensação do CO<sub>2</sub>, menor é produção líquida de ATP e conseqüentemente menor é o desenvolvimento da planta. O crescimento das plantas e a produção de biomassa é dependente da fotossíntese líquida e, portanto, uma das mudanças mais importantes que o estresse salino provoca é a diminuição do crescimento e do desenvolvimento da planta (MUNNS, 2005).

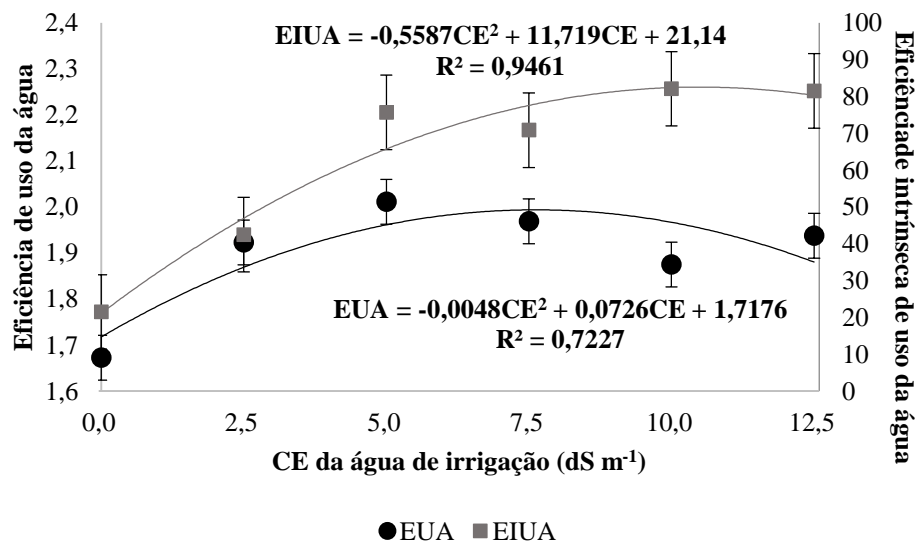
Praxedes et al. (2010) encontraram redução da fotossíntese líquida trabalhando com feijão caupi sobre estresse salino. Campos et al. (2012) também encontrou redução da fotossíntese líquida com o aumento da salinidade. Essa diminuição está relacionada a menor entrada de CO<sub>2</sub> na folha, provocada pela diminuição da condutância estomática que conseqüentemente diminui a concentração interna de CO<sub>2</sub>. O mesmo foi encontrado por Hirich et al. (2014) trabalhando com plantas de quinoa irrigadas com água salina.

### **Eficiência de uso da água e eficiência intrínseca de uso da água**

A eficiência de uso da água é um importante parâmetro para determinar a tolerância de uma planta à salinidade, pois relaciona a quantidade de CO<sub>2</sub> fixado em função da quantidade

de água perdida pela planta. O aumento na eficiência de uso da água indica tolerância da planta à salinidade.

Não houve diferença significativa entre os tipos de sais ( $P>0,05$ ), mas houve diferença significativa entre as CEs da água de irrigação ( $P<0,05$  (Figura 4). Houve um incremento médio de 16% na eficiência de uso da água. Para a eficiência intrínseca de uso da água, que relaciona a quantidade de  $\text{CO}_2$  fixado com a condutância estomática, também não ocorreu diferença significativa entre as fontes de sais ( $P>0,05$ ), e sim para as CE's ( $P<0,01$ ) (Figura 4).

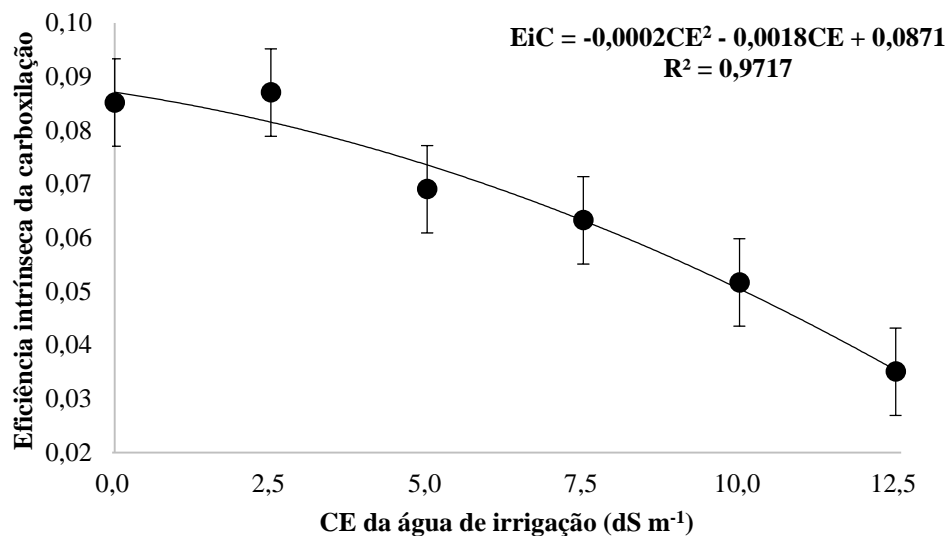


**Figura 4.** Eficiência de uso da água (EUA) e eficiência intrínseca de uso da água (EIUA) com seus respectivos erros padrões em plantas de feijão caupi cultivados com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 20 dias após o plantio. CV% (EUA) = 11,23; CV% (EIUA) = 26,4.

Diversos autores encontraram aumento da eficiência de uso da água e da eficiência intrínseca de uso da água com o aumento da CE. Fernández-García et al. (2014) encontraram aumento na eficiência intrínseca de uso da água cultivando plantas de Henna com concentrações crescentes de NaCl na solução nutritiva. Azizian & Sepaskhah (2014) encontraram um incremento nos valores da eficiência intrínseca de uso da água cultivando milho com água salina. Ashraf (2003) trabalhando com *Panicum antidotale* sob condição de alagamento ou salinidade encontrou os maiores valores de eficiência intrínseca de uso da água para as condições de salinidade. Ashraf (2001) investigando com diversas espécies de Brassicas identificou maiores valores de eficiência de uso da água e eficiência intrínseca de uso da água nas espécies mais tolerantes a salinidade.

### Eficiência instantânea da carboxilação

Para eficiência instantânea da carboxilação não houve diferença significativa entre os tipos de sais ( $P < 0,01$ ). As CEs da água de irrigação apresentaram diferença significativa ( $P < 0,01$ ) (Figura 7). A CE de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  não apresentou diminuição da eficiência instantânea da carboxilação, mais para a CE  $5 \text{ dS m}^{-1}$  a redução foi de 19%. A maior redução, de 59%, foi provocada pela CE de  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ .



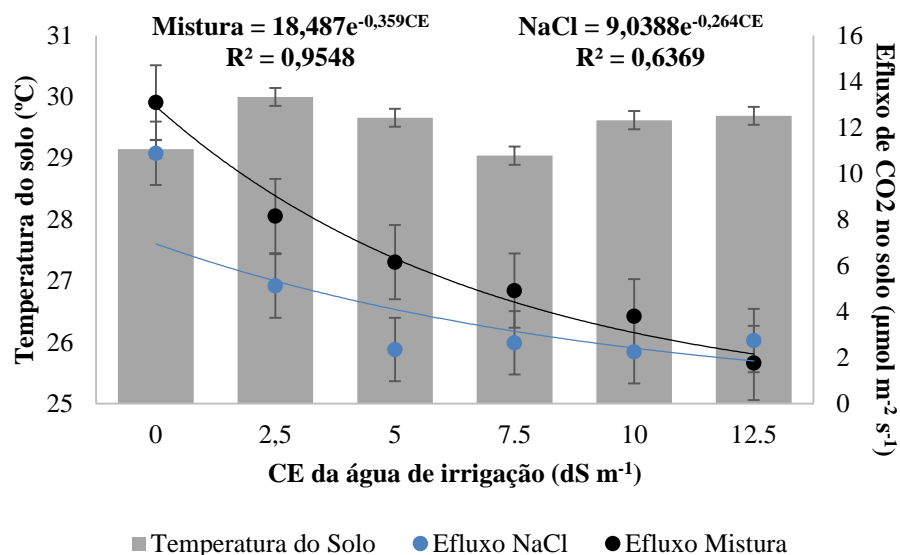
**Figura 7.** Eficiência instantânea da carboxilação (EiC) e seu padrão em plantas de feijão caupi cultivados com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 20 dias após o plantio. CV% = 28,03.

A diminuição da fotossíntese líquida e da concentração interna de  $\text{CO}_2$  provocaram a redução da eficiência instantânea da carboxilação. Principalmente devido a fotossíntese líquida que apresentou reduções mais substanciais dos seus valores. Como a fotossíntese líquida sofre reduções devido principalmente a diminuição da condutância estomática, a eficiência instantânea da carboxilação está intimamente relacionada a abertura e fechamento dos estômatos.

Soares et al. (2013) e Furtado et al. (2013) encontraram redução da eficiência instantânea da carboxilação em plantas de feijão caupi sob estresse salino. Rodrigues et al. (2014) observaram redução da eficiência instantânea da carboxilação com o aumento da concentração salina em plantas de mamona. Silva et al. (2013a) encontraram redução da eficiência instantânea da carboxilação com o aumento da salinidade da água de irrigação em pinhão-manso.

## Efluxo de CO<sub>2</sub> no solo

O efluxo de CO<sub>2</sub> no solo apresentou diferença significativa entre os tipos de sais ( $P < 0,05$ ) e entre as CEs ( $P < 0,01$ ), o que não ocorreu para a temperatura do solo, que não apresentou diferença significativa nem entre os tipos de sais, nem entre as CE's ( $P > 0,05$ ) (Figura 8). No tratamento com NaCl aconteceu um decréscimo de 52% em relação a testemunha para a CE de 2,5 dS m<sup>-1</sup>, enquanto para mesma CE no tratamento com Mistura de sais o decréscimo foi de 37%. Para as CEs de 5 a 12,5 dS m<sup>-1</sup> nos tratamentos com NaCl o decréscimo foi semelhante para todos, com uma média de  $77 \pm 0,02\%$  de redução, o que não ocorreu nos tratamentos com Mistura de sais que apresentaram um decréscimo de 52, 62, 71 e 86% para as mesmas CE's.



**Figura 8.** Efluxo de CO<sub>2</sub> e temperatura do solo e seus respectivos erros padrões em plantas de feijão caupi cultivados com água salina em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 20 dias após o plantio. CV% = 64,07.

Os microrganismos e as raízes sofrem os efeitos da salinidade do solo. A salinidade provoca a diminuição do peso das raízes, reduzindo a respiração e, conseqüentemente a contribuição para o efluxo de CO<sub>2</sub> no solo (ABIDEEN et. al, 2014; DHINGRA, 2014).

A respiração microbiana é definida como a absorção de O<sub>2</sub> ou liberação de CO<sub>2</sub> pelas bactérias, fungos, algas e protozoários no solo, incluindo as trocas gasosas que resultam de ambos os metabolismos aeróbios e anaeróbios (GAMA RODRIGUES & DE POLLI, 2000). Os microrganismos habitantes do solo são bastante afetados pela salinização, especialmente em regiões áridas e semiáridas (SILVA JUNIOR et al., 2009).

Taylor et al. (2015) encontraram uma relação positiva entre a respiração e temperatura do solo. Abeb et al. (2015) e Hasbullah e Marschner (2015) encontraram diminuição da respiração dos microrganismos do solo com o aumento da salinidade em solo

A manutenção da temperatura do solo indica que as variações causadas no efluxo de CO<sub>2</sub> do solo se devem apenas ao efeito da salinidade, seja pela redução da água disponível ou pelos efeitos tóxicos dos sais sobre os microrganismos e raízes.



## CONCLUSÕES

- 1) A diminuição da condutância estomática é uma resposta ao aumento da salinidade da água de irrigação devido ao efeito osmótico causado pela acumulação de sais solúveis no solo e na planta.
- 2) A diminuição da condutância estomática resulta na diminuição de outros parâmetros como a fotossíntese líquida, a transpiração foliar e a concentração interna de CO<sub>2</sub> e eficiência instantânea da carboxilação.
- 3) O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo diminuiu com o aumento da salinidade seja pela redução da água disponível ou pelos efeitos tóxicos dos sais sobre os microrganismos e raízes.
- 4) O aumento na eficiência de uso da água e na eficiência intrínseca de uso da água são indicadores de tolerância ao estresse salino.
- 5) O efluxo de CO<sub>2</sub> no solo diminuiu com o aumento da salinidade, indicando que os sais causaram danos às raízes das plantas.

## BIBLIOGRAFIA

- ABED, R. M.; AL-KHARUSI, S.; AL-HINAI, M. Effect of biostimulation, temperature and salinity on respiration activities and bacterial community composition in an oil polluted desert soil. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 98, p. 43-52, 2015.
- ABIDEEN, Z.; KOYRO, H. W.; HUCHZERMEYER, B.; AHMED, M. Z.; GUL, B.; KHAN, M. A. Moderate salinity stimulates growth and photosynthesis of *Phragmites karka* by water relations and tissue specific ion regulation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 105, p. 70-76, 2014.
- ASHRAF, M. Relationships between growth and gas exchange characteristics in some salt-tolerant amphidiploid Brassica species in relation to their diploid parents. **Environmental and Experimental Botany**, v. 45, p. 155-163, 2001.
- ASHRAF, M. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of Blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) under salinity or waterlogging. **Plant science**, v. 165, p. 69-75, 2003.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água para irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- AZIZIAN, A.; SEPASKHAH, A. R. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: physiological growth parameters and gas exchange. **International Journal of Plant Production**, v. 8, P. 131-162, 2014.
- CAMPOS, M. L. D. O.; HSIE, B. S. D.; GRANJA, J. A. D. A.; CORREIA, R. M.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. D.; POMPELLI, M. F. Photosynthesis and antioxidant activity in *Jatropha curcas* L. under salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 24, p. 55-67, 2012.
- CHA-UM, S.; BATIN, C. B.; SAMPHUMPHUNG, T.; KIDMANEE, C. Physio-morphological changes of cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) and jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) in responses to soil salinity. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, p. 2128:2135, 2013.
- DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. S. N. ANDRADE, S. I. O.; SALES, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 425-430, 2002.
- DHINGRA, H. R. Effect of salinity stress on morpho-physiological, biochemical and yield characters of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 393-398, 2014.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013. 353 p.
- FANG, C.; MONCRIEFF, J. B.; GHOLZ, H. L.; CLARK, K. L. Soil CO<sub>2</sub> efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, v. 205, p. 135-146, 1998.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; OLMOS, E.; BARDISI, E.; GARCÍA-DE LA GARMA, J.; LÓPEZ-BERENGUER, C.; RUBIO-ASENSIO, J. S. Intrinsic water use efficiency controls the adaptation to high salinity in a semi-arid adapted plant, henna (*Lawsonia inermis* L.). **Journal of plant physiology**, 171(5), 64-75, 2014.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: Avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

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

GAMA-RODRIGUES, E. F.; DE-POLLI, H. Biomassa na ciclagem de nutrientes. In: FERTBIO 2000: Biodinâmica do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia**, v.1. p.1-14, 2000.

HASBULLAH, H.; MARSCHNER, P. Residue properties influence the impact of salinity on soil respiration. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, p. 99-111, 2015.

HATAMNIA, A. A. ABBASPOUR, N.; DARVISHZADEH, R.; RAHMANI, F.; HEIDARI, R. Effect of salt stress on growth, ion content and photosynthesis of two oriental Tobacco (*Nicotiana tabacum*) cultivars. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, p. 757-761, 2013.

HIRICH, A.; JELLOUL, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; JACOBSEN, S. E. Saline water irrigation of quinoa and chickpea: Seedling rate, stomatal conductance and yield responses. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, p. 378-389, 2014.

IPA. **Manual de Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2a. aproximação**. 2 ed. rev. Recife, 2008. 212p.

KRONZUCKER, H. J.; BRITTO, D. T. Sodium transport in plants: a critical review. **New Phytologist**, v. 189, p. 54-81, 2011.

KUSVURAN, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, p. 775-781, 2012.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Physiology, growth and yield of castor bean under salt stress and nitrogen doses in phenophases. **IDESIA**, v. 32, p. 91-99, 2014.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New phytologist**, v. 167, p. 645-663, 2005.

NAZAR, R.; IQBAL, N.; SYEED, S.; KHAN, N. A. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant

metabolism differentially in two mungbean cultivars. **Journal of plant physiology**, v. 168, p. 807-815, 2011.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. de; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.873-881, 2009.

OLIVEIRA, F. A.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; MELO, T. K. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.37-45, 2011.

PÉREZ-LÓPEZ, U.; ROBREDO, A.; LACUESTA, M.; MENA-PETITE, A.; MUÑOZ-RUEDA, A. Elevated CO<sub>2</sub> reduces stomatal and metabolic limitations on photosynthesis caused by salinity in *Hordeum vulgare*. **Photosynthesis research**, v. 111, p. 269-283, 2012.

PRAXEDES, S. C.; LACERDA, C. F.; DAMATTA, F. M.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, p. 193-204, 2010.

QADIR, M.; TUBEILEH, A.; AKHTAR, J.; LARBI, A.; MINHAS, P. S.; KHAN, M. A. Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. **Land degradation & development**, v. 19, p. 429–453, 2008.

RAICH, J. W.; EWEL, J. J.; OLIVERA, M.; Soil-CO<sub>2</sub> efflux in simple and diverse ecosystems on a volcanic soil in Costa Rica. **Turrialba** v. 35, p. 33–42, 1985.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

RODRIGUES, C. R. F.; SILVA, E. N.; MOURA, R. M.; ANJOS, D. C.; HERNANDEZ, F. F. F.; VIÉGAS, R. A. Physiological adjustment to salt stress in *R. communis* seedlings is associated with a probable mechanism of osmotic adjustment and a reduction in water lost by transpiration. **Industrial Crops and Products**, v. 54, p. 233-239, 2014.

SILVA, E. N.; VIEIRA, S. A.; RIBEIRO, R. V.; PONTE, L. F.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SILVEIRA, J. A. Contrasting physiological responses of *Jatropha curcas* plants to single and combined stresses of salinity and heat. **Journal of plant growth regulation**, v. 32, p. 159-169, 2013a.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 62-68, 2011.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-caupi. **Irriga**, v. 18, p. 304-317, 2013b.

SILVA JÚNIOR, J. M.; TAVARES, R. D. C.; MENDES FILHO, P. F.; GOMES, V. F. Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo

incubado com diferentes adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 378-382, 2009.

SINGH, B. B.; HARTMANN, P.; FATOKUN, C.; TAMO, M; TARAWARI, S. A.; ORTIZ, R. Recent progress in cowpea improvement. **Chronica Horticulturae**, v. 43, p. 8–12, 2003.

SOARES, L. A.; FURTADO, G. F.; ANDRADE, E. M. G.; SOUSA, J. R. M.; GUERRA, H. O. C.; NASCIMENTO, R. D. Troca de CO<sub>2</sub> do feijão-caupi irrigado com água salina e fertilização nitrogenada. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 9, p. 30-37, 2013.

TAYLOR, A. J.; LAI, C. T.; HOPKINS, F. M.; WHARTON, S.; BIBLE, K.; XU, X.; LERINGER, J. R. Radiocarbon-Based Partitioning of Soil Respiration in an Old-Growth Coniferous Forest. **Ecosystems**, p 1-12, 2015.

THIAM, M.; CHAMPION, A.; DIOUF, D.; OUREËYE SY, M. NaCl effects on in vitro germination and growth of some senegalese cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars. **ISRN Biotechnology**, v. 2013, 2013.

VIJAYKUMAR, A.; SAINI, A.; JAWALI, N. Phylogenetic analysis of subgenus *Vigna* species using nuclear ribosomal RNA ITS: evidence of hybridization among *Vigna unguiculata* subspecies. **Journal of Heredity**, v. 101, p. 177-188, 2010.

WILSON, C.; LIU, X.; LESCH, S. M.; SUAREZ, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars: II. Effect of salinity on leaf gas exchange. **Plant Science**, v. 170, p. 1095-1101, 2006.

**Capitulo III: Fluorescência da clorofila *a* e pigmentos fotossintéticos em *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigado com água salina**

## **Fluorescência da clorofila *a* e pigmentos fotossintéticos em *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigado com água salina**

### **RESUMO**

A fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta de grande utilidade para detecção do efeito danoso de um estresse ao metabolismo das plantas. Para entender o efeito da salinidade nesse parâmetro foi realizado um experimento em casa de vegetação, cultivando a cultivar de feijão IPA 206 em solo classificado como Neossolo flúvico, coletado no município de Pesqueira-PE. Foram utilizadas águas com seis níveis de condutividade elétrica: 0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup>, que foram formuladas a partir de NaCl e de uma mistura de sais com NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub>, semelhante a composição iônica das águas de poços encontrados na região de coleta do solo. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso com 4 repetições pelo período de 60 dias. Aos 33 dias após o plantio foi determinado parâmetros relacionados com a fluorescência da clorofila *a* por meio de um Fluorômetro (Fluorpen fp 100) em folhas do terço médio da planta, ao mesmo tempo que foram coletadas as mesmas folhas para extração os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides. A partir das intensidades de fluorescência medidas foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP. Os parâmetros do Teste JIP foram normalizados para os valores obtidos nos respectivos controles para as fases OP, OI, OJ e OK e IP. O Índice de vitalidade para conservação de energia para redução do instersistema (PIabs) e o Índice de vitalidade para conservação de energia para redução dos aceptores finais do Fotossistema I (PItotal) sofreram alterações com o aumento da CE da água de irrigação. O passo OP normalizado facilitou a observação das variações causadas pelo estresse salino na fluorescência. O passo OJ normalizado permitiu a identificação da banda K que apareceu devido ao estresse salino. O passo OK permitiu a identificação da banda-L, que é um indicador do grau de agrupamento entre unidades do FSII. Os pigmentos fotossintéticos também sofreram variação com o aumento da CE da água de irrigação. A clorofila *a* sofreu redução de cerca de 30 %, a clorofila *b* 20 % e os carotenoides 23% em comparação ao tratamento testemunha e a CE 12,5 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras chaves:** Fotossíntese; estresse salino; feijão caupi

**Chlorophyll Fluorescence and photosynthetic pigments in *Vigna unguiculata* (L.) Walp irrigated with saline water**

***ABSTRACT***

The chlorophyll fluorescence is a very useful method for detection of damage caused by stress on the metabolism of plants. To understand the effect of salinity in this parameter an experiment was conducted in greenhouse with cultivar cowpea IPA 206 in soil classified as Neossolo flúvico, collected in Pesqueira, Pernambuco municipality. Were used six levels of electrical conductivity: 0; 2.5; 5; 7.5; 10 and 12.5 dS m<sup>-1</sup> in irrigation water, which were formulated from a mixture of NaCl and salts NaCl, KCl, CaCl<sup>2</sup> and MgCl<sup>2</sup>, similar ionic composition the water wells found in soil collection region. The experiment was conducted in a randomized block design with four repetitions for 60 days. At 33 days after planting was determined parameters associated with the chlorophyll fluorescence using a fluorometer (FP Fluorpen 100) in the middle third of plants, the same leaves were collected to determine chlorophyll a contents, b and carotenoids. From the fluorescence intensities were calculated parameters set by the JIP Test. The parameters of the JIP test were normalized in relation the values obtained in the respective controls for OP stages, OI, OJ and OK and IP. The performance index PSII (PI<sub>abs</sub>) and the total performance index (PI<sub>total</sub>) were changed with increase of the EC of the irrigation water. The normalization between O-P step facilitated the observation of variations caused by salt stress in fluorescence. The normalization between O-J step enable the identification of the K band, identified due to salt stress. Step OK enabled the identification of the L-band, which is an indicator of the degree of clustering among the PSII units. Photosynthetic pigments also varied, with increasing EC irrigation water. The chlorophyll decrease was about 30%, 20% Chlorophyll b and carotenoids 23% compared to control treatment and the CE 12.5 dS m<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Photosynthesis; Salt stress; Cowpea.



## INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é definida como a presença de sais em altas concentrações na solução do solo (ZAHEDI et al., 2012). Embora possa surgir de causas naturais, como pelo intemperismo de rochas e condições climáticas desfavoráveis em regiões áridas e semiáridas, tem se agravado pelo manejo inadequado de práticas agrícola, como irrigação e adubações (CHA-UM et al., 2013; OYETUNJI & IMADE, 2014). É um problema que precisa ser detectado e remediado, uma vez que afeta a produção de alimentos. A salinidade causa diversos danos aos vegetais, incluindo aqueles que afetam o sistema fotossintético (SOUZA et al., 2004).

Uma forma de verificar a extensão dos danos causado ao fotossistema das plantas é utilizando a fluorescência da clorofila *a*, que se apresenta como uma ferramenta de grande utilidade, por ser um método não destrutivo (LI et al, 2010). Essa ferramenta tem sido utilizada para avaliar os efeitos de estresses abióticos sobre o metabolismo fotossintético, bem como para medir o grau de tolerância das plantas (STIRBET, 2011).

A análise cinética da fluorescência da clorofila pode ser observada construindo-se uma curva entre a fluorescência inicial ( $F_0$ ) e a Fluorescência máxima ( $F_m$ ) em escala logarítmica para amostras adaptadas ao escuro, chamada de fluorescência transiente. De acordo com a interpretação mais amplamente aceita, a análise da cinética da clorofila *a* segue o modelo Quinona A (QA), que foi proposta em 1963 por Duysens e Sweers e revisado por Stirbet (2012). O modelo da QA é baseado em duas premissas: A de que o aumento de fluorescência entre  $F_0$  e  $F_m$  é um reflexo da redução progressiva da QA, ou seja, a transição de aberto para fechado nos centros de reação do fotossistema II (PSII), e segundo que não há mudanças no rendimento da fluorescência dos centros de reações abertos ou fechados durante a transição entre os dois estados de  $F_0$  até  $F_m$  (SCHANSKER et al, 2014).

A análise do transiente OJIP chamado como teste JIP, liga as diferentes etapas e fases do transiente com os estados redox do fotossistema II e a eficiência da cadeia de transporte de elétrons até os aceptores finais no PSI (STRASSER et al, 2010). O Teste JIP é uma análise multiparamétrica do rápido aumento da fluorescência transiente OJIP, o qual permite quantificar o fluxo de energia absorvido e aproveitado no sistema fotossintético das plantas (STIRBET, 2011). Os parâmetros derivados a partir do teste JIP, fornece informações importantes para avaliar a extensão dos danos ao aparelho fotossintético sob diferentes condições ambientais (TSIMILLI-MICHAEL et al., 2000). Isso permite um aumento no conhecimento dos processos fotoquímicos e não fotoquímicos que ocorrem na membrana dos

tilacoides (ROHÁČEK, 2002). Alterações no aparato fotossintético das plantas cultivadas em condições de salinidade tem sido reportada por vários autores (PALMA et al., 2013a; SALVATORI et al., 2014; TOUCHETTE et al., 2012).

O estresse reduz a fotossíntese através da inibição do fotossistema II (FSII,) tanto inibindo o acceptor Quinona A (QA) quanto destruindo pigmentos de clorofila por acumulação íons tóxicos (CHEN & MURATA 2011). No evento inicial da fotossíntese em organismos aeróbicos a luz é absorvida pelas clorofilas e pelos carotenoides, principalmente pelas clorofilas *a* e *b*, estes pigmentos fazem parte do complexo antena do fotossistema (GENGMAO et al., 2104; STIRBET et al., 2014).

Segundo Sharma & Dhanda (2014) a concentração de clorofila é reduzida com o aumento da salinidade no cultivo do feijão Caupi. Gengmao et al. (2015) utilizaram a análise da concentração de pigmentos nas folhas de girassol cultivados sob estresse salino como forma de determinar os efeitos da salinidade sob o processo fotossintético. Tawfik (2008) encontrou um decréscimo nos teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides cultivando feijão caupi sob estresse salino.

O feijão caupi é cultivado em diversas partes do mundo, em consequência da sua importância como fonte de proteína vegetal, por possuir um baixo teor relativo de gordura e ser fonte de minerais e vitaminas (FREIRE FILHO, 2011). O feijão-caupi é uma das leguminosas mais adaptadas, versáteis e nutritivas entre as espécies cultivadas, sendo componente essencial dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos, que cobrem parte da Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e Américas Central e do Sul (SINGH, et al. 2002).

Tendo em vista a grande área de solos salinizados no Nordeste do Brasil e a importância do feijão caupi para a população dessa região, associado com a técnica da fluorescência, pretende-se investigar os efeitos da salinidade sobre o aparato fotossintético do feijão caupi cultivado com águas de seis níveis de salinidade: 0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> e formuladas a partir de duas fontes de sais: somente NaCl e uma mistura de sais semelhante a composição da água coletadas em poços da região onde se pratica o cultivo de feijão e que apresenta o mesmo tipo de solo utilizado nessa pesquisa. Além disso, será determinado ainda os pigmentos fotossintéticos como clorofila *a*, *b* e carotenoides.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Coleta e preparo do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado no Município de Pesqueira - PE, na profundidade de 0-30 cm e classificado como Neossolo Flúvico de acordo com a classificação da EMBRAPA (2013), isento de problemas de salinidade e sodicidade. Posteriormente, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm para a conservação dos microagregados.

### Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA) os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis extraídos por acetato de amônio 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; o extrato de saturação foi obtido através do preparo da pasta de saturação (RICHARDS, 1954), onde mediu-se a condutividade elétrica e determinadas as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com  $\text{AgNO}_3$  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 <sub>es</sub>	8,17	pH <sub>(1:2,5)</sub>	7,70	Na/Ca	1,42
CE (dS $\text{m}^{-1}$ )	0,99	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	5,53	Na/Mg	7,09
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	19,07	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	2,22	Na/K	19,31
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	3,81	$\text{Na}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	0,26	Na/Cl	10,24
$\text{Na}^+$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	27,04	$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	0,50	Cl/Ca	0,14
$\text{K}^+$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	1,40	SB ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	8,51	Cl/Mg	0,69
$\text{Cl}^{-1}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

pH<sub>es</sub>: 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 <sup>-1</sup>					gcm <sup>-3</sup>		%		g g <sup>-1</sup>			
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

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco coordenadas 08° 00' 59,9'' S e 34° 56' 38,6'' W durante os meses de março a maio de 2014, totalizando 60 dias de acompanhamento. Foram cultivadas plantas de *Vigna unguiculata* em vasos com capacidade para seis litros de solo, sendo duas plantas por vaso, estes preenchidos com o solo peneirado em malha de 4 mm. Antes do plantio das sementes de feijão o vaso foi irrigado com 1,39 litros de água, volume que corresponde a uma umidade de 80% da capacidade de campo em base de massa. Foram plantadas 5 sementes por vaso e 5 dias após o plantio (DAP) foi realizado o desbaste deixando-se apenas duas plantas por vaso. O vaso continha 7,44 kg de material de solo. Para suprir as necessidades nutricionais da cultura foi realizada uma adubação com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 20 kg ha<sup>-1</sup> de P e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K na fundação e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na cobertura segundo o Manual de Recomendação de Adubação do instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA, 2008).

### Tratamentos

O solo foi irrigado com águas de condutividades elétricas de 0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> elaboradas a partir de NaCl e de uma mistura de Ca, Mg, Na, e K, simulando a composição encontrada em poços usados para a irrigação na região de Pesqueira-PE (Tabela 3).

**Tabela 3.** Quantidades necessárias de sal ( $\text{g L}^{-1}$ ) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais e o potencial osmótico das soluções (Mpa).

CE	Fontes de água								
	Cloreto de Sódio		Mistura de Sais					Total	$\Psi_o$
	dS $\text{m}^{-1}$	NaCl	$\Psi_o$	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,5	1,3600	-0,1044	1,0510	0,0050	0,3060	0,2440	1,6060	-0,1171	
5	2,9060	-0,2227	1,9900	0,0130	0,5560	0,4430	3,0020	-0,2334	
7,5	4,6690	-0,3578	3,2010	0,0160	0,8860	0,6930	4,7960	-0,3458	
10	6,6500	-0,5096	4,6500	0,0270	1,2970	1,0060	6,9800	-0,5382	
12,5	8,8260	-0,6763	6,5010	0,0400	1,8230	1,4090	9,7730	-0,7063	

### Manejo hídrico da cultura

A irrigação era realizada ao final do dia utilizando-se de um becker e repondo a água perdida por evapotranspiração aferida por uma balança digital. Durante os sete primeiros dias se utilizou água destilada e, a partir do oitavo dia, utilizou-se água com valores de CE de modo crescente para que não houvesse o choque osmótico. Assim, todos os vasos foram equilibrados com as CE's correspondente aos tratamentos aos 16 DAP.

### Leitura da Fluorescência da clorofila *a* e pigmentos fotossintéticos

A fluorescência da clorofila foi avaliada com o auxílio do fluorômetro FluorPen, modelo F100 (Photon Systems Instruments) aos 33 dias após o plantio (DAP). As medições foram feitas em folhas do terço médio, saudáveis, completamente expandidas e adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças. A extração química e a determinação das clorofilas *a*, *b*, e dos carotenoides seguiram a metodologia descrita por Lichtenthaler & Buschmann (2001).

### Teste JIP

A partir das intensidades de fluorescência medidas foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste - JIP e Derivações do Test - JIP obtidas das análises da fluorescência da clorofila *a* de acordo com Strasser et al. (2004), Yusuf et al. (2010) e Redillas et al. (2011). Os parâmetros do Teste JIP foram normalizados para os valores obtidos nos respectivos

controles para as fases OP, OI, OJ e OK e IP. As variáveis do Teste JIP e Derivações do Teste JIP são descritas na tabela 4.

**Tabela 4.** Resumo dos parâmetros, fórmulas e sua descrição com dados extraídos de fluorescência da clorofila a (OJIP).

Parâmetros extraídos da curva OJIP	Descrição
F50 $\mu$ s ou F <sub>0</sub>	Intensidade de fluorescência mínima a 50 $\mu$ s
F100 $\mu$ s e F300 $\mu$ s	Intensidade de fluorescência a 100 e 300 $\mu$ s, respectivamente
F <sub>j</sub> e F <sub>i</sub>	Intensidade de fluorescência no passo J (2 ms) e no passo I (30 ms), respectivamente
FP ou F <sub>m</sub>	Fluorescência máxima no passo P
F <sub>v</sub> = F <sub>m</sub> - F <sub>0</sub>	Fluorescência variável
F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	Rendimento quântico máximo fotoquímico primário em t = 0
<b>Razões de fluxo de energia</b>	
$\phi Do = DIo/ABS = 1 - \phi Po = F_0/F_m$	Rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor.
$\delta Ro = REo/ETo = (1 - VI)/(1 - VJ)$	Eficiência com que um elétron pode mover dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FSI
<b>Fluxos específicos por centro de reação (RC)</b>	
ABS/RC = M <sub>0</sub> $\times$ (1/VJ) $\times$ (1/ $\phi Po$ )	Fluxo de absorção por CR
ETo/RC = (M <sub>0</sub> /VJ) $\times$ $\psi Eo = (M_0/VJ) \times (1 - VJ)$	Fluxo de transporte de elétrons por CR em t = 0
DIo/RC = ABS/RC - TRo/RC	Fluxo de energia dissipada por CR no t=0
<b>Fluxos Fenomenológicos</b>	
DIo/CS = (ABS/CS) - (TRo/CS)	Dissipação de energia no instante 0 por CS
<b>Índice de Performance</b>	
$[\gamma RC/(1-\gamma RC)] = RC/ABS = (RC/TRo)(TRo/ABS)$ $= (VJ/M_0) (F_v/F_m)$	Densidade de clorofila por CR
$[\phi Po/(1-\phi Po)] = TRo/DIo = F_v/F_0$	Desempenho para reações redox da fotoquímica primária
$[\psi Eo/(1-\psi Eo)] = ETo/(d QA-/dt o)$	Desempenho das reações das fases termais da fotoquímica
$\delta Ro / (1 - \delta Ro)$	Desempenho das reações para as reações redox dos aceptores finais no lado acceptor do FSI
PIABS = $[\gamma RC/(1-\gamma RC)] [\phi Po/(1-\phi Po)]$	Índice de vitalidade para conservação de energia para redução do instersistema
$[\psi Eo/(1-\psi Eo)]$	
PItotal = $[\gamma RC/(1-\gamma RC)] [\phi Po/(1-\phi Po)]$ $[\psi Eo/(1-\psi Eo)] [\delta Ro / (1 - \delta Ro)]$	Índice de vitalidade para conservação de energia para redução dos aceptores finais do FSI

## Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 4 repetições num arranjo fatorial 6 x 2 correspondendo a seis níveis de condutividade elétrica e duas fontes de água. Foi

feito ajuste do modelo de regressão para os níveis de salinidade e teste de comparação de médias para as fontes de água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teste JIP

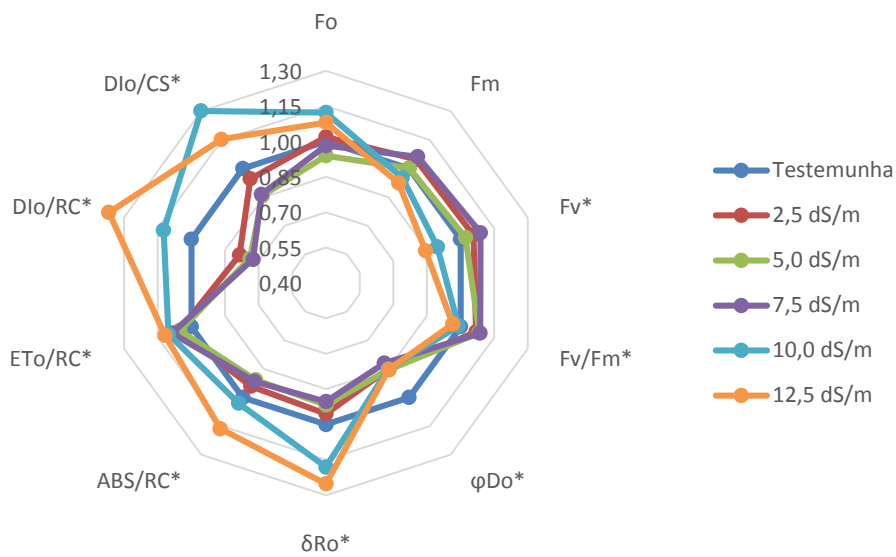
A fluorescência inicial ( $F_o$ ) aos 33 DAP não apresentou diferença significativa entre os tipos de sais utilizados ( $P > 0.05$ ) (Figura 1). Antes da determinação da  $F_o$  o fotossistema encontrava-se oxidado (BAKER & ROSENQVST, 2004), esperando a presença da luz para que ocorresse sua saturação. Quando os fótons de luz atingem a molécula de clorofila essa energia é transferida para os centros de reação através de um processo largamente conhecido como energia de ressonância (ANDREWS et al. 2011); essa energia ao atingir o centro de reação do fotossistema II ( $P_{680}$ ) deveria ser absorvida, porém quando ocorre o estresse salino o fotossistema é afetado e a energia que atinge o  $P_{680}$  é dissipada na forma de fluorescência e calor em níveis maiores do que uma planta sadia.  $F_o$  não se mostrou eficiente para determinação do estresse salino.

Resultados diferentes foram encontrados por Palma et al. (2013b) trabalhando com alfafa sob estresse salino. Salvatori et al. (2014) também encontraram mudanças nos valores da  $F_o$  trabalhando com merórdios e azinheira sobre estresse salino. A tolerância do caupi a salinidade pode ter causado a manutenção da  $F_o$ .

A fluorescência máxima ( $F_m$ ) não apresentou diferença significativa ( $P > 0.05$ ), diferente da fluorescência variável ( $F_v$ ) que apresentou diferença significativa ( $P < 0.05$ ) (Figura 1). Para o rendimento quântico máximo fotoquímico primário em  $t = 0$  ( $F_v/F_m$ ), foi encontrada diferença significativa ( $P < 0.05$ ) (Figura 1) indicando inibição da atuação do aparato fotossintético. Touchette et al. (2012) também encontraram variação em  $F_v/F_m$  com o aumento da salinidade cultivando *Juncus roemerianus* sobre estresse salino.

Para as razões de fluxo de energia, o rendimento quântico fotoquímico para dissipação de energia na forma de calor ( $\phi Do$ ) aumentou para os mesmos valores de CE's de forma significativa ( $P < 0.05$ ), a eficiência com que um elétron pode mover dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FSI ( $\delta Ro$ ) diminuiu com o aumento da salinidade, diferindo significativamente entre as CEs ( $P < 0.05$ ) (Figura 1).





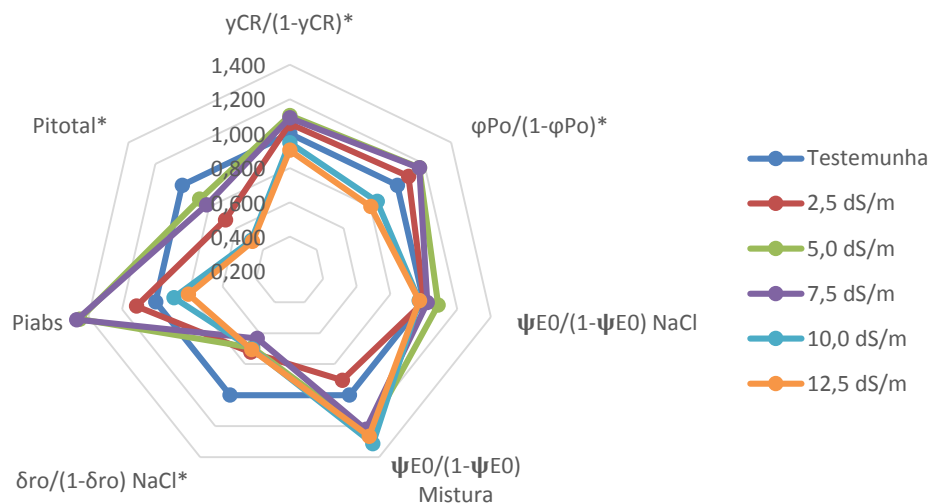
**Figura 1.** Diferença relativa entre os parâmetros extraídos da fluorescência da clorofila, em relação ao respectivo controle, em feijão Caupi cultivadas sob estresse salino com água de irrigação com NaCl e Mistura de sais. \* Significativo a 5%.

Para os Fluxos específicos por centro de reação (RC). O fluxo de absorção por centro de reação (ABS/RC) aumentou significativamente para as CEs 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> (P<0,05), o fluxo de transporte de elétrons por RC em t = 0 (ETo/RC) apresentou interação positiva entre a CE e o tipo de sais (P<0,05) (Figura 1). O Fluxo de energia dissipada por RC no t = 0 (DIO/CR), refere-se à perda de parte da energia absorvida pelo FSII, por meio de calor, emissão de fluorescência ou ainda, transferência de energia para outros sistemas (STRASSER et al., 2000). Os tratamentos com CE 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup>, aumentaram o fluxo de energia dissipada indicando que existe algum dano ao aparato fotossintético o que ocasionou a necessidade de dissipar a energia excedente (Figura 1).

Oukarroum et al. (2015) encontraram aumento da formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e diminuição de φRo com o aumento dessas espécies. Kalaji et al. (2011) encontrou valores de φDo, ABS/RC e DIO/RC muito maiores do que os constatados nos tratamentos controle cultivando cevada sob estresse salino. Mehta et al. (2010) cultivando trigo encontrou aumento nos valores de ABS/RC com o aumento da concentração de NaCl.

Para o fluxo fenomenológico, a dissipação de energia no instante 0 por CS (DIO/CS) apresentou interação positiva entre a CE e o tipo de sal (P<0,05) sofrendo um aumento para as CE's de 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> (Figura 1). O aumento de DIO/CS, corroborando com o aumento de DIO/RC indicando que a planta está dissipando energia para evitar maiores danos ao aparato fotossintético.

Para os índices de performances, a densidade de clorofila por RC [ $(\gamma RC)/(1-\gamma RC)$ ] diferiu significativamente em relação ao controle ( $P < 0,05$ ), indicando uma diminuição na concentração do pigmento fotossintético e o desempenho para reações redox da fotoquímica primária [ $\phi Po/(1-\phi Po)$ ] diminuiu significativamente ( $P < 0,05$ ) para as CE's 10 e 12,5  $dS m^{-1}$  (Figura 2). O desempenho das reações das fases termais da fotoquímica [ $\psi Eo/(1-\psi Eo)$ ], diferiu para o tipo de sal ( $P < 0,05$ ) e o desempenho das reações para as reações redox dos aceptores finais no lado acceptor do FSI [ $\delta Ro / (1-\delta Ro)$ ] diminuíram significativamente com o aumento da CE ( $P < 0,05$ ) (Figura 2).



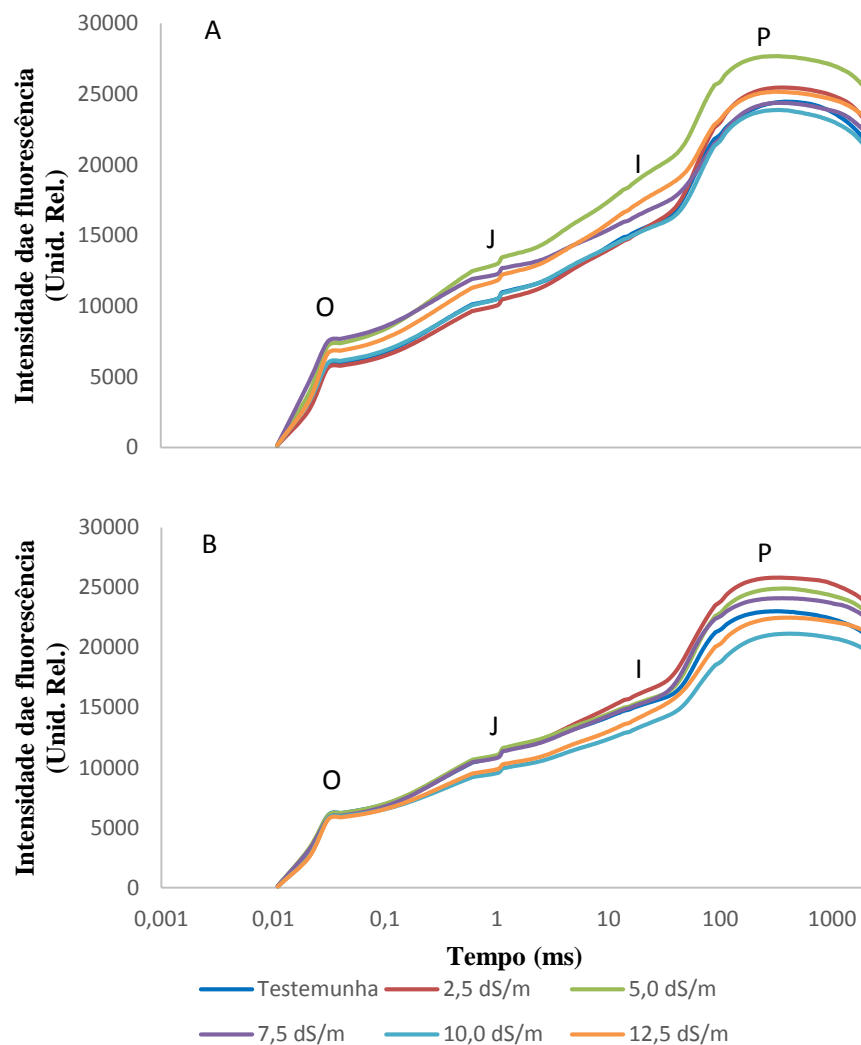
**Figura 2.** Valores relativos dos índices de performance obtidos a partir da fluorescência transiente da clorofila *a*, em relação ao respectivo controle, em feijão Caupi cultivadas sob estresse salino com água de irrigação com NaCl e uma mistura de sais. \* Significativo a 5%.

Para o Índice de vitalidade para conservação de energia para redução do instersistema (PIabs) houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entres as CEs (Figura 2). Os tratamentos com CE de 10 e 12,5  $dS m^{-1}$  apresentaram redução de PIabs, indicando um efeito danoso sobre a fotossíntese. O Índice de vitalidade para conservação de energia para redução dos aceptores finais do FSI (PI total) também apresentou diferença significativa para a CE ( $P < 0,05$  (Figura 2), sendo reduzido em relação ao tratamento controle para todas as CEs. Esses dois parâmetros se mostram como os mais sensíveis ao estresse hídrico, pois são compostos pelos desempenhos parciais que englobam toda fotossíntese. Para Yusuf et al (2010) este parâmetro é o mais sensível do Teste JIP porque incorpora vários parâmetros que são avaliados a partir da fluorescência transiente OJIP. Oukarroum et al. (2015), trabalhando com lentilha cultivada

sobre estresse salino encontraram um decréscimo significativo no PI total em função do aumento da concentração salina. Jafarinia & Shariati (2012) encontraram diminuição do PIabs com o aumento da concentração salina da solução nutritiva.

### Curva OJIP

A cinética da fluorescência da clorofila consiste numa ferramenta muito útil na análise *in vivo* do aparato fotossintético (STRASSER et al., 2004). Como a área acima da curva OJIP tem relação direta com a transferência de elétrons dos centros de reações ativos do PSII para o “pool” da plastoquinona (PQ), quanto menor for a área, menor será a eficiência na capacidade de reoxidação da  $QA^-$  (MEHTA et al., 2010). A CE 10 dS m<sup>-1</sup> para NaCl e 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> para mistura de sais apresentaram reduções na área acima da curva (Figura 3).



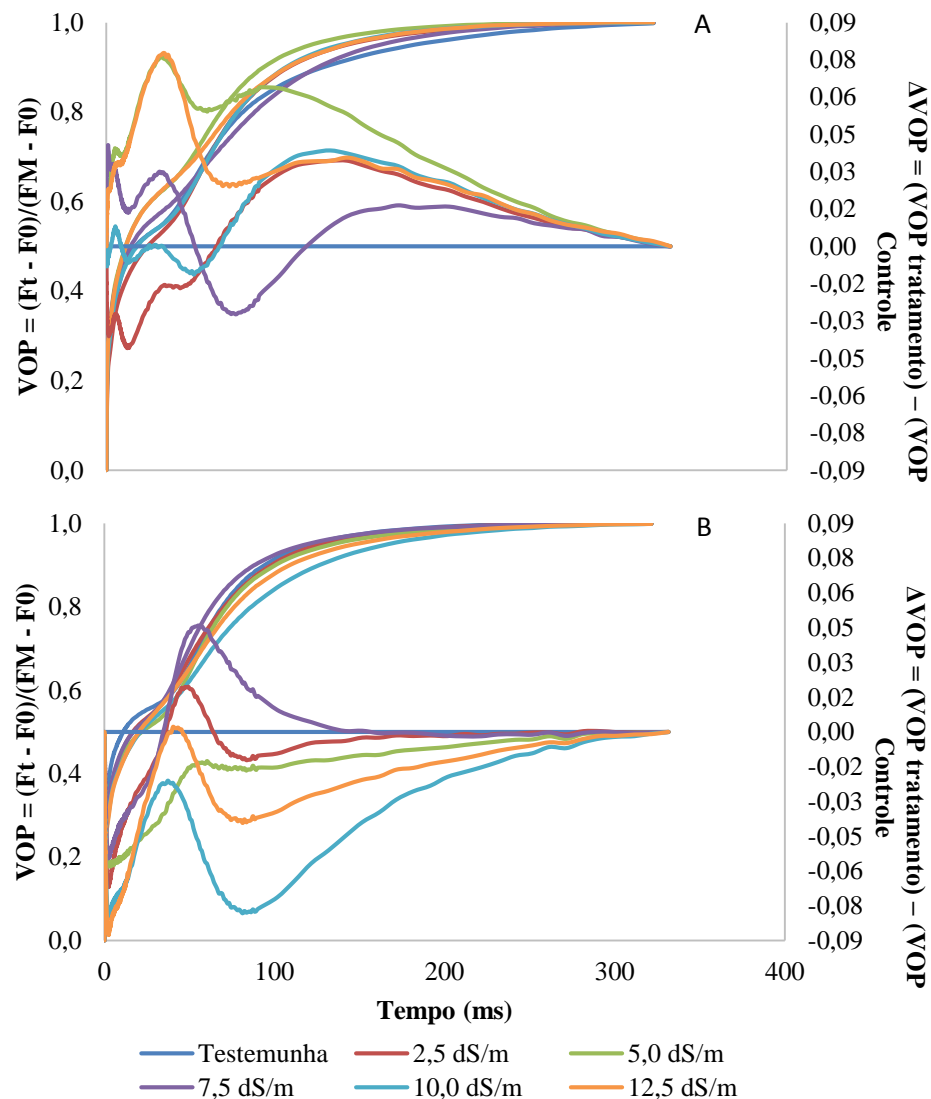
**Figura 3.** Curva O-J-I-P em plantas de feijão caupi aos 33 dias após o plantio irrigado com solução de NaCl (A) e com uma mistura de sais (B).

Oukarroum et al. (2015) também encontraram redução da área sobre a curva trabalhando com estresse causado por NaCl em plantas de lentilha. Porém as fases devem ser estudadas individualmente para que a contribuição dos tratamentos seja observada em cada uma delas.

### **Fluorescência variável relativa e diferença cinética no trecho O-P**

A fluorescência variável relativa para a fase O-P em plantas irrigadas com solução contendo NaCl ou uma mistura de sais foi normalizada para melhor visualização das diferenças entre os tratamentos. Essa normalização permite o cálculo da diferença cinética entre esses dois fatores em função do aumento da CE. Situações de estresse não são tão claramente identificadas pelo transiente da fluorescência da clorofila *a* quando os dados são apresentados na forma linear, mas quando os valores do transiente OJIP são apresentados na forma variável relativa, é possível verificar de forma mais nítida o efeito do estresse aplicado (LICHTENTHALER et al. 1998).

A banda positiva mais proeminente para o tratamento com NaCl (Figura 4A) evidencia que os efeitos desse tratamento causaram maiores alterações ao seu fotossistema do que os tratamentos em que as águas foram elaboradas com a Mistura de sais (Figura 4B).



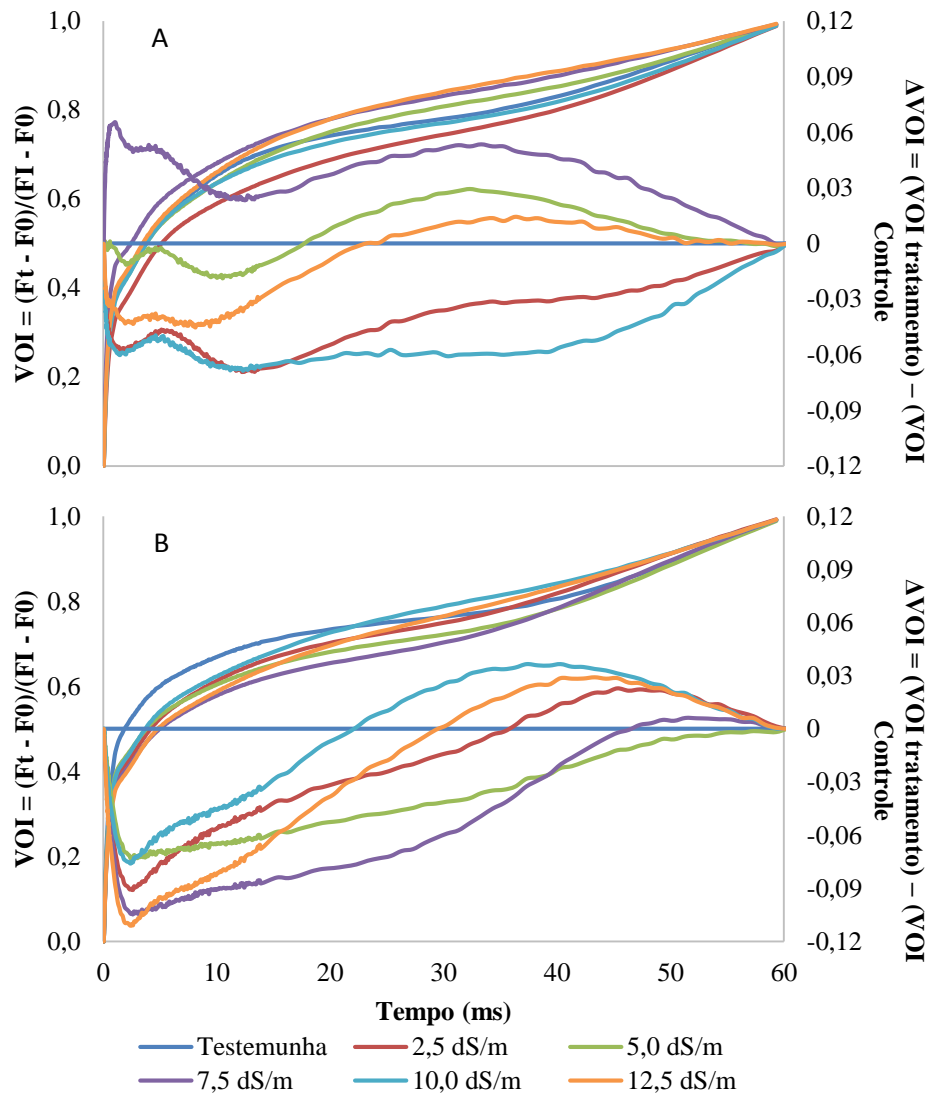
**Figura 4.** Fluorescência variável relativa [ $VOP = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$ ] e diferença cinética de VOP [ $\Delta VOP = (VOP \text{ tratamento}) - (VOP \text{ Controle})$ ] em plantas de feijão caupi aos 33 DAP irrigado com solução de NaCl (A) e com uma mistura de sais (B).

Venkatesh et al. (2012) também encontraram diferença cinética negativa trabalhando com batata transgênica sob estresse salino causado por NaCl. Os tratamentos com NaCl apresentaram uma menor capacidade de reduzir a QA e transferir elétrons para o lado do aceptor do FSI.

#### Fluorescência variável relativa e diferença cinética no trecho O-I

A normalização entre os passos O e I (VOI) indica a captura do éxciton pelo FSII até a redução da plastoquinona (PQ) (YUSUF et al., 2010). Para melhor visualização do comportamento da fluorescência nesta fase da fotoquímica foi calculada a diferença cinética

entres O e I ( $\Delta\text{VOI}$ ). Na figura (5A) para os tratamentos 5, 7,5 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> com NaCl pode ser visto  $\Delta\text{VOI}$  positivo indicando que ocorreu efeito do estresse sobre as plantas nesta fase da fotossíntese. Para Mistura (Figura 5B) de sais os tratamentos 10 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> apresentaram banda positiva de  $\Delta\text{VOI}$  indicando estresse.

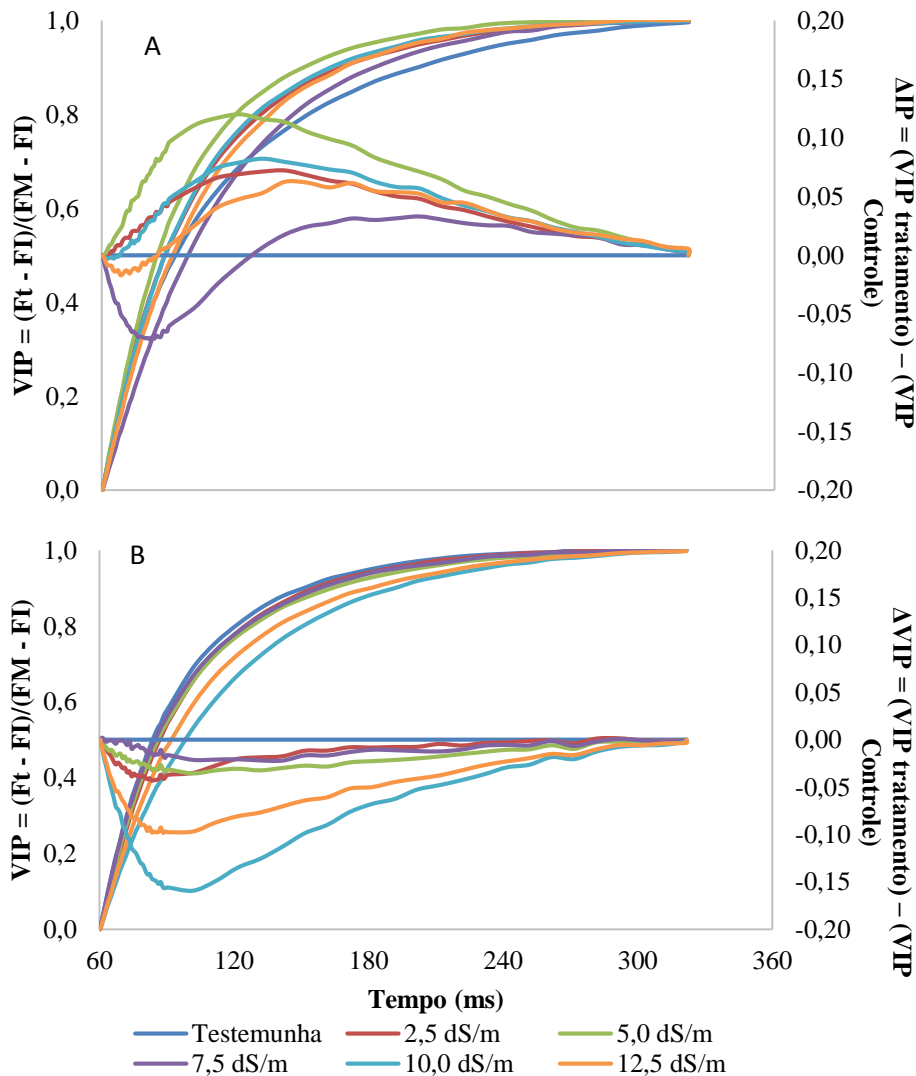


**Figura 5.** Fluorescência variável relativa  $\text{Voi} < 1$  [ $\text{VOI} = (\text{Ft} - \text{F0})/(\text{FI} - \text{F0})$ ] e diferença cinética de VOI [ $\Delta\text{VOI} = (\text{VOI tratamento}) - (\text{VOI controle})$ ] em plantas de feijão caupi aos 33 DAP irrigado com solução de NaCl (A) e com uma mistura de sais (B).

### Fluorescência variável relativa e diferença cinética no trecho I - P

A interpretação da fluorescência variável relativa entre os passos I e P (VIP) possibilita a comparação das constantes globais de taxas de redução do pool de aceptores finais de elétrons do FSI (YUSUF et al., 2010). Para os dados de VIP, todos os tratamentos com NaCl tiveram a

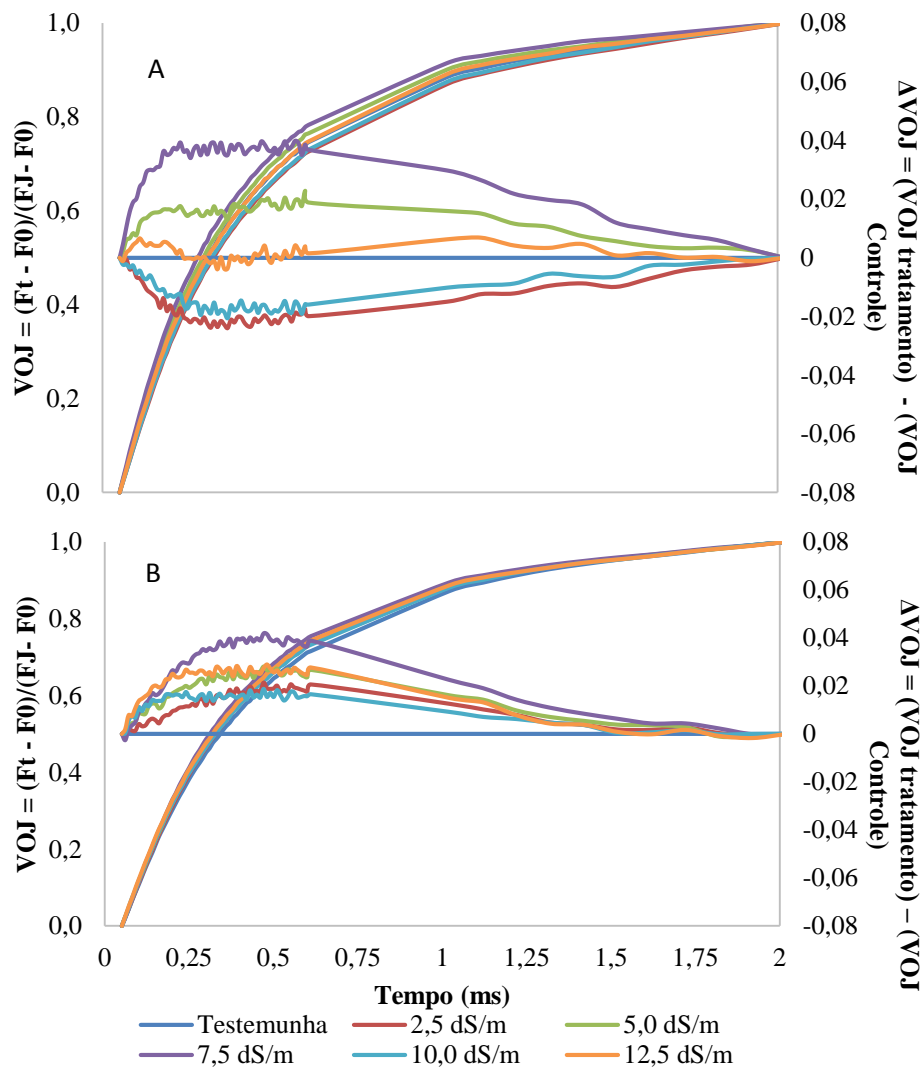
curva localizada acima da testemunha indicando um aumento na fluorescência no trecho I-P (Figura 6A). Para o tratamento com Mistura todos as curvas ficaram abaixo da curva da testemunha indicando que não houve efeito no trecho I-P (6B). Para  $\Delta VIP$  dos tratamentos com NaCl ocorreu uma diminuição das taxas de redução do pool de aceptores finais de elétrons do FSI em todos os tratamentos comparados ao controle (6A), o que não foi visto para os tratamentos com Mistura de sais (6B), indicando que nesta fase o NaCl foi mais danoso ao fotossistema da planta.



**Figura 6.** Fluorescência variável relativa [ $VIP = (F_t - F_I)/(F_M - F_I)$ ] e diferença cinética [ $\Delta VIP = (VOI \text{ tratamento}) - (VOI \text{ controle})$ ], em plantas de feijão caupi aos 33 DAP irrigado com solução de NaCl (A) e com uma mistura de sais (B).

## Banda K

Não é possível visualizar nenhum efeito sobre VOJ observando apenas as figuras 7A e 7B, 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 (YUSUF et al. 2010). Na figura 7A os tratamentos 5, 7,5 e 12,5 dS m<sup>-1</sup> há ocorrência da banda K indicando inativação do complexo de evolução de oxigênio. Nos tratamentos com Mistura de sais (Figura 7B) a banda K ficou positiva em todos os tratamentos.

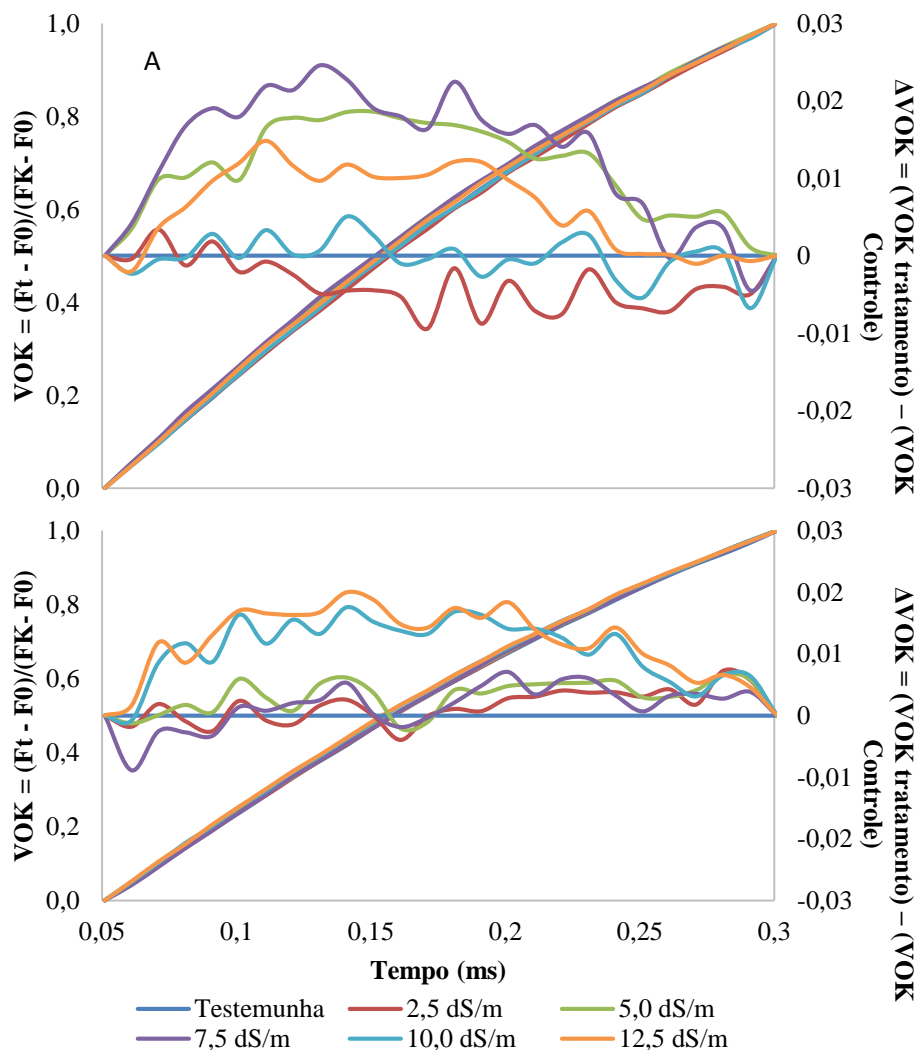


**Figura 7.** Fluorescência variável relativa [ $VOJ = (F_t - F_0)/(F_J - F_0)$ ] e diferença cinética de [ $\Delta VOJ = (VOJ \text{ tratamento}) - (VOI \text{ controle})$ ] em plantas de feijão caupi aos 33 DAP irrigado com solução de NaCl (A) e com uma mistura de sais (B).



## Banda L

A banda L é um indicador do grau de agrupamento das unidades do FSII, sendo que, quando maior o valor positivo da banda L, a conectividade entre as unidades do FSII é menor, 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). Mais uma vez apenas as diferenças cinéticas possibilitam a melhor visualização dos efeitos dos sais sobre os tratamentos (Figura 8).



**Figura 8.** Fluorescência variável relativa [ $VOK = (F_t - F_0)/(F_K - F_0)$ ] e diferença cinética de VOK [ $\Delta VOK = (VOK \text{ tratamento}) - (VOK \text{ controle})$ ] em plantas de feijão caupi aos 33 DAP irrigado com solução de NaCl (A e B) e com uma mistura de sais (C e D).

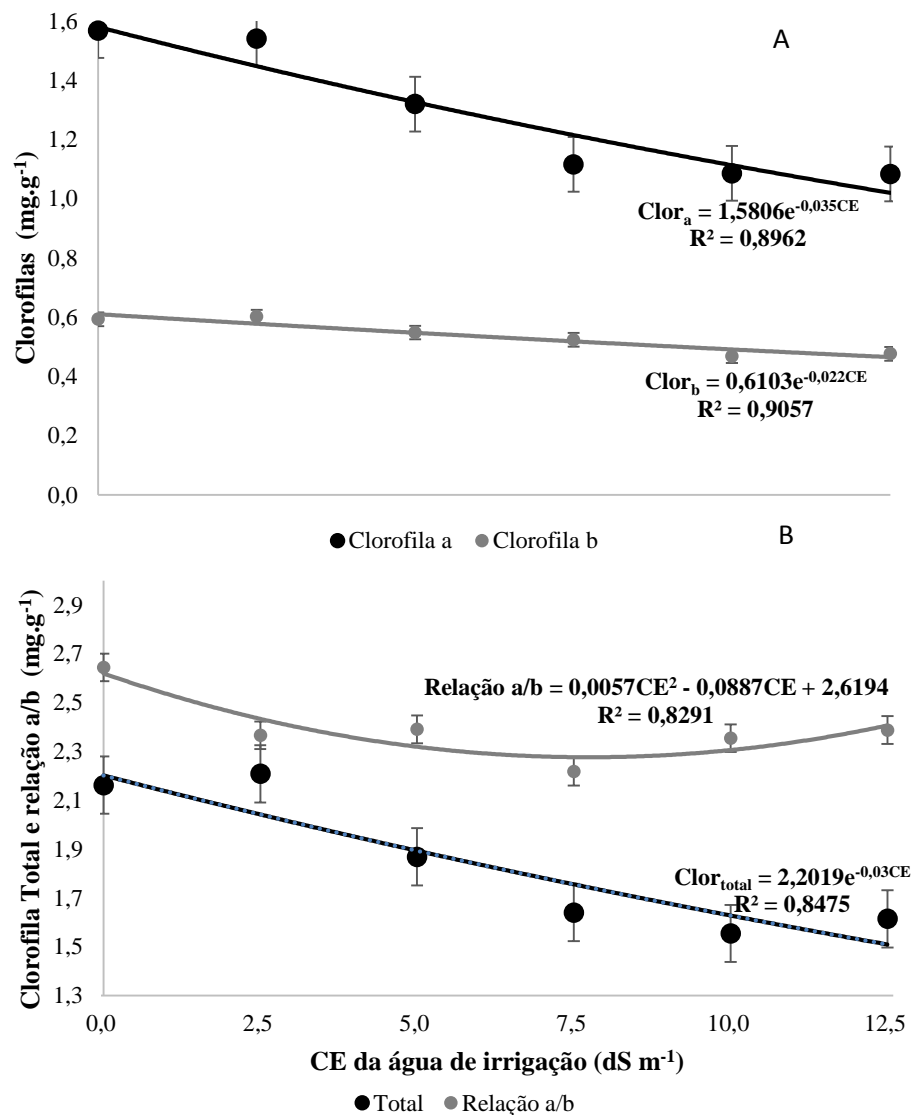
Para o NaCl, o tratamento de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  não apresentou banda L (Figura 8A). Para Mistura de sais, todos os tratamentos apresentaram banda L (Figura 8B). Uma banda-L negativa indica que a energia de excitação não é transferida com tanta eficiência para o fotossistema, caracterizando alguma desorganização na estrutura dos tilacoides sob condição de estresse.

Tanto para mistura de sais (Figura 8B) quanto para NaCl (Figura 8A) só o tratamento 10 dS m<sup>-1</sup> não apresentou banda L.

### **Pigmentos fotossintéticos**

Os pigmentos fotossintéticos estão intimamente ligados a fluorescência da clorofila *a*, uma vez que são responsáveis pela captura do fóton de luz e transferência de energia para os centros de reações do fotossistema.

Ocorreu um decréscimo de 30% entre o tratamento controle e o tratamento com CE de 12,5 dS m<sup>-1</sup> para os teores de clorofila *a*, 20% para os teores de clorofila *b* (Figura 9A) e 23% para os teores de carotenoides (Figura 12). Os valores de clorofila total também sofreram decréscimos (Figura 9B).



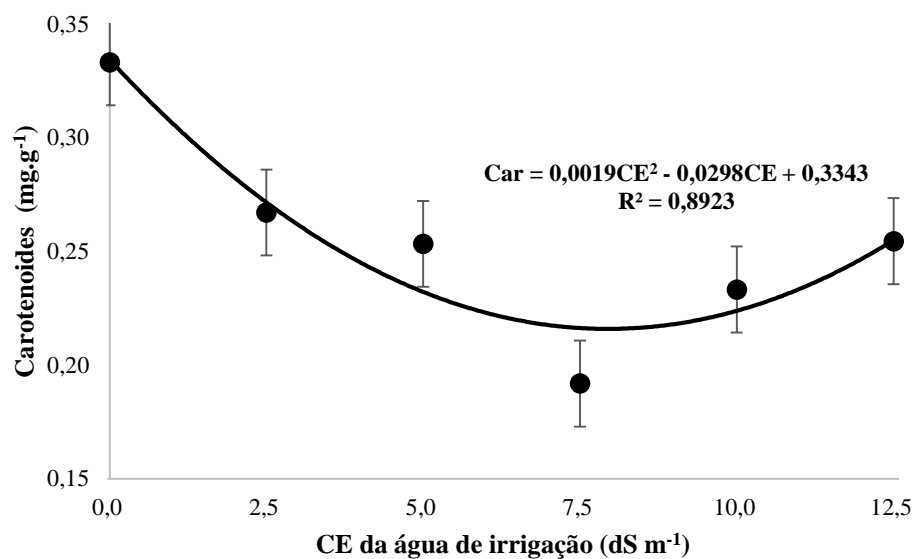
**Figura 9.** Valores médios dos teores de clorofila a, b, total e carotenoides ne seus erros padrões em folhas de feijão caupi em função dos valores de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 33 dias após o plantio.

Cha-um (2013) também encontrou um declínio da concentração da clorofila a e b, total e carotenoides em função do aumento da salinidade do solo tanto em feijão caupi quanto em feijão de porco. Taffou et al. (2010) encontraram redução na clorofila total e Manai et al. (2014) encontraram declínio no teor de clorofila a, b e total cultivando tomate sobre estresse salino. Xu et al. (2015) trabalhando com *Populus cathayana* cultivada sobre estresse salino também encontrou um decréscimo nos tratamentos salinos em relação ao controle para clorofila a, b e total. Essa diminuição evidencia o dano causado ao aparato fotossintético da planta.

O estresse destrói as moléculas de clorofila pela acumulação de íons tóxicos induzindo a ação da clorofilase (REDDY & VORA, 1986). Os carotenoides possuem um papel importante na proteção do pigmento clorofila sob condições de estresse e são conhecidos por manter as

reações fotodinâmicas, protegendo a clorofila da peroxidação lipídica e impedindo o colapso da membrana dos cloroplastos (KNOX & DODGE, 1985). A diminuição da concentração de carotenoides e das clorofilas fazem com que as moléculas de clorofila que continuam atuando fiquem mais excitadas, podendo formar radicais livres que provocariam a peroxidação de lipídios e afetariam mais moléculas de clorofila e outras membranas do processo fotossintético, gerando radicais livres e provocando a morte da planta, mais o aumento na dissipação de energia (D<sub>Io</sub>/CR e D<sub>Io</sub>/CS<sub>o</sub>) impede que isso ocorra.

Ocorreu também um decréscimo nos valores da relação *a/b*, provocado pela diminuição dos teores de clorofila *a* e clorofila *b* (Figura 9B). Jain & Gould (2015) encontraram um decréscimo significativo na relação *a/b* cultivando *Disphyma* irrigadas com solução de NaCl. Jiang et al. (2014) cultivando *Populus cathayana* sobre estresse salino também encontraram decréscimo na relação *a/b*.



**Figura 12.** Valores médios da relação *a/b* e seu erro padrão nas folhas do feijão caupi em função dos valores de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) aos 35 dias após o plantio.

## CONCLUSÕES

- 1) A fluorescência variável ( $F_v$ ) mostrou-se mais sensível na detecção do estresse salino do que a fluorescência inicial ( $F_0$ ) e a fluorescência máxima ( $F_m$ ), assim como o rendimento quântico máximo fotoquímico primário ( $F_v/F_m$ ) e a área total normalizada acima da curva OJIP ( $S_m$ ).
- 2) O rendimento quântico de transporte de elétrons de QA- para o intersistema de aceptores de elétrons ( $\phi_{Eo}$ ) e a eficiência com que um elétron pode mover dos aceptores de elétrons do intersistema reduzidos para os aceptores finais do FSI ( $\delta R_o$ ) diminuíram com o aumento da salinidade, o que resultou no aumento do rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor ( $\phi_{Do}$ ).
- 3) O fluxo de energia dissipada por CR no  $t = 0$  ( $DI_o/CR$ ) e a dissipação de energia no instante 0 por CS ( $DI_o/CS$ ) aumentaram para os tratamentos mais salinos evitando uma excitação excessiva dos pigmentos que seria provocado pela diminuição da concentração de carotenoides e das clorofilas provocado pelo aumento da salinidade.
- 4) A banda positiva mais proeminente para o tratamento com NaCl na fluorescência relativa O – P, indica que os tratamentos com NaCl apresentaram uma menor capacidade de reduzir a QA e transferir elétrons para o lado do acceptor do FSI.
- 5) Os tratamentos com maior salinidade tanto para NaCl quanto para mistura de sais tiveram menor eficiência na captura do éxciton pelo FSII até a redução da plastoquinona (PQ).
- 6) Os índices de performance indicaram alterações em todas etapas da fotoquímica mostraram-se extremamente sensível na detecção do estresse salino.
- 7) O estresse salino causa danos ao fotossistema evidenciados pelas alterações na fluorescência da clorofila *a*, o que possibilita seu uso como indicador de estresse salino no feijão caupi.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 1) O aumento da salinidade da água de irrigação diminui o potencial osmótico e hídrico do solo e da planta, reduzindo parâmetros biométricos e produtivos. Isto ocorreu, possivelmente pela ausência de uma fração de lixiviação, o que ocasionou um aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação, mesmo para água de menor condutividade elétrica;
- 2) A condutância estomática é bastante sensível à salinidade, e sua diminuição provoca a redução da fotossíntese líquida, transpiração foliar, concentração interna de CO<sub>2</sub> e a eficiência instantânea da carboxilação, o que ocasiona redução no crescimento da planta, refletido pelo efluxo de CO<sub>2</sub> que diminuiu junto com o peso seco das raízes.
- 3) O aumento na eficiência de uso da água e eficiência intrínseca de uso da água validam a ausência de alterações no TRA, indicando um certo grau de tolerância do feijão caupi à salinidade, que devido ao manejo adotado não pode expressar essa tolerância em produção.
- 4) A salinidade provocou alterações em todas as etapas da fotoquímica evidenciada pelas alterações nos índices de performance da fluorescência da clorofila *a* e pela redução dos pigmentos fotossintéticos.
- 5) Essa pesquisa, que não utilizou fração de lixiviação, reflete o cenário que se tem em condição de campo, onde o agricultor, não a adota devido ao pouco acesso à tecnologia e informação.
- 6) De qualquer modo, como proposta de trabalhos futuros, sugere-se que se testem diferentes frações de lixiviação para identificar a evolução da salinidade do solo e consequentes parâmetros ecofisiológicos da planta.

## BIBLIOGRAFIA

ANDREWS, D. L.; CURUTCHET, C.; SCHOLES, G. D. Resonance energy transfer: beyond the limits. **Laser & Photonics Reviews**, v. 5, p. 114-123, 2011.

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1607-1621, 2004.

CHA-UM, S.; BATIN, C. B.; SAMPHUMPHUNG, T.; KIDMANEE, C. Physio-morphological changes of cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) and jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) in responses to soil salinity. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, p. 2128:2135, 2013.

CHEN, T. H.; MURATA, N. Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: mechanisms and biotechnological applications. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, p. 1–20, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. D. M.; SILVA, K.; NOGUEIRA, M.; RODRIGUES, E. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. **IV Reunião nacional de Biofortificação**. Teresina, PI. 2011.

GENGMAO, Z.; QUANMEI, S.; YU, H.; SHIHUI, L.; CHANGHAI, W. The physiological and biochemical responses of a medicinal plant (*Salvia miltiorrhiza* L.) to stress caused by various concentrations of NaCl. **PloS one**, v. 9, p. e89624, 2014.

GENGMAO, Z.; YU, H.; XING, S.; SHIHUI, L.; QUANMEI, S.; CHANGHAI, W. Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p.175-181, 2015.

IPA. **Manual de Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2a. aproximação**. 2 ed. rev. Recife, 2008. 212p.

JAFARINIA, M.; SHARIATI, M. Effects of salt stress on photosystem II of canola plant (*Barassica napus* L.) probing by chlorophyll a fluorescence measurements. **Iranian Journal of Science & Technology**, v. 1, p. 71-76, 2012.

JAIN, G.; GOULD, K. S. Functional significance of betalain biosynthesis in leaves of *Disphyma australe* under salinity stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 131-140, 2015.

JIANG, Y.; DUAN, Y.; YIN, J.; YE, S.; ZHU, J.; ZHANG, F.; LUO, K. Genome-wide identification and characterization of the Populus WRKY transcription factor family and analysis of their expression in response to biotic and abiotic stresses. **Journal of experimental botany**, eru381, 2014.

- KALAJI, H. M.; BOSA, K.; KOŚCIELNIAK, J.; ŻUK-GOŁASZEWSKA, K. Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces. **Environmental and Experimental Botany**, v. 73, p. 64-72, 2011.
- KNOX, J. P.; DODGE, A. D. Singlet oxygen and plants. **Phytochemistry**, v. 24, p. 889– 896, 1985.
- LI, G.; WAN, S.; ZHOU, J.; YANG, Z.; QIN, P. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. **Industrial crops and products**, v. 31, p. 13-19, 2010.
- LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, p. F4.3.1–F4.3.8. 2001.
- LICHTENTHALER, H.K.; WENZEL, O.; BUSCHMANN, C.; GITELSON, A. Plant stress detection by reflectance and fluorescence. In: **Annals New York Academy of Science**, p. 271-285, 1998.
- MANAI, J.; KALAI, T.; GOUIA, H.; CORPAS, F. J. Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 14, p. 433-446, 2014.
- MEHTA, P.; JAJOO, A.; MATHUR, S.; BHARTI, S. Chlorophyll *a* fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. **Plant physiology and biochemistry**, v. 48, p. 16-20, 2010.
- OUKARROUM, A.; BUSSOTTI, F.; GOLTSEV, V.; KALAJI, H. M. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* L. plants under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 80-88, 2015.
- OYETUNJI, O. J.; IMADE, F. N. Effect of salt stress on growth, proline, glycinebetaine and photosynthetic pigment concentrations on cowpea plant. **Nature and Science**, v. 12, p. 156-161, 2014.
- PALMA, F.; LÓPEZ-GÓMEZ, M.; TEJERA, N. A.; LLUCH, C. Salicylic acid improves the salinity tolerance of *Medicago sativa* in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* by preventing nitrogen fixation inhibition. **Plant Science**, v. 208, p. 75-82, 2013a.
- PALMA, F.; TEJERA, N. A.; LLUCH, C. Nodule carbohydrate metabolism and polyols involvement in the response of *Medicago sativa* to salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, p. 43-49, 2013b.
- REDDY, M. P.; VORA, A. B. Changes in pigment composition, hill reaction activity and saccharides metabolism in Bajra (*Pennisetum typhoides* S & H) leaves under NaCl salinity. **Photosynthetica**, v. 20, p. 50- 55, 1986.
- REDILLAS, M. C. F. R.; STRASSER, R. J.; JEONG, J. S.; KIM, Y. S.; KIM, J. K. The use



of JIP test to evaluate drought-tolerance of transgenic rice overexpressing OsNAC10. **Plant Biotechnology Report**, v. 5, p.169-175, 2011.

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

SALVATORI, E.; FUSARO, L.; GOTTARDINI, E.; POLLASTRINI, M.; GOLTSEV, V.; STRASSER, R. J.; BUSSOTTI, F. Plant stress analysis: Application of prompt, delayed chlorophyll fluorescence and 820 nm modulated reflectance. Insights from independent experiments. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 85, p. 105- 113, 2014.

SCHANSKER, G.; TÓTH, S. Z.; HOLZWARTH, A. R.; GARAB, G. Chlorophyll a fluorescence: beyond the limits of the QA model. **Photosynthesis research**, v. 120, p. 43-58, 2014.

SHARMA, A.; DHANDA, S. Abiotic stress response in *Vigna radiata* L. (mungbean). *International Journal of Life Sciences Biotechnology And Pharma Research*. v. 3, p. 14- 22, 2014.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGOA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and experimental botany**, v. 51, p. 45–56, 2004.

STIRBET A. G. Chlorophyll a fluorescence induction: a personal perspective of the thermal phase, the J-I-P rise. **Photosynth research**, v. 113, p. 15–61, 2012.

STIRBET, A. G. 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.

STIRBET, A.; RIZNICHENKO, G. Y.; RUBIN, A. B. Modeling chlorophyll a fluorescence transient: Relation to photosynthesis. **Biochemistry**, v. 79, p. 291-323, 2014.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of fluorescence transient, In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), *Chlorophyll Fluorescence: a Signature of Photosynthesis*, *Advances in Photosynthesis and Respiration*, **Springer**, v. 19, p. 321-362, 2004.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: YUNUS, M. et al. (Ed). **Probing photosynthesis: mechanism, regulation and adaptation**. CRC press. 2000.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1797, p. 1313-1326, 2010.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M. **Challeng and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, P, 22- 40, 2002.

TAWFIK, K. M. Evaluating the use of rhizobacterin on cowpea plants grown under salt stress. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, p. 26-33, 2008.

TAFFOUO, V. D.; NOUCK, A. H.; DIBONG, S. D.; AMOUGOU, A. Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, p. 5366-5372, 2013.

VENKATESH, J.; UPADHYAYA, C. P.; YU, J. W.; HEMAVATHI, A.; KIM, D. H.; STRASSER, R. J.; PARK, S. W. Chlorophyll a fluorescence transient analysis of transgenic potato overexpressing D-galacturonic acid reductase gene for salinity stress tolerance. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, p. 320-328, 2012.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; EGGENBERG, P.; BIRO, B.; KÖVES-PECHY, K.; VÖRÖS, I.; STRASSER, R. J. Synergistic and antagonistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and Azospirillum and Rhizobium nitrogen-fixers on the photosynthetic activity of alfalfa, probed by the polyphasic chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 169–182, 2000.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simulation *in vivo* recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant. *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1313–1326, 2010.

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.

XU, X.; LI, Y.; WANG, B.; HU, J.; LIAO, Y. Salt stress induced sex-related spatial heterogeneity of gas exchange rates over the leaf surface in *Populus cathayana* Rehd. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p. 1-10, 2015.

YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLIMICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N. B. Overexpression of  $\gamma$ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic Brassica juncea plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

ZAHEDI, S, M.; ANSARI, N. A.; AZIZI, M. The study of the effect of salinity stress on the germination and the initial growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Agricultural Technology**, v. 8, p. 2353-2372, 2012.

## APÊNDICE A – ANOVA CAPÍTULO I

**Tabela 1.** Potencial osmótico do solo aos 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00145	0.00145	0.3468 ns
CE	5	0.75660	0.15132	36.1420 **
Interação	5	0.06010	0.01202	2.8707 *
Tratamento	11	0.81815	0.07438	17.7646 **
Bloco	3	0.00193	0.00064	0.1533 ns
Resíduo	33	0.13816	0.00419	
Total	47	0.95824		

**Tabela 2.** Potencial mátrico do solo na madrugada aos 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00034	0.00034	0.0137 ns
CE	5	0.09755	0.01951	0.7820 ns
Interação	5	0.63999	0.12800	5.1302 **
Tratamento	11	0.73788	0.06708	2.6886 *
Bloco	3	0.00359	0.00120	0.0480 *
Resíduo	33	0.82334	0.02495	
Total	47	1.56482		

**Tabela 3.** Potencial total da água no solo aos 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.01172	0.01172	0.6826 ns
CE	5	1.70817	0.34163	19.8995 **
Interação	5	0.43499	0.08700	5.0674 **
Tratamento	11	2.15488	0.19590	11.4107 **
Bloco	3	0.10179	0.03393	1.9763 ns
Resíduo	33	0.56654	0.01717	
Total	47	2.82321		

**Tabela 4.** Potencial osmótico na planta aos 35 DAP na madrugada

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.02351	0.02351	0.7843 ns
CE	5	3.00855	0.60171	20.0684 **
Interação	5	0.23733	0.04747	1.5831 ns
Tratamento	11	3.26939	0.29722	9.9129 **
Bloco	3	0.47060	0.15687	5.2319 **
Resíduo	33	0.98944	0.02998	
Total	47	4.72943		

**Tabela 5.** Potencial total de água na planta aos 35 DAP na madrugada

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.04207	0.04207	1.7380 ns
CE	5	0.51395	0.10279	4.2467 **
Interação	5	0.24256	0.04851	2.0042 ns
Tratamento	11	0.79858	0.07260	2.9993 **
Bloco	3	0.40682	0.13561	5.6025 **
Resíduo	33	0.79876	0.02420	
Total	47	2.00417		

**Tabela 6.** Teor relativo de água na planta aos 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	90.61255	90.61255	1.5318 ns
CE	5	310.83512	62.16702	1.0510 ns
Interação	5	347.34359	69.46872	1.1744 ns
Tratamento	11	748.79126	68.07193	1.1508 ns
Bloco	3	53.62754	17.87585	0.3022 ns
Resíduo	33	1952.03334	59.15253	
Total	47	2754.45213		

**Tabela 7.** Peso específico aos 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00350	0.00350	0.2888 ns
CE	5	0.05769	0.01154	0.9513 ns
Interação	5	0.07159	0.01432	1.1805 ns
Tratamento	11	0.13277	0.01207	0.9953 ns
Bloco	3	0.03541	0.01180	0.9731 ns
Resíduo	33	0.40022	0.01213	
Total	47	0.56840		

**Tabela 8.** Suculência aos 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.09452	0.09452	0.5685 ns
CE	5	2.22989	0.44598	2.6826 *
Interação	5	1.96227	0.39245	2.3606 ns
Tratamento	11	4.28667	0.38970	2.3440 *
Bloco	3	0.84021	0.28007	1.6846 ns
Resíduo	33	5.48627	0.16625	
Total	47	10.61315		

**Tabela 8.** Altura das plantas aos 38 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	75.00000	75.00000	0.5145 ns
CE	5	46402.00000	9280.40000	63.6591 **
Interação	5	529.00000	105.80000	0.7257 ns
Tratamento	11	47006.00000	4273.27273	29.3126 **
Bloco	3	454.16667	151.38889	1.0385 ns
Resíduo	33	4810.83333	145.78283	
Total	47	52271.00000		

**Tabela 9.** Peso seco da folha

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	3.39735	3.39735	0.8060 ns
CE	5	363.67549	72.73510	17.2567 **
Interação	5	13.93404	2.78681	0.6612 ns
Tratamento	11	381.00687	34.63699	8.2178 **
Bloco	3	23.48029	7.82676	1.8569 ns
Resíduo	33	139.09114	4.21488	
Total	47	543.57830		

**Tabela 10.** Peso seco do ramo

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.92407	0.92407	0.1580 ns
CE	5	2080.36054	416.07211	71.1432 **
Interação	5	4.80445	0.96089	0.1643 ns
Tratamento	11	2086.08907	189.64446	32.4269 **
Bloco	3	17.63042	5.87681	1.0049 ns
Resíduo	33	192.99638	5.84838	
Total	47	2296.71587		

**Tabela 11.** Peso seco da raiz

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.42563	0.42563	3.9365 ns
CE	5	32.49867	6.49973	60.1130 **
Interação	5	0.85887	0.17177	1.5887 ns
Tratamento	11	33.78317	3.07120	28.4041 **
Bloco	3	0.56117	0.18706	1.7300 ns
Resíduo	33	3.56813	0.10813	
Total	47	37.91247		

**Tabela 12.** CE do solo 17 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	2.03528	2.03528	1.8555 ns
CE	5	322.89023	64.57805	58.8743 **
Interação	5	23.80427	4.76085	4.3404 **
Tratamento	11	348.72978	31.70271	28.9026 **
Bloco	3	0.25755	0.08585	0.0783 ns
Resíduo	33	36.19703	1.09688	
Total	47	385.18436		

**Tabela 13.** CE do solo 35 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	106.27600	106.27600	31.8793 **
CE	5	552.04004	138.01001	41.3985 **
Interação	5	25.61600	6.40400	1.9210 ns
Tratamento	11	683.93204	75.99245	22.7953 **
Bloco	3	0.88804	0.29601	0.0888 ns
Resíduo	33	90.00976	3.33369	
Total	47	774.82984		

**Tabela 14.** CE do solo 46 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	158.08576	1089.44060	25.9190 **
CE	4	707.08090	176.77023	28.9824 **
Interação	4	58.25514	14.56379	2.3878 ns
Tratamento	9	923.42180	102.60242	16.8222 **
Bloco	3	1.33956	0.44652	0.0732 ns
Resíduo	27	164.67924	6.09923	
Total	39	1089.44060		

**Tabela 15.** CE do solo 60 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	1.60000	1.60000	0.4326 ns
CE	4	1003.20484	250.80121	67.8156 **
Interação	4	13.54580	3.38645	0.9157 ns
Tratamento	9	1018.35064	113.15007	30.5953 **
Bloco	3	0.13456	0.04485	0.0121 **
Resíduo	27	99.85364	3.69828	
Total	39	1118.33884		

**Tabela 16.** CE do solo 60 DAP (Pasta saturada)

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.96050	0.96050	0.2949 ns
CE	5	1909.68904	381.93781	117.2796**
Interação	5	20.99184	4.19837	1.2892 ns
Tratamento	11	1931.64137	175.60376	53.9217 **
Bloco	3	22.12454	7.37485	2.2646 ns
Resíduo	33	107.46919	3.25664	
Total	47	2061.23510		

**Tabela 17.** Potencial osmótico do solo17 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00048	0.00048	0.1573 ns
CE	5	0.63442	0.12688	41.4687 **
Interação	5	0.03949	0.00790	2.5816 *
Tratamento	11	0.67439	0.06131	20.0371 **
Bloco	3	0.00141	0.00047	0.1534 ns
Resíduo	33	0.10097	0.00306	
Total	47	0.77677		

**Tabela 18.** Potencial osmótico do solo 46 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.20221	0.20221	23.4782 **
CE	4	1.33836	0.33459	38.8489 **
Interação	4	0.06095	0.01524	1.7691 ns
Tratamento	9	1.60152	0.17795	20.6611 **
Bloco	3	0.00019	0.00006	0.0075 **
Resíduo	27	0.23254	0.00861	
Total	39	1.83425		

**Tabela 19.** Potencial osmótico do solo 60 DAP

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.14042	0.14042	10.7016 **
CE	4	1.86644	0.46661	35.5603 **
Interação	4	0.06276	0.01569	1.1957 ns
Tratamento	9	2.06962	0.22996	17.5251 **
Bloco	3	0.00847	0.00282	0.2151 ns
Resíduo	27	0.35428	0.01312	
Total	39	2.43238		

**Tabela 20.** Potencial osmótico do solo 60 DAP (Pasta saturada)

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.05070	0.05070	4.5290 *
CE	5	3.26362	0.65272	58.3078 **
Interação	5	0.06275	0.01255	1.1211 ns
Tratamento	11	3.37707	0.30701	27.4249 **
Bloco	3	0.00688	0.00229	0.2050 ns
Resíduo	33	0.36942	0.01119	
Total	47	3.75337		

## APÊNDICE B – ANOVA CAPÍTULO II

**Tabela 1.** Análise de variância Déficit de pressão de vapor

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.32177	0.32177	0.9833 ns
CE	5	37.35606	7.47121	22.8307**
Interação	5	0.90674	0.18135	0.5542 ns
Tratamento	11	38.58457	3.50769	10.7189**
Bloco	3	1.10986	0.36995	1.1305 ns
Resíduo	33	10.79907	0.32724	
Total	47	50.49350		

**Tabela 2.** Análise de variância condutância estomática

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.31202	0.31202	6.5399 *
CE	5	8.18306	1.63661	34.3032**
Interação	5	0.38729	0.07746	1.6235 ns
Tratamento	11	8.88237	0.80749	16.9249 *
Bloco	3	0.31629	0.10543	2.2098 ns
Resíduo	33	1.57444	0.04771	
Total	47	10.77310		

**Tabela 3.** Análise de variância fotossíntese líquida

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	59.54107	59.54107	2.4628 ns
CE	5	1828.41488	365.68298	15.1258**
Interação	5	46.35045	9.27009	0.3834 ns
Tratamento	11	1934.30640	175.84604	7.2735 **
Bloco	3	64.27372	21.42457	0.8862 ns
Resíduo	33	797.81418	24.17619	
Total	47	2796.39430		

**Tabela 4.** Análise de variância eficiência de uso da água

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.05583	0.05583	1.2287 ns
CE	5	0.57105	0.11421	2.5135 *
Interação	5	0.35755	0.07151	1.5738 ns
Tratamento	11	0.98443	0.08949	1.9696 ns
Bloco	3	0.61277	0.20426	4.4953 **
Resíduo	33	1.49944	0.04544	
Total	47	3.09664		

**Tabela 5.** Análise de variância eficiência de uso da água

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.05583	0.05583	1.2287 ns
CE	5	0.57105	0.11421	2.5135 *
Interação	5	0.35755	0.07151	1.5738 ns
Tratamento	11	0.98443	0.08949	1.9696 ns
Bloco	3	0.61277	0.20426	4.4953 **
Resíduo	33	1.49944	0.04544	
Total	47	3.09664		



**Tabela 6.** Análise de variância eficiência intrínseca de uso da água

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	470.31380	470.31380	1.7350 ns
CE	5	24580.93102	4916.18620	18.1358**
Interação	5	1204.26379	240.85276	0.8885 ns
Tratamento	11	26255.50861	2386.86442	8.8051 **
Bloco	3	640.43604	213.47868	0.7875 ns
Resíduo	33	8945.52244	271.07644	
Total	47	35841.46708		

**Tabela 7.** Análise de variância eficiência instantânea da carboxilação

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00048	0.00048	1.4423 ns
CE	5	0.01594	0.00319	9.5515 **
Interação	5	0.00048	0.00010	0.2855 ns
Tratamento	11	0.01690	0.00154	4.6025 **
Bloco	3	0.00075	0.00025	0.7523 ns
Resíduo	33	0.01101	0.00033	
Total	47	0.02866		

**Tabela 8.** Análise de variância Efluxo de CO<sub>2</sub> no solo

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	49.03350	49.03350	4.2620 *
CE	5	517.57799	103.51560	8.9977 **
Interação	5	27.32178	5.46436	0.4750 ns
Tratamento	11	593.93327	53.99393	4.6932 **
Bloco	3	123.14076	41.04692	3.5678 *
Resíduo	33	379.65496	11.50470	
Total	47	1096.72900		

**Tabela 9.** Análise de variância Temperatura do solo

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.89107	0.89107	1.6239 ns
CE	5	5.22677	1.04535	1.9050 ns
Interação	5	0.94018	0.18804	0.3427 ns
Tratamento	11	7.05802	0.64164	1.1693 ns
Bloco	3	90.33188	30.11063	54.8734 **
Resíduo	33	18.10807	0.54873	
Total	47	115.49797		

## APÊNDICE C – ANOVA CAPÍTULO III

**Tabela 1.** Análise de variância Fo.

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	2256367.68750	2256367.68750	3.0875 ns
CE	5	6401993.35417	1280398.67083	1.7520 ns
Interação	5	6401993.35417	1280398.67083	1.7520 ns
Tratamento	11	10487758.72917	953432.61174	1.7520 ns
Bloco	3	4953423.22917	1651141.07639	1.7520 ns
Resíduo	33	24116779.02083	1651141.07639	
Total	47	24116779.02083		

**Tabela 2.** Análise de variância Fm

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	595188.02084	595188.02084	0.0673 ns
CE	5	67683189.10417	13536637.8208	1.5317 ns
Interação	5	29559954.10416	5911990.82083	0.6690 ns
Tratamento	11	97838331.22917	8894393.74811	1.0064 ns
Bloco	3	10222471.39584	3407490.46528	0.3856 ns
Resíduo	33	291638542.3542	8837531.58649	
Total	47	399699344.9792		

**Tabela 3.** Análise de variância Fv

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	1910811.02083	1910811.02083	0.2069 ns
CE	5	124014785.8542	24802957.1708	2.6855 *
Interação	5	32217855.35417	6443571.07083	0.6977 ns
Tratamento	11	158143452.2292	14376677.4754	1.5566 ns
Bloco	3	36021033.56250	12007011.1875	1.3001 ns
Resíduo	33	304779604.6875	9235745.59659	
Total	47	498944090.4792		

**Tabela 4.** Análise de variância Fv/Fm

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00725	0.00725	1.9131 ns
CE	5	0.05814	0.01163	3.0678 *
Interação	5	0.01683	0.00337	0.8878 ns
Tratamento	11	0.08222	0.00747	1.9719 ns
Bloco	3	0.02492	0.00831	2.1914 ns
Resíduo	33	0.12509	0.00379	
Total	47	0.23224		

**Tabela 5.** Análise de variância  $\phi$ Do

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00924	0.00924	3.0508 ns
CE	5	0.05371	0.01074	3.5465 *
Interação	5	0.01512	0.00302	0.9986 ns
Tratamento	11	0.07808	0.00710	2.3433 *
Bloco	3	0.02621	0.00874	2.8847 ns
Resíduo	33	0.09996	0.00303	
Total	47	0.20424		

**Tabela 6.** Análise de variância  $\delta$ ro

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00178	0.00178	0.3172 ns
CE	5	0.08996	0.01799	3.2131 *
Interação	5	0.03693	0.00739	1.3189 ns
Tratamento	11	0.12866	0.01170	2.0889 ns
Bloco	3	0.01510	0.00503	0.8989 ns
Resíduo	33	0.18478	0.00560	
Total	47	0.32855		

**Tabela 7.** Análise de variância ABS/CR

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.69745	0.69745	3.0690 ns
CE	5	2.97914	0.59583	2.6218 *
Interação	5	1.19830	0.23966	1.0546 ns
Tratamento	11	4.87489	0.44317	1.9501 ns
Bloco	3	2.32758	0.77586	3.4140 *
Resíduo	33	7.49945	0.22726	
Total	47	14.70193		

**Tabela 8.** Análise de variância ETo/RC

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.03488	0.03488	3.5691 ns
CE	5	0.11744	0.02349	2.4031 ns
Interação	5	0.16036	0.03207	3.2815 *
Tratamento	11	0.31269	0.02843	2.9084 **
Bloco	3	0.06147	0.02049	2.0964 ns
Resíduo	33	0.32254	0.00977	
Total	47	0.69669		

**Tabela 9.** Análise de variância DIo/RC

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.29815	0.29815	2.3268 ns
CE	5	1.62299	0.32460	2.5332 *
Interação	5	0.83469	0.16694	1.3028 ns
Tratamento	11	2.75583	0.25053	1.9552 ns
Bloco	3	1.09301	0.36434	2.8434 ns
Resíduo	33	4.22846	0.12814	
Total	47	8.07731		

**Tabela 10.** Análise de variância ABS/CS

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	2256367.68750	2256367.68750	3.0875 ns
CE	5	6401993.35417	1280398.67083	1.7520 ns
Interação	5	6401993.35417	1280398.67083	1.7520 ns
Tratamento	11	10487758.72917	953432.61174	1.7520 ns
Bloco	3	4953423.22917	1651141.07639	1.7520 ns
Resíduo	33	24116779.02083	1651141.07639	
Total	47	24116779.02083		

**Tabela 11.** Análise de variância Dio/CS

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	595633.52083	595633.52083	2.0368 ns
CE	5	2913052.85417	582610.57083	1.9923 ns
Interação	5	179058.35417	35811.67083	0.1225 *
Tratamento	11	3687744.72917	335249.52083	1.1464 ns
Bloco	3	1464073.89583	488024.63194	1.6688 ns
Resíduo	33	9650275.85417	292432.60164	
Total	47	14802094.47917		

**Tabela 12.** Análise de variância yCR/(1-yCR)

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00773	0.00773	3.3092 ns
CE	5	0.03654	0.00731	3.1302 *
Interação	5	0.00776	0.00155	0.6648 ns
Tratamento	11	0.05203	0.00473	2.0258 ns
Bloco	3	0.02327	0.00776	3.3222 *
Resíduo	33	0.07705	0.00233	
Total	47	0.15235		

**Tabela 13.** Análise de variância  $\phi\text{Po}/(1-\phi\text{Po})$ 

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.35312	0.35312	0.6834 ns
CE	5	8.69304	1.73861	3.3647 *
Interação	5	2.02608	0.40522	0.7842 ns
Tratamento	11	11.07223	1.00657	1.9480 ns
Bloco	3	4.41258	1.47086	2.8466 ns
Resíduo	33	17.05163	0.51672	
Total	47	32.53644		

**Tabela 14.** Análise de variância  $\psi\text{E0}/(1-\psi\text{E0})$ 

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00003	0.00003	0.0002 *
CE	5	1.55174	0.31035	1.8881 ns
Interação	5	1.86240	0.37248	2.2661 ns
Tratamento	11	3.41417	0.31038	1.8883 ns
Bloco	3	0.57430	0.19143	1.1647 ns
Resíduo	33	5.42413	0.16437	
Total	47	9.41260		

**Tabela 15.** Análise de variância  $\delta\text{ro}/(1-\delta\text{ro})$ 

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.00474	0.00474	0.0158 ns
CE	5	4.21976	0.84395	2.8099 *
Interação	5	1.67273	0.33455	1.1138 ns
Tratamento	11	5.89723	0.53611	1.7849 ns
Bloco	3	0.42842	0.14281	0.4755 ns
Resíduo	33	9.91171	0.30035	
Total	47	16.23736		

**Tabela 16.** Análise de variância Plabs

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	0.49410	0.49410	0.3179 ns
CE	5	20.09871	4.01974	2.5863 *
Interação	5	5.63712	1.12742	0.7254 ns
Tratamento	11	26.22994	2.38454	1.5342 ns
Bloco	3	8.63164	2.87721	1.8512 ns
Resíduo	33	51.29029	1.55425	
Total	47	86.15188		

**Tabela 16.** Análise de variância P<sub>total</sub>

FV	GL	SQ	QM	F
Fonte de sal	1	2.98801	2.98801	0.3973 ns
CE	5	96.37986	19.27597	2.5628 *
Interação	5	14.68341	2.93668	0.3904 ns
Tratamento	11	114.05128	10.36830	1.3785 ns
Bloco	3	28.15869	9.38623	1.2479 ns
Resíduo	33	248.20928	7.52149	
Total	47	390.41926		

**APÊNDICE D – MÉDIA, DESVIO PADRÃO (s) E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) PARA OS PARÂMETROS DO TESTE JIP.**

	0 dS m <sup>-1</sup>	2,5 dS m <sup>-1</sup>	5 dS m <sup>-1</sup>	7,5 dS m <sup>-1</sup>	10 dS m <sup>-1</sup>	12,5 dS m <sup>-1</sup>	s	CV
Fo	5961	6077	5599	5855	6694	6441	917	14,00
Fm	24460	25621	24498	25979	23267	22616	2916	12.18
Fv	18484	19543	18899	20124	16573	15596	3258	17.90
Fv/Fm	0.712	0.761	0.771	0.774	0.705	0.687	0.070	9.56
φDo	0.250	0.239	0.229	0.226	0.295	0.313	0.066	25.48
δro	0.738	0.628	0.631	0.605	0.627	0.629	0.084	13.00
ABS/RC	2.722	2.561	2.470	2.494	2.804	3.167	0.548	20.27
ETo/RC	1.265	1.333	1.330	1.375	1.394	1.414	0.122	9.02
DIo/RC	0.784	0.615	0.578	0.568	0.881	1.073	0.415	55.29
DIo/CS0	1541	1458	1323	1333	2006	1777	561	35.68
yCR/(1-yCR)	0.371	0.392	0.410	0.405	0.351	0.335	0.057	15.08
φPo/(1-φPo)	2.985	3.235	3.477	3.474	2.538	2.394	0.832	27.58
ψE0/(1-ψE0) NaCl	2.337	2.340	2.536	2.385	2.274	2.276	0.448	19.70
ψE0/(1-ψE0) Mistura	6107	5964	5189	5640	6415	6011	0.448	19.70
δro/(1-δro) NaCl	2.514	1.817	1.747	1.595	1.765	1.778	0.588	31.44
Piabs	2.505	2.791	3.638	3.685	2.233	2.014	1.354	48.16
Pitotal	7.300	4.953	6.353	5.974	3.549	3.482	2.882	54.71