

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

HIDELBLANDI FARIAS DE MELO

**CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS TENSÕES DE ÁGUA DO SOLO
GERADAS POR DÉFICIT HÍDRICO E SALINIDADE NA
ECOFISIOLOGIA DE *VIGNA UNGUICULATA* (CV.IPA-206)**

RECIFE

2018

Hidelblandi Farias de Melo

Engenheiro agrônomo

Contribuição relativa das tensões de água do solo geradas por déficit hídrico e salinidade na ecofisiologia de *Vigna unguiculata* (cv. IPA-206)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo

Orientador:

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza,

Coorientadores:

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida,

Dr. Hugo Rafael Bentzen Santos

Recife

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

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

M528c Melo, Hidelblandi Farias de
Contribuição relativa das tensões de água do solo geradas por
déficit hídrico e salinidade na ecofisiologia de *Vigna unguiculata*
(CV.IPA-206) /Hidelblandi Farias de Melo. – 2018.
61 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.

Coorientador: Brivaldo Gomes de Almeida.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
Recife, BR-PE, 2018.

Inclui referências.

1. Caupi 2. Status hídrico 3. Déficit hídrico 4. Salinidade
5. Regiões semiáridas I. Souza, Edivan Rodrigues de, orient.
II. Almeida, Brivaldo Gomes de, coorient. III. Título

CDD 631.4

HIDELBLANDI FARIAS DE MELO

Contribuição relativa das tensões de água do solo geradas por déficit hídrico e salinidade na ecofisiologia de *Vigna unguiculata* (cv. IPA-206)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo

Aprovada em 26 de Fevereiro de 2018

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza

Orientador

Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Medeiros dos Santos

Instituto Federal do Maranhão

Prof. Dr. Marciel Teixeira de Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Daniel da Costa Dantas

Universidade Federal Rural de Pernambuco



DEDICO

À minha mãe que sempre foi meu grande exemplo de superação, persistência e fé; que me fez sentir o que é ser amado quando eu ainda aprendia minhas primeiras palavras; por sempre me acalmar e me mostrar como a vida é simples se olharmos para Deus; por ser meu grande exemplo de desenhista, pintora, estudante e ser humano. Por nunca desistir de mim.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar a vida, saúde e a compreensão de como somos passageiros. Por guiar sempre meus passos e por me fazer enxergar os ensinamentos por trás de cada situação adversa;

Aos meus pais, em especial à minha mãe, por sempre estar ao meu lado nas horas mais difíceis; por me mostrar sempre o lado bom de cada situação; por me educar e incentivar a minha formação acadêmica, sempre; por zelar para que minha infância fosse recheada de fantasia e construções no imaginário, resultando numa vida cheia de alegrias;

Ao meus amigos de infância, Thays Priscila, Adélia Cristina, Janner Daniele, Jéssica Maria, Jonatha Luís e Magno Souza, por estarmos unidos até hoje e por me proporcionarem sempre momentos inesquecíveis e inúmeras crises de risos.

Aos meus amigos do laboratório que me ajudaram em tudo, que animaram meus dias durante este desafio que é o doutorado, vocês, Danilo Rodrigues, Hugo Bentzen, Pablo Dourado e Aglair Cardoso se tornaram uma verdadeira família que me alegram só em aparecer.

À Cintia Lins, que é uma verdadeira irmã a quem dedico um parágrafo inteiro. Em 2018 faz 10 anos que nos conhecemos e desde aquele dia até hoje tenho a certeza que foi Deus que te colocou em minha vida. Me ajudando, acalmando e enchendo de luz o minha vida acadêmica. Você é um verdadeiro presente de Deus na minha vida. Te amo muito!

Aos meu orientador, Edivan Rodrigues por todos os ensinamentos passados a mim. Ao meus coorientadores, Professor Brivaldo Gomes de Almeida e Hugo Rafael Bentzen Santos por todo o apoio.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco por toda estrutura física e intelectual disponibilizada para a realização desta pesquisa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de pós-graduação, que possibilitou desempenhar as atividades acadêmicas de pesquisa.

Contribuição relativa das tensões de água do solo geradas por déficit hídrico e salinidade na ecofisiologia de *Vigna unguiculata* (cv. IPA-206)

RESUMO

A tensão com que a água é retida no solo pode ser intensificada pela redução da umidade do solo com o aumento das forças matriciais ou pelo aumento na concentração de sal solúvel e, conseqüente aumento da pressão osmótica da solução do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a contribuição das tensões presentes no solo originadas por forças matricial e osmótica no comportamento das relações hídricas e trocas gasosas da cultivar IPA-206. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições em arranjo fatorial duplo (6 x 2), sendo seis valores de tensão de água no solo (0,025; 0,265; 0,485; 0,705; 0,925 e 1,145 MPa) e duas fontes de tensão de água no solo (déficit hídrico e salinidade). Com o intuito de avaliar diferenças na tolerância aos estresses entre diferentes estágios fenológicos, os tratamentos foram aplicados 20 e 35 dias após a germinação (estágio fisiológico vegetativo e florescimento, respectivamente). Para a avaliação das relações hídricas foram determinados o potencial hídrico, osmótico e potencial de pressão de turgor foliar; teor relativo de água (TRA) e a suculência nas folhas. Para a avaliação das trocas gasosas, foram avaliadas, utilizando o IRGA, a taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e, com base nesses parâmetros, calculada a eficiência do uso da água. Todas as avaliações foram realizadas durante a madrugada sete dias após o estabelecimento dos estresses para ambas as fases fenológicas. As plantas de caupi da cultivar IPA-206 podem ser submetidas a tensões de até 0,485 MPa na fase vegetativa sem que isso acarrete danos as taxas fotossintéticas das plantas quando submetidas a déficit hídrico. O potencial hídrico e o osmótico das plantas não foi alterado com nenhuma das tensões aplicadas pelo estresse hídrico na fase vegetativa ou reprodutiva; o potencial osmótico foi reduzido com o aumento das tensões quando estas foram geradas pela presença de sais na solução do solo, embora o TRA tenha permanecido em torno de 90% em ambas as fases, indicando um acúmulo de solutos juntamente com o aumento de tensão. Na fase vegetativa, a produção de biomassa seca pelas plantas sob déficit hídrico diferiu estatisticamente entre as tensões de 0,265 e 1,145 MPa, diferindo em relação ao controle apenas nas tensões de 0,705 e 1,145 MPa. Quando sob salinidade, as plantas reduziram a produção de biomassa a partir da tensão de 0,485 MPa, diferindo novamente apenas para a tensão de 1,145 MPa. Diferindo entre as fontes a partir da tensão de 0,485 MPa. Na fase de florescimento, as plantas sob déficit hídrico reduziram os valores de biomassa seca para as tensões de 0,705 MPa e no intervalo de 0,925 a 1,145 MPa. Para a salinidade, as reduções registradas não diferiram de 0,265 a 0,925 MPa e para a tensão de 1,145 MPa em relação ao controle. Diferindo entre as fontes a partir da tensão de 0,265 MPa.

Palavras-chave: Caupi. *Status* hídrico. Déficit hídrico. Salinidade. Regiões semiáridas.

Relative contribution of soil water stresses generated by water deficit and salinity in the ecophysiology of *Vigna unguiculata* (IPA-206)

ABSTRACT

Tension with which the water is retained in the soil can be intensified by the reduction of soil moisture with the increase of the matrix forces or by the increase of the soluble salt concentration and, consequently, the osmotic pressure of the soil solution. The objective of the present work was to evaluate the contribution of soil stresses caused by matrix and osmotic forces on the water relations behavior of cultivar IPA-206. The experiment was conducted in a randomized block design with four replications in a double factorial arrangement (6 x 2), with six soil water tension values (0.025, 0.265, 0.485, 0.705, 0.925 and 1.145 MPa) and two sources of soil water stress (water deficit salinity). In order to evaluate differences in stress tolerance between different phenological stages, treatments were applied 20 and 35 days after germination (vegetative physiological stage and flowering, respectively). For the evaluation of the water relations were determined the water potential, osmotic potential and leaf turgor pressure potential; relative water content (TRA) and juiciness in leaves. For the evaluation of the gas exchange, the photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration and, based on these parameters, the water use efficiency were evaluated in the plants using IRGA. All evaluations were performed during dawn seven days after the establishment of the stresses for both phenological phases. The cowpea plants of cultivar IPA-206 can be subjected to tensions of up to 0,485 MPa in the vegetative phase without this causing damage to the photosynthetic rates of the plants when under water deficit. The water and osmotic potential of the plants was not altered with any of the stresses applied by water stress in the vegetative or reproductive phase; the osmotic potential was reduced with increasing stresses when they were generated by the presence of salts in the soil solution, although the TRA remained around 90% in both phases, indicating an accumulation of solutes together with the increase in tension. In the vegetative phase, the dry biomass production of the plants under water deficit differed statistically between the tensions of 0.265 and 1.145 MPa, differing in relation to the control only at tensions of 0.705 and 1.145MPa. When under salinity, the plants reduced the dry biomass production from tension of 0.448MPa, differing again for the tension of 1,145 MPa. Differing between the sources from the tension of 0,485 MPa. In the flowering stage, plants under water deficit reduced dry biomass values for the voltages of 0.705 MPa and in the range of 0.925 to 1.145 MPa. For the salinity, the reductions recorded did not differ from 0.265 to 0.925 MPa and for the tension of 1.145 MPa in relation to the control. Differing between the sources from the voltage of 0.265 MPa.

Key words: Cowpea. *Water status*. Water déficit. Salinity. Semiarid regions.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-Potencial hídrico (MPa) no sistema solo-planta-atmosfera no cultivo de caupi (cv. IPA-2016) irrigado com água salina aos 35 dias após o plantio, determinado nas horas *predawn*. (A) 0; (B) 2,5; (C) 5,0; (D) 7,5; (E) 10,0 e (F) 12,5 dS m⁻¹27
- Figura 2-Curva característica de retenção de água no solo do NEOSSOLO FLÚVICO.....33
- Figura 3- a) e b) Potencial hídrico (Ψ_w); c) e d) osmótico (Ψ_o); e, e) e f) de pressão (Ψ_p) das plantas de *Vigna unguiculata*, cv. IPA - 206, avaliados sete dias após o estresse nos estágios vegetativo e de florescimento, respectivamente38
- Figura 4-Teor relativo de água e suculência foliar das plantas nos estágios vegetativo (a e c) e de florescimento (b e d) das plantas de caupi, cv. IPA -206, avaliados durante a madrugada sete dias após o estresse40
- Figura 5-Produção de biomassa seca da parte aérea das para as plantas submetidas aos tratamentos de déficit hídrico e salinidade nos estágios fenológicos vegetativo (a) e de florescimento (b) do feijão-caupi 97 dias após a germinação.....44
- Figura 6-a) e b) Condutância estomática (gs);c) e d) fotossíntese líquida (A); e, e) e f) taxa de transpiração (E) da cv. IPA-206 sete dias após a aplicação dos estresses hídrico e salino dos estágios vegetativos e de florescimento, respectivamente45
- Figura 7 - Eficiência do uso da água (A/E) de feijão-caupi sete dias após a aplicação dos estresses no estágio vegetativo.....49
- Figura 8-Eficiência do uso da água (A/E) de feijão-caupi sete dias após a aplicação dos estresses hídrico (A) e salino (B) no estágio reprodutivo50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Characterização química do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento	32
Tabela 2-Characterização física do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Hipóteses	20
1.2 Objetivo Geral	21
1.3 Objetivo Específico	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 Regiões semiáridas	22
2.2 Déficit hídrico.....	22
2.3 Salinidade e seus efeitos na planta	23
2.4 Relações hídricas	25
2.5 A cultura do feijão-caupi	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Caracterização inicial do solo.....	30
3.2 Condução do experimento.....	31
3.3 Tratamentos e análises.....	33
3.4 Potencial hídrico ou total das plantas (Ψ_w).....	34
3.5 Potencial osmótico (Ψ_o).....	34
3.6 Potencial de pressão turgor (Ψ_p).....	35
3.7 Teor relativo de água (TRA) e suculência foliar (SF).....	35
3.8 Trocas gasosas	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5 CONCLUSÕES	50
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

1 INTRODUÇÃO

A água constitui um dos principais insumos em todos agroecossistemas do planeta. Além de ser elemento indispensável para a vida como a fotossíntese, respiração, alongamento celular, movimento de nutrientes, translocação de solutos, distribuição de fitorreguladores, locomoção de gametas no tubo polínico, também é processos que sustentam toda a biosfera, como a regulação térmica global e o ciclo hidrológico. Ela constitui a fase líquida do solo servindo de veículo para os elementos essenciais às plantas, macro e microelementos, e como um meio de arrefecimento das folhas durante o processo de transpiração.

O solo é o principal reservatório de água para as plantas seja em ambientes nativos ou agrícolas. Desse reservatório, a água passa para o interior das plantas e, finalmente para a atmosfera formando o chamado contínuo solo-planta-atmosfera. O movimento da água nesse sistema segue o gradiente de potencial hídrico do solo, movimentando-se sempre do meio de maior para o de menor potencial hídrico. Assim sendo, o movimento da água ocorre do meio onde há uma maior quantidade de energia livre da água, para aquele com menor.

Em ambientes agrícolas, além da força matricial gerada pela interação da água com a matriz do solo, tornando-se mais negativo à medida que o solo vai se tornando cada vez mais seco; a presença de sais na solução do solo reduz a energia da água disponível às plantas e, conseqüentemente, o seu potencial osmótico e hídrico. Quanto mais negativo o potencial hídrico de um solo, menos água disponível haverá às plantas. Sendo assim, um solo pode encontrar-se com alta umidade e ainda assim apresentar baixa disponibilidade de água para o desenvolvimento vegetal.

Quando sujeitas a condições de baixo potencial hídrico no solo, algumas plantas fazem uso de algumas estratégias de sobrevivência como a mudança na densidade e fechamento estomático, do movimento das folhas, da redução da área foliar, bem como da abscisão foliar para reduzir a perda de água por transpiração e promover manutenção da água no solo. Nesses ambientes, é comum algumas espécies promoverem a acumulação de solutos inorgânicos e orgânicos e assim provocarem a redução de seu potencial hídrico para favorecer a passagem da água do solo para interior de suas células. As respostas das plantas ao estresse hídrico e ao salino são tidas como semelhantes por afetarem a disponibilidade de água às plantas.

Além disso alguns ambientes estão mais sujeitos a condições dessecantes às plantas que outros, como é o caso das regiões áridas e semiáridas do globo. Isto acontece devido as altas taxas de evapotranspiração em relação a entrada de água no solo. Um dos principais motivos é a concentração das chuvas numa determinada época do ano seguida por um longo

período de estiagem. Estas condições reduzem o armazenamento de água no solo, além de favorecerem a acumulação de sais solúveis em superfície, reduzindo ainda mais a quantidade de água disponível às plantas.

Nessas regiões faz-se necessário o uso de cultivares mais tolerantes à seca que aquelas utilizadas nos demais agroecossistemas. O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) apresenta-se como uma alternativa devido sua capacidade de se desenvolver em ambientes com baixa disponibilidade de água, além de se restabelecer após determinado período de déficit hídrico por ocasião da elevação da umidade do solo. Além dessa característica de resistência a condições ambientais adversas, essa cultura apresenta-se com um alto teor de proteína e com um papel fundamental para os produtores que vivem nestas regiões.

O feijão-caupi é uma espécie com centro de origem na África, em regiões com características edafoclimáticas semelhantes ao nosso semiárido. Devido suas características, o feijão-caupi vem sendo cultivado nas regiões tropicais de todo o globo que apresentam características ambientais áridas e semiáridas, ganhando cada vez mais expressividade em relação as áreas plantadas com *Phaseolus vulgaris*, principalmente no Nordeste brasileiro. Nestas regiões, o feijão-caupi acaba se tornando uma das principais fontes de proteína na alimentação, principalmente de pequenos produtores que precisam fazer uso de cultivares nestas condições ambientais.

Sendo assim, faz-se necessário pesquisas que avaliem as respostas desta cultura e seu nível de tolerância a esses estresses (salino e hídrico) que se constituem os principais fatores ambientais limitantes à produção agrícola. Muitos trabalhos já foram realizados, contudo é necessário o estudo do comportamento fotossintético das plantas e como se comportam as relações hídricas dessa cultura em resposta a esses diferentes estresses.

Diferentes estresses em diferentes intensidades podem ser avaliados e utilizados para a avaliação e manejo dos recursos hídricos nessas regiões, sem que isto afete as condições econômicas e a qualidade de vida desses pequenos produtores. O que ganha acentuada importância pelas condições de restrições hídricas dessas localidades.

1.1 Hipóteses

1. Mesmo em semelhantes tensões de água no solo aplicadas via déficit hídrico e salinidade, as plantas de caupi, cv. IPA-206, são mais afetadas pelo potencial de água no solo na fase do florescimento, mesmo após seu desenvolvimento vegetativo em condições de não estresse;

1.2 Objetivo Geral

Avaliar como o déficit hídrico e a salinidade afetam os parâmetros de trocas gasosas e as relações hídricas em *Vigna unguiculata*, cv. IPA-206, quando aplicadas no solo na mesma tensão em seis diferentes intensidades, nos estágios vegetativo e de florescimento.

1.3 Objetivo Específico

Avaliar as trocas gasosas em *Vigna unguiculata*, cv. IPA-206 sob condições de déficit hídrico e salinidade aplicados em seis tensões diferentes nos estágios vegetativo e de florescimento;

Avaliar o *status* hídrico em *Vigna unguiculata*, cv. IPA-206 sob condições de déficit hídrico e salinidade aplicados em seis tensões diferentes nos estágios vegetativo e de florescimento;

Determinar em qual dos estresses, tensões e dos estádios fenológicos avaliados ocorrem diferenças significativas nas trocas gasosas e nas relações hídricas do feijão caupi cultivado sob estresses salino e hídrico;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Regiões semiáridas

As regiões áridas e semiáridas são consideradas as mais sensíveis do globo às mudanças climáticas devido as suas características. Nestas regiões a evapotranspiração potencial excede a precipitação numa base anual média, e suas paisagens são caracterizadas por climas secos, vegetação de cobertura baixa e baixa capacidade de retenção de água no solo (HUANG; GUAN; JI, 2012).

O estudo das regiões semiáridas ganha importância principalmente pela extensão de superfície que estas ocupam no globo, estimando-se uma área total de aproximadamente 2,4 bilhões de ha, referente a 17,7% da superfície terrestre (ROTENBERG; YAKIR, 2010). Além disso, desempenham importantes funções ambientais nos contextos local e global referentes ao estoque e ciclagem do carbono (POULTER et al., 2014).

As regiões semiáridas são definidas como zonas de transição entre faixas áridas e sub-úmidas, caracterizadas pela restrição e baixa precipitação causada pela incapacidade dos ventos com umidade para adentrar e resfriar estas regiões. Estas regiões também são caracterizadas pelas altas temperaturas (30-40°C) nos meses mais quentes (HUANG; GUAN; JI, 2012).

Além disso, nos últimos anos têm sido registrados aumentos de temperatura das regiões semiáridas durante as estações frias, e que este aumento tem influenciado diretamente na elevação dos valores médios da temperatura global (HUANG; GUAN; JI, 2012). Os autores também comprovaram que esse aquecimento está relacionado com a média de precipitação anual destas regiões. Destacando a fragilidade e a importância destes ambientes, principalmente no que concerne a vegetação nativa e as áreas cultivadas.

A região semiárida brasileira é a maior do mundo com essa característica e com população de aproximadamente 22 milhões de habitantes. Tem uma área de 982.566 Km² e corresponde a 18,2% do território nacional, 53% da região Nordeste e abrange 1.133 municípios, ocupando 88,0% do Estado de Pernambuco e concentra a maior população rural do Brasil (BAPTISTA; CAMPOS, 2010).

2.2 Déficit hídrico

No ambiente terrestre, as plantas encontram-se frequentemente expostas a vários períodos de déficit hídrico atmosférico e no solo, tanto por restrições no conteúdo de água no

solo quanto devido a salinidade do solo em diferentes partes do globo (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). O déficit hídrico é o principal estresse abiótico que causa extensivas perdas na produtividade agrícola ao redor do mundo (SINGH; REDDY, 2011).

A disponibilidade de água no solo às plantas pode ser reduzida tanto pelo o aumento da concentração de sais em solução bem como pela redução do teor de água no solo (SHELDON et al., 2017). Nessas condições, a baixa disponibilidade de água no solo às plantas constitui-se o principal fator ambiental limitante ao crescimento das plantas e, conseqüentemente à produtividade (CAMPOS et al., 2014; HAYATU; MUHAMMAD; HABIBU, 2014).

Quando a quantidade de água evapotranspirada é maior que a quantidade adicionada ao solo, seja pela irrigação ou pela precipitação, as plantas entram em condições de déficit hídrico (HAYATU; MUHAMMAD; HABIBU, 2014; MITCHELL et al., 2016). Quando esse estresse é prolongado o crescimento e a produtividade das plantas são severamente reduzidos (OSAKABE et al., 2014).

Estas condições são encontradas principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade de água no solo é baixa em virtude das altas temperaturas e déficit hídrico atmosférico na maior parte do ano (MITCHELL et al., 2016). Em virtude destas condições ambientais, nestas regiões a escassez de água é um dos principais fatores limitantes a produção de leguminosas na maior parte do ano (FAROOQ et al., 2017). No Brasil, estas condições são encontradas principalmente na região semiárida, em que a precipitação média anual é de 600 a 900 mm por ano concentrados no período chuvoso e seguida por um longo período de estiagem (BAPTISTA; CAMPOS, 2010).

2.3 Salinidade e seus efeitos na planta

Os sais presentes na solução do solo em ambientes salinos podem estressar as plantas de duas formas: por dificultar a absorção de água (efeito osmótico) e por favorecer concentrações no interior da planta que podem ser tóxicas (efeito iônico). Dessa forma, pode-se dizer que a salinidade é formada por dois componentes, o osmótico e o iônico (ZHU, 2002; MUNNS; TESTER, 2008; FAROOQ et al., 2017).

Enquanto o efeito osmótico ocorre quase que instantaneamente em resposta a elevação da concentração de sais no meio, o efeito iônico leva dias ou mesmo semanas até alcançar concentrações tóxicas e, conseqüentemente, afetar o desenvolvimento das plantas. Sendo o

primeiro responsável pela redução na produção de folhas mais novas, enquanto o segundo afeta as folhas mais velhas acelerando a senescência destas (MUNNS; TESTER, 2008).

As respostas das plantas aos estresses salino e hídrico apresentam similaridades. A salinidade reduz a habilidade das plantas para absorver água, e isto rapidamente causa reduções na taxa de crescimento juntamente com um conjunto de mudanças metabólicas idênticas às causadas pelo estresse hídrico (MUNNS, 2002).

A presença de sais solúveis na região das raízes provoca respostas estomáticas induzidas pelo efeito osmótico dos sais em solução. As respostas na condutância estomática ocorre quase que imediatamente e posteriormente acabam ocasionando perturbações nas relações hídricas das plantas (ZHU et al., 2002; MUNNS; TESTER, 2008; RIVAS et al., 2016; FAROOQ et al., 2017).

A nível celular, a salinidade também ocasiona disfunções na membrana celular, alterando a permeabilidade desta, provocando a maior entrada de íons e eletrólitos na célula, levando ao aumento na concentração de íons que podem ser tóxicos (NEDJIMI, 2014).

Durante um pequeno período de tempo sob salinidade haverá uma significativa redução na taxa de crescimento, mas a redução pode ser a mesma para espécies que tenham bastante diferenças na tolerância a salinidade. É necessário, portanto, levar em consideração a escala de tempo e os diferentes mecanismos que podem ser importantes para o controle do desenvolvimento de plantas expostas a salinidade e os diferentes espaços de tempo ao qual as plantas permaneceram expostas (MUNNS, 2002).

Os efeitos dos estresses salinos e hídrico sobre a fotossíntese podem ocorrer tanto de forma direta quanto indireta. Quando diretos, os efeitos referem-se a limitações na difusão de CO₂ através dos estômatos e do mesófilo foliar, bem como alterações no metabolismo fotossintético do CO₂; ou, indiretos como o estresse oxidativo que aparece quando ocorre a sobreposição de múltiplos estresses (TEZARA et al., 1999; ZHU, 2002; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; CAMPOS et al., 2014).

As respostas dos estômatos a componente osmótica da salinidade são provavelmente reguladas por meio de sinalização das raízes semelhantes as que ocorrem em plantas cultivadas em solo seco (ZHU, 2002). O fechamento estomático funciona como um mecanismo para manter o *status* hídrico alto pela redução de perda de água, aumento da eficiência do uso da água e manutenção da pressão de turgor (MUNNS; TESTER, 2008; CAMPOS et al., 2014; FAROOQ et al., 2017).

Apenas a redução do potencial hídrico das plantas não constitui fator determinante para a redução da taxa fotossintética. Mesmo quando o potencial hídrico é baixo, se a

concentração interna de CO₂ do mesofilo foliar for alta os efeitos sobre a fotossíntese são amenizados, constituindo-se apenas em limitações estomáticas ao metabolismo, alcançando altas taxas fotossintéticas quanto maior for o potencial (TEZARA et al., 1999; SINGH; REDDY, 2011; CAMPOS et al., 2014).

Contudo, quando o estresse hídrico é bastante severo ocorre a desidratação do mesofilo foliar a redução na fotossíntese não se dá apenas pela quantidade ou baixa atividade da Rubisco, mas sim devido à redução na síntese de ATP, que leva a redução do substrato necessário para que haja a fixação do CO₂ (TERAZA et al., 1999).

2.4 Relações hídricas

Para garantirem sua sobrevivência, as plantas desenvolveram mecanismos fisiológicos para sua aclimatação e adaptação a condições ambientais desfavoráveis ao seu desenvolvimento (MUNSS, 2002; GIMENEZ; GALLARDO; THOMPSON, 2005; MUNNS; TESTER, 2008). Em ambientes dessecantes onde a água disponível no solo e o déficit hídrico atmosférico são fatores limitantes ao desenvolvimento vegetal (SHELDON et al., 2017), as plantas lançam mão de estratégias de sobrevivência que vão desde o fechamento estomático à redução de seu potencial hídrico (MELO et al., 2017) a valores de tensão capazes de sobrepor a energia com que a água encontra-se retida no solo e, assim, possibilitar a absorção de água e nutrientes (RAMOELO et al., 2015).

O potencial hídrico foliar é uma medida do estado energético da água no interior da planta (GIMENEZ; GALLARDO; THOMPSON, 2005). Este pode ser utilizado para avaliar a *status* hídrico das plantas (OLIVEIRA et al., 2016), como parâmetro de seleção de cultivares tolerantes à seca (NICHOLS; HOFMANN; WILLIAMS, 2015; ZAGAOU et al., 2017), bem como ferramenta para o monitoramento de plantas submetidas a estresses abióticos (hídrico e salino) e áreas com ambiente potencialmente estressante para culturas e vegetação nativa (MEDRANO et al., 2015; RAMOELO et al., 2015).

A possibilidade de monitoramento dá-se principalmente pela relação de equilíbrio que existe entre o estado energético na planta em relação ao do solo. Quanto menor o potencial hídrico do solo, mais negativo deverá ser o potencial na planta para que ocorra a absorção de água (MELO et al., 2017). E este, por sua vez, relaciona-se com o desenvolvimento das culturas no ambiente em questão, como demonstrado por Oliveira et al. (2016) em feijão-caupi (cv. IPA-206) cultivado em diferentes condições de estado energético de água no solo (Figura 1):

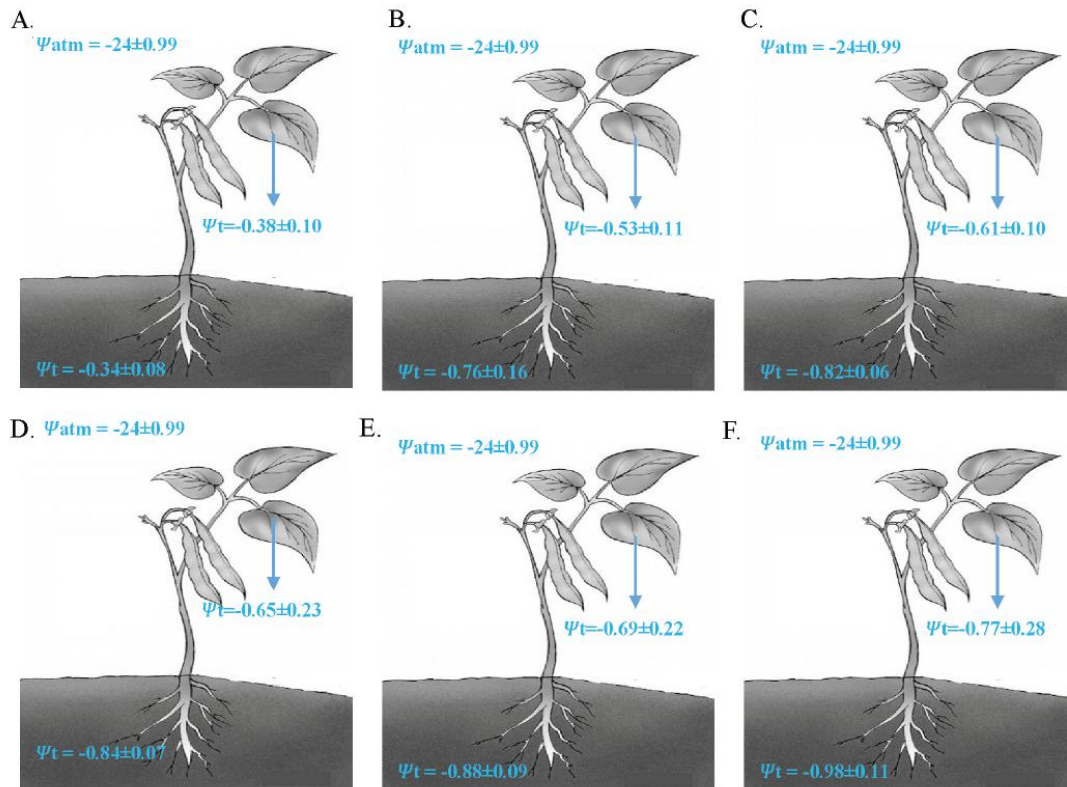


Figura 1. Potencial hídrico (MPa) no sistema solo-planta-atmosfera no cultivo de caupi(cv.IPA-206) irrigado com água salina aos 35 dias após o plantio, determinado nas horas *predawn*. (A) 0; (B) 2,5; (C) 5,0; (D) 7,5; (E) 10,0 e (F) 12,5 dS m⁻¹

As respostas do potencial hídrico foliar das plantas a determinadas condições ambientais podem variar de acordo com a espécie (RAMOELO et al., 2015). Da mesma forma, cada espécie possui um valor de potencial hídrico mínimo que pode ser alcançado pela planta antes que esta venha a morrer. Este valor mínimo de potencial hídrico é chamado de ponto de murcha permanente ou potencial letal e representa o limite que o estado energético da água pode alcançar no interior da planta (BOYER, 1978; RIVAS et al., 2016).

As mudanças ambientais são percebidas pela planta através de da interação solo-raiz. Esta interação permite a sinalização partindo da raiz para todo o resto da planta, que quando exposta a ambientes dessecantes reduz seu potencial hídrico para possibilitar a absorção de água (ZEGAUI et al., 2017).

Quando em condições salinas geralmente as plantas acumulam íons inorgânicos no vacúolo celular para reduzir o potencial hídrico, uma vez que a energia necessária para a absorção de íons inorgânicos é menor que aquela que seria gasta para a síntese de compostos orgânicos (YANG et al., 2009).

Além do potencial hídrico foliar, pode-se usar também o teor relativo de água (TRA) para avaliação do *status* da planta (ZEGAUI et al., 2017). Como a capacidade máxima de

armazenamento de água varia de acordo com o tipo de tecido da planta, o teor relativo de água torna-se um bom parâmetro para avaliar as condições de hidratação da planta, uma vez que vai estimar a quantidade de água presente no tecido em relação a sua capacidade máxima de turgidez (GIMENEZ; THOMPSON; GALLARDO, 2005).

2.5 A cultura do feijão-caupi

Em ambientes agrícolas com condições de baixa disponibilidade de água no solo faz-se necessário a utilização de culturas tolerantes ao estresse hídrico capazes de manter consideráveis valores de produtividade nestas condições ambientais (BASTOS et al., 2011).

Em regiões semiáridas, sujeitas a maiores irregularidades na distribuição de chuvas e ocorrências de longos períodos de estiagem, é recomendado para manutenção agrícola o uso de cultivares mais rústicas como o feijão-caupi (RIBEIRO et al., 2004), tolerantes ao estresse hídrico e com maior habilidade para se recuperar após determinados períodos de déficit hídrico (BASTOS et al., 2011; RIVAS et al., 2016).

Nas regiões tropicais do globo onde predominam características áridas e semiáridas, as leguminosas representam a principal fonte de proteínas para alimentação animal e humana (FAROOQ et al., 2017). A limitação de água nestas regiões restringe a produção de grãos de leguminosa aos períodos de chuva, principalmente se tratando de pequenos produtores que não possuem acesso a sistemas de irrigação (HAYATU; MUHAMMAD; HABIBU, 2014; RIVAS et al., 2016). A importância do feijão-caupi como principal fonte de proteínas abarca vários países onde é produzido e destaca-se, principalmente no Nordeste brasileiro, onde predominam pequenos produtores e a prática da agricultura familiar (SINGH; REDDY, 2011; RIVAS et al., 2016).

Além de sua tolerância à seca, o feijão-caupi apresenta alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio, reduzindo os gastos com insumos agrícolas, além de uma série de respostas morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares que permitem a manutenção da hidratação dos tecidos mesmo em ambientes com certa capacidade dessecante (SINGH; REDDY, 2011; FAROOQ et al., 2017).

Em todo mundo, estima-se que 14,5 milhões de hectares de terras sejam plantadas com feijão-caupi a cada ano (CGIAR, 2014). No ano de 2010, a produção mundial de caupi seco foi de 5,5 milhões de toneladas.

O CGIAR, (2014) estima que a produtividade anual média desta cultura seja de 450 kg/ha. Mesmo acima da produtividade média nacional, este valor pode ser considerado alto quando comparando-o com os valores apresentados pelo feijão comum (EMBRAPA, 2011).

A área plantada com caupi no Brasil tem aumentado a cada ano. Nos anos 2015/2016 foram plantados 1.247.100 ha somente com a cultura do feijão-caupi. Valor que segundo estimativa realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) subiu para 1.351.800 ha nos anos em 2016/2017. Dessa forma, nos anos 2016/2017 a área plantada com feijão-caupi correspondeu a aproximadamente 41% da área plantada com o feijão *Phaseolus vulgaris* em todo país com uma produção de 649.000 toneladas (CONAB, 2017).

No Nordeste os valores são mais expressivos e apresentam-se numa perspectiva mais delicada em razão das condições ambientais regionais, uma vez que abarca em torno de 53% da região semiárida brasileira (BAPTISTA e CAMPOS, 2010). Os valores da área plantada registrados na região Nordeste foram de 1.029.600 ha na safra 2015/2016 para 1.116.100 ha nas safras de 2016/2017 registrando aumento de 8,4%. Essa área refletiu na produção dessa leguminosa, passando de 196.100 toneladas para 376.700, das safras 2015/2016 para a 2016/2017, com aumento de 92,1% de um ano para o outro. Nesse período, a região Nordeste foi responsável por aproximadamente 83% da produção nacional de feijão-caupi (Conab, 2017).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é a mais importante leguminosa produtora de grãos do Semiárido brasileiro e exerce a função de suprir parte das necessidades proteicas das populações mais carentes dessa região (AGRIANUAL, 2009). Sendo amplamente utilizado como uma alternativa alimentar para a população devido ao seu elevado teor proteico e alta tolerância ao déficit hídrico (SOUZA et al., 2014).

Em Pernambuco a área plantada nos anos 2015/2016 foi de 119.300 ha passando para 119.300 ha nas safras de 2016/2017, ficando atrás apenas dos Estados do Ceará, Piauí e Bahia no quesito de área plantada. A produção obtida com esta área registrou aumento de 112,6% comparando-se as safras de 2015/2016 com 2016/2017, com os valores passando de 15.100 para 32.100 toneladas (CONAB, 2017).

Por seu desempenho nestes ambientes expostos a estresses abióticos como o osmótico, seja pelo excesso de sais no solo ou na irrigação com água de baixa qualidade; ou, estresse hídrico devido a irregularidade das chuvas, faz-se necessário pesquisas envolvendo sua capacidade de tolerância e respostas a tais estresses, afim de encontrar parâmetros que ajudem no manejo da cultura e no incremento de produção, principalmente nas regiões semiáridas

(NASCIMENTO et al., 2004; SOUZA et al., 2004; MENDES et al., 2007; VERBREE;
SINGH; PAYNE, 2014; SILVA et al., 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE - Sede), campus Recife – PE (8°04'03'' de latitude sul, 34°55'00'' de longitude oeste e altitude de 4 m), no período entre dezembro de 2016 e março de 2017. Durante a condução do cultivo protegido a temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas com intervalos de 30 minutos com o auxílio de termo higrômetro e *datalogger* (Instrutherm, HT - 70).

Com base nos dados de temperatura e umidade relativa de ar registrados no momento das leituras foram estimados os valores de potencial hídrico atmosférico do ambiente protegido. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar aos 20 dias após o semeio registrados no momento da leitura foram de 27,33 °C e 75%, respectivamente. Aos 35 dias após o semeio os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar registrados no momento da leitura foram de 27,1 °C e 73,28% respectivamente

3.1 Caracterização inicial do solo

O solo utilizado para a realização do experimento foi classificado como NEOSSOLO FLÚVICO (MELO et al., 2017) foi coletado na camada de 0 - 30 cm na zona rural de Pesqueira – PE. Posteriormente o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 4 mm para a manutenção da microagregação do solo. Por ocasião do preenchimento dos vasos, cinco subamostras foram coletadas e passadas em peneira de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e posterior caracterização inicial do solo.

Na TFSA foram determinados o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ na relação solo:água de 1:2,5 e os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ trocáveis extraídos com acetato de amônio 1 mol L^{-1} (THOMAS, 1982). Para a determinação dos íons na solução do solo foi realizada a pasta de saturação e obtido o extrato de saturação (RICHARDS, 1954), neste foram medidos a condutividade elétrica (CE), determinadas as bases solúveis e o íon cloreto por intermédio da titulação com AgNO_3 (EMBRAPA, 1997). A capacidade de troca catiônica (T) foi determinada pelo método do cátion índice (RICHARDS, 1954). Os valores de soma de bases (SB) e Percentagem de Sódio Trocável (PST) foram determinados com base nos valores obtidos do complexo de troca (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento

Extrato de Saturação		Complexo Sortivo		Relação (solúveis)	
Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
pHes	7,3	pH(1:2,5)	6,07	Na/Ca	4,49
CE (dS m ⁻¹)	1,12	Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)	3,4	Na/Mg	4,20
Ψos (MPa)	- 0,06	Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)	4,3	Na/K	3,94
Ca ²⁺ (mmolc L ⁻¹)	1,12	Na ⁺ (cmolc kg ⁻¹)	0,78	Na/Cl	0,92
Mg ²⁺ (mmolc L ⁻¹)	1,15	K ⁺ (cmolc kg ⁻¹)	0,45	Cl/Ca	4,64
Na ⁺ (mmolc L ⁻¹)	4,8	SB (cmolc kg ⁻¹)	8,94	Cl/Mg	4,52
K ⁺ (mmolc L ⁻¹)	1,22	CTC (pH 7,0)	9,92	Cl/Na	1,08
Cl ⁻¹	5,2	PST (%)	7,86	Cl/K	4,26

A caracterização física (Tabela 2) foi constituída pela a análise granulométrica e a argila dispersa em água na TFSA pelo método do densímetro; calculando-se os índices de dispersão e floculação da argila; a densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram determinados com base na curva característica de retenção de água no solo (CRRAS). A porosidade total foi estimada utilizando-se os valores de densidades de partícula e do solo.

Tabela 2. Caracterização física do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos

Areia			Silte	Argila	ADA	ID	IF	Ds	Dp	Pt	CC	PMP	CT
Fina	Grossa	Total											
g Kg ⁻¹						g cm ⁻³			%		g g ⁻¹		
303	107	410	437	155	120	0,77	0,23	1,26	2,50	50,4	0,29	0,14	Franca

ADA: argila dispersa em água; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; ID: ADA/Argila; IF: (1 – ID); ID: índice de dispersão; IF: índice de floculação; PT: Porosidade total; CT: classificação textural

3.2 Condução do experimento

Para a determinação da umidade de cultivo foi utilizada como referência a curva característica de água no solo (CCRAS) em que se adotou um valor de 0,25 g g⁻¹ (86% da capacidade de campo), a qual foi tomada como umidade controle. Com base na

CCRAS estimou-se o potencial mátrico de -0,025 MPa (Tensão de 0,025 MPa), (Figura 1).

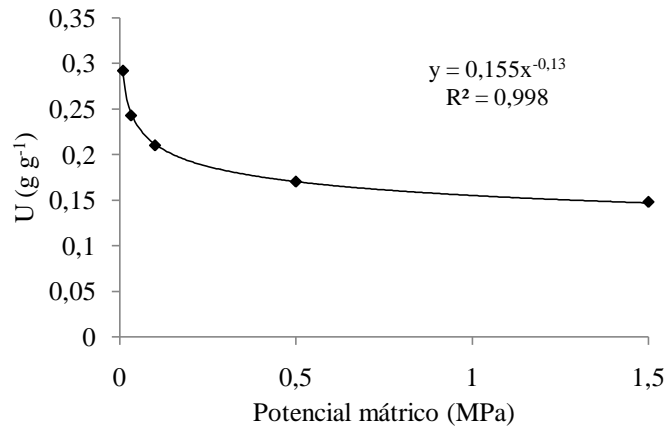


Figura 2. Curva característica de retenção de água no solo do NEOSSOLO FLÚVICO

A tensão na umidade de cultivo (0,025MPa) foi utilizado para germinação das sementes em todos os tratamentos e, posteriormente, mantida como tensão do tratamento controle para ambos estresses, salino e hídrico.

Para as plantas sob estresse hídrico, as tensões foram escolhidas com intervalos a permitir que o último nível constituísse um valor intermediário da tensão máxima tolerado pela planta, que segundo Boyer (1978) é de 2,5 MPa. Estabelecidos os valores de tensão, estes foram convertidos em umidade gravimétrica mediante a aplicação da CCRAS para possibilitar o controle das tensões dos vasos por meio de pesagem.

Para o cálculo da quantidade de sal a ser aplicado nas plantas sob estresse salino, foi utilizada a umidade gravimétrica referente ao tratamento controle para calcular a quantidade de água presente no volume de solo utilizado durante o cultivo. De posse desse volume de água, as seis tensões foram inseridas na equação de Van't Hoff e estimadas a concentração de sal necessária para geração do potencial osmótico desejada em cada tratamento. As soluções foram preparadas em laboratório utilizado-se NaCl. Para as plantas sob estresse salino, a umidade do solo foi igual em todos os tratamentos, os quais permaneceram na umidade controle em todas as tensões, alterando-se, apenas, as quantidades de sal aplicada via solução salina durante o período de aplicação gradativa do estresse.

Foram utilizados vasos com capacidade máxima de 10 L preenchidos com 8 kg de solo cada, visando estabelecer uma massa de solo suficiente para o cultivo durante todo o ciclo da cultura (OLIVEIRA et al, 2016; RIVAS et al., 2016). Para garantir uniformidade na

distribuição de água em todo o volume de solo, após o preenchimento com solo os vasos foram umedecidos até a saturação e submetidos a pesagens diárias para monitoramento da umidade gravimétrica até atingirem peso referente a umidade controle (86% da capacidade de pote), quando só então realizou-se o semeio.

Para o semeio foram utilizadas sementes da cultivar IPA -206 com superfícies previamente esterilizadas. Para a esterilização da superfície das sementes, estas foram colocadas em solução de etanol (1%) durante 3 minutos; transferidas para solução de hipoclorito de sódio (0,1%) durante 1 minuto (CAVALCANTI et al., 2004). Finalmente, cuidadosamente procedeu-se o enxágue em água destilada e efetuado o semeio, seis sementes por vaso.

A germinação ocorreu 3 dias após o semeio (DAS). Todas as plantas foram mantidas até apresentarem um par de folhas, quando foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso, para o suprimento de material vegetal de todas as análises realizadas, de natureza destrutiva em sua grande maioria.

A manutenção da umidade foi realizada mediante pesagens diárias para reposição da água perdida por evapotranspiração. Estas foram realizadas sempre ao final da tarde para evitar perdas por evaporação e proporcionar uma redistribuição de água mais uniforme dentro do vaso, possibilitando a reidratação das plantas pela umidade alcançada pelo solo durante a madrugada.

3.3 Tratamentos e análises

Após o desbaste as plantas foram mantidas na tensão controle (0,025MPa) até 17 dias após a germinação (DAG), momento que foram iniciados os tratamentos. Assim, as plantas foram submetidas a seis tensões de água no solo (0,025; 0,265; 0,485; 0,705; 0,925 e 1,145 MPa), as quais eram equivalentes as seguintes umidades gravimétricas: 0,25; 0,184; 0,17; 0,162; 0,157 e 0,152 g g⁻¹. Essas tensões foram aplicadas de dois modos: mediante estresse hídrico (redução da umidade do solo) e estresse salino (acrécimo de sal à solução do solo).

De posse da quantidade de sal necessária para a obtenção das tensões em cada tratamento salino, estas foram diluídas em 100 mL de água destilada e armazenadas em geladeira em garrafas hermeticamente fechadas até a aplicação. A aplicação das soluções salinas foi fracionada em três vezes realizada juntamente com a água de irrigação. Aplicando-se aproximadamente 33 mL da solução no momento da irrigação. O fracionamento

foi necessário para evitar o choque osmótico nas plantas, sendo concluído após três dias juntamente com a obtenção das umidades estabelecidas para as plantas sob déficit hídrico.

Para a aplicação dos tratamentos de déficit hídrico, as plantas tiveram sua irrigação suspensa até a obtenção das umidades referentes a cada tratamento, sendo mantidas as pesagens diárias para o monitoramento dos pesos. A irrigação foi retomada em cada vaso a medida que estes alcançaram os pesos estimados para cada tensão. O estabelecimento das novas umidades referentes a cada tratamento foi obtido num período de três dias a partir da suspensão da irrigação, quando começou a contabilizar-se os dias de estresse.

Os estresses foram aplicados em dois diferentes estágios fenológicos, vegetativo e de florescimento. Para a aplicação dos estresses do primeiro estágio (vegetativo), com o intuito de garantir a resistência das plantas as condições estressantes, esperou-se que as plantas apresentassem dois pares de folhas completamente expandidas. Para a aplicação dos estresses do segundo estágio (florescimento), esperou-se que 50% das plantas florescessem. Os estresses do primeiro e segundo estágio fenológico foram aplicados aos 20 DAG e 35 DAG, respectivamente, e avaliados 7 dias após o estresse (DAE).

3.4 Potencial hídrico ou total das plantas (Ψ_w)

Para a avaliação do *status* hídrico das plantas, foram realizadas avaliações do potencial hídrico (Ψ_w), potencial osmótico (Ψ_o) e do potencial de turgor (Ψ_p), além do teor relativo de água (TRA) e suculência. Todas as avaliações foram realizadas em folhas do terço médio sadias e completamente expandidas no período *predawn* (madrugada) sete dias após o estresse referentes a 27 e 42 dias após a germinação.

Para a avaliação do Ψ_w as leituras foram realizadas nas folhas imediatamente após a secção e medido diretamente por meio da utilização da câmara de pressão de Scholander (modelo 1515D Pressure Chamber Instrument - PMS Instrument Company).

3.5 Potencial osmótico (Ψ_o)

As folhas utilizadas para a leitura do Ψ_w foram utilizadas para leitura do Ψ_o . Inicialmente as folhas foram maceradas em nitrogênio líquido até obtenção da seiva, filtrada e acondicionada em microtubos de 2 mL. As amostras foram postas em micro centrífuga e centrifugadas (10.000g por 10 minutos a 4 °C) até decantação dos resíduos vegetais e obtenção de sobrenadante translúcido. Uma vez coletado o sobrenadante, foi realizada a leitura

da osmolalidade da seiva com o auxílio do osmômetro (VAPRO WESCOR Modelo 5600) (SILVEIRA et al., 2009).

De posse dos valores de osmolalidade, o Ψ_o nas plantas foi estimado pela aplicação da equação de Van't Hoff, conforme equação (01).

$$\Psi_o = -R T C \quad \text{Equação.(01)}$$

Onde, R é a constante geral dos gases ($0,00831 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T é a temperatura (K), e, C é a osmolalidade encontrada na seiva, expressa em mol kg^{-1} (GIMENEZ, GALLARDO E THOMPSON, 2005; BEN-GAL et al., 2009; SILVEIRA et al., 2009).

3.6 Potencial de pressão turgor (Ψ_p)

Uma vez que o potencial hídrico é o somatório do potencial de pressão e potencial osmótico (equação 02), o potencial de pressão de turgor foi estimado subtraindo-se os valores de potencial osmótico dos de potencial hídrico obtidos anteriormente, como mostrado na equação (03).

$$\Psi_w = (\Psi_o) + (\Psi_p) \quad \text{Equação.(02)}$$

$$\Psi_p = (\Psi_w) - (\Psi_o) \quad \text{Equação.(03)}$$

3.7 Teor relativo de água (TRA) e suculência foliar (SF)

A determinação do teor relativo de água foi realizada por ocasião das leituras do Ψ_w . Para realização do TRA foram recortados sete discos de folhas de área conhecida e pesadas em balança analítica de precisão, obtendo-se, assim, a massa fresca dos discos (MF). Posteriormente os discos foram acondicionados em placas de Petri forradas com papel de filtro e 5 mL de água destilada, coberto com uma segunda folha de papel de filtro e posta em refrigerado na temperatura de $4 \text{ }^\circ\text{C}$ e na ausência de luz por 48 horas para obtenção da massa dos discos em completa turgidez, onde foram pesados para a quantificação da massa túrgida dos discos (MT). Finalmente, os discos foram levados à estufa à $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante e posterior pesagem, obtendo-se dessa forma a massa dos discos secos (MS). O TRA foi calculado de acordo com Weatherley (1950), com base na equação (05).

$$TRA (\%) = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100 \quad \text{Equação. (04)}$$

Os valores de suculência foliar foram obtidos com base na diferença entre a massa fresca e a massa seca dos mesmos discos foliares utilizados na determinação do TRA, sendo a suculência obtida pelo produto da diferença entre as massas e área dos discos como proposto por Delf (1992), conforme equação (06).

$$SF = (MF - MS)A \quad \text{Equação. (05)}$$

Em que:

MF – Massa Fresca (g);

MS – Massa Seca (g);

A – Área dos discos foliares (cm²)

3.8 Trocas gasosas

Para a avaliação das trocas gasosas, foram realizadas leituras com o analisador de gás a infravermelho IRGA (Infra Red Gas Analyzer) modelo da LICOR 6400XT. As leituras foram realizadas sempre entre às 8:00 e 11:00 da manhã. Para as leituras, foram pinçadas folhas sadias e completamente expandidas localizadas no terço médio das plantas. Foram avaliadas a taxa de fotossíntese líquida (A), Condutância estomática (gs), Transpiração (E), concentração interna de CO₂(Ci), além das relações: eficiência do uso da luz (A/PAR) e a eficiência do uso da água (A/E). Todas as medições foram feitas com os valores de radiação fotossinteticamente ativa mínima de 2000 μmol m⁻² s⁻¹, fluxo de CO₂ de 500 μmol s⁻¹, e com concentração de CO₂ de referência de 400 μmol CO₂ mol⁻¹.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições e arranjo fatorial duplo 6 x 2, sendo seis tensões de água no solo e duas fontes de tensão de água no solo. Os dados foram analisados por meio de análise de variância, teste de comparação de médias e ajustes de regressões para as interações com os níveis de salinidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cultivar. IPA - 206, quando avaliadas sete dias após o estresse, apresentaram interação significativa para os fatores tensão de água x fontes de tensão de água no solo para os potenciais hídrico e osmótico nos estágios vegetativo e de florescimento, não apresentando diferença significativa ou ajuste de regressão para o potencial de pressão (Figura 3).

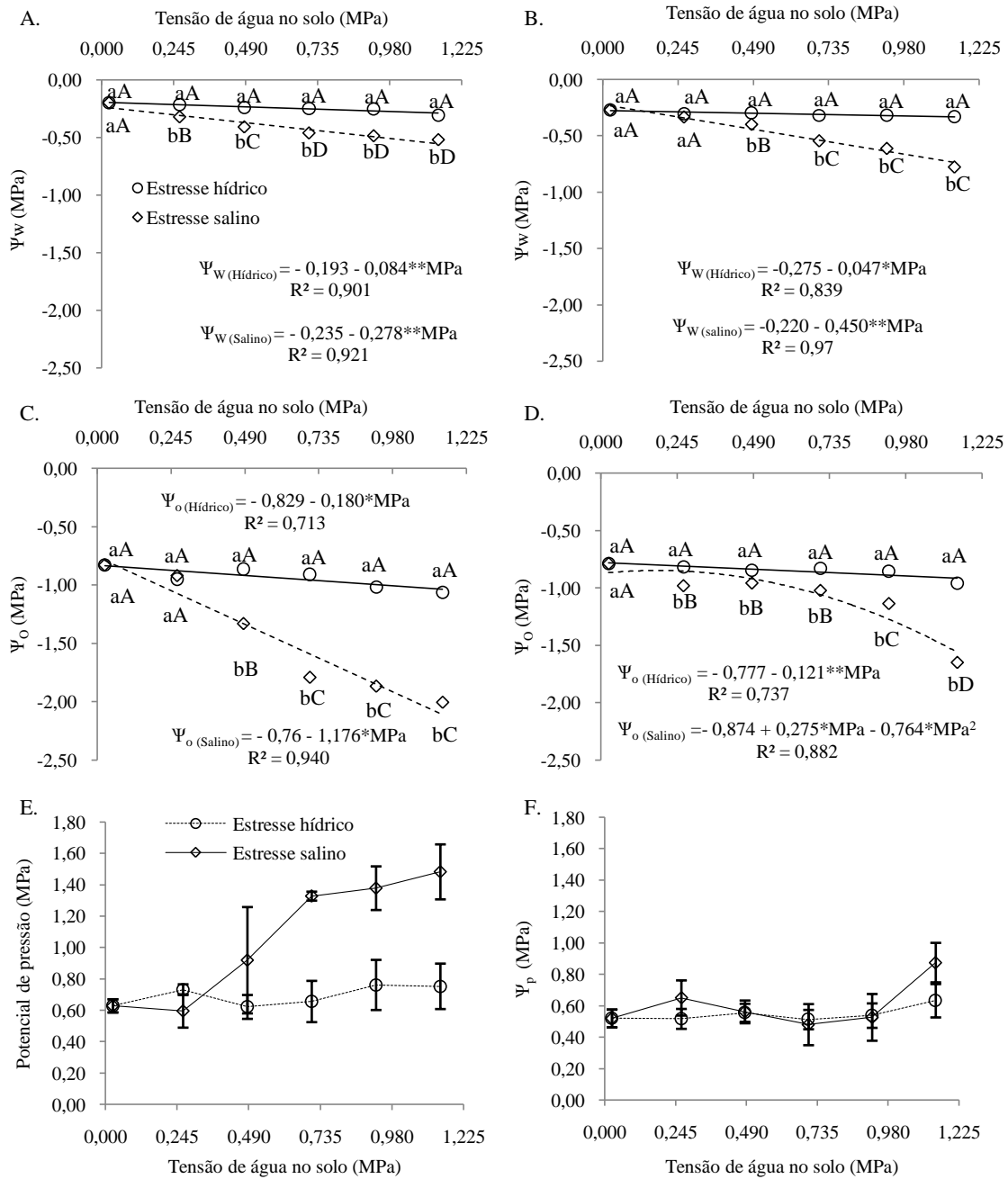


Figura 3. a) e b) Potencial hídrico (Ψ_w); c) e d) osmótico (Ψ_o); e, e) e f) de pressão (Ψ_p) das plantas de *Vigna unguiculata*, cv. IPA - 206, avaliados sete dias após o estresse nos estágios vegetativo e de florescimento, respectivamente. *Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula entre as tensões e minúscula entre as fontes de tensão, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Para as plantas sob déficit hídrico não foram encontradas diferenças significativas para o potencial hídrico foliar (Ψ_w) entre as tensões estabelecidas no solo, obtendo-se semelhança estatística para tensões de 0,025 a 1,145 MPa nos estágios vegetativo e de florescimento e ajustes de regressões lineares com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,90$ e $0,84$, respectivamente (Figura 3a e b).

Quando originados por déficit hídrico, os valores de tensões de água no solo, não alteraram o Ψ_w da cv. IPA - 206 quando aplicadas nos estágios vegetativos e de florescimento numa faixa de tensões de 0,025 a 1,145 MPa.

As plantas sujeitas a condições de alta evapotranspiração têm seu status hídrico restabelecido durante a noite quando as temperaturas são amenas e a evaporação é praticamente nula (RAMALHO et al., 2013; FINI et al., 2013) . Dessa forma é possível estabelecer um equilíbrio entre a umidade do solo e a da planta durante a madrugada, quando esta é reidratada pela absorção de água durante a noite (GIMENEZ; GALLARDO; THOMPSON, 2005; MARTÍNEZ-VILALTA et al., 2014).

Diante dos valores encontradas em resposta às tensões geradas pelo déficit hídrico, constatou-se que a cv. IPA - 206 pode ser cultivada sob valores de tensões de água no solo de até 1,145 MPa sem que haja reduções no potencial hídrico das plantas quando avaliados durante a madrugada. Isto demonstra a capacidade da cv. IPA-206 de manter a hidratação de seus tecidos mesmo quando cultivada sob déficit hídrico, uma vez que este não gere tensões superiores a 1,145 MPa no solo.

Segundo estudo realizado por Martínez-vilalta et al. (2014)os principais fatores que interferem no reequilíbrio do potencial hídrico das plantas são a taxa de transpiração, a condutância hidráulica e a disponibilidade de água. Dentre as espécies avaliadas, os valores variaram de -0,19 a -3,2 MPa entre os horários da madrugada e o meio dia.

Mesmo expostas a tensões maiores durante as horas mais quentes do dia, quando estabilizadas nas tensões do tratamento 1,145 MPa, a cultivar IPA - 206 não teve sua capacidade de reidratação afetada pelo déficit hídrico, não diferindo do controle. Semelhante ao comportamento observado por Souza et al. (2004), que não encontraram reduções expressivas no potencial hídrico das plantas de caupi em resposta ao aumento do déficit hídrico. Apenas nas plantas mais estressadas foram observados valores de -1,27 MPa para as plantas mais estressadas e -0,71 MPa para o controle.

Para o Ψ_w das plantas sob estresse salino foram ajustadas equações lineares com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,92$ e $R^2 = 0,97$ para os estágios vegetativo e de florescimento, respectivamente (Figura 3a). Os coeficientes apresentados por estas

(vegetativo, $b=0,278$ e florescimento, $b= 0,450$) demonstram a relevância da presença de sais no ambiente de cultivo, reduzindo o Ψ_w das plantas com o aumento da salinidade.

Segundo Cavalcanti et al. (2004), a tolerância a salinidade da cultura do caupi a salinidade é principalmente devido a sua capacidade de excluir Na^+ das folhas e manter alto o Ψ_w foliar. Embora o aumento da concentração de sais tenha reduzido o Ψ_w , o teor relativo de água (TRA) não apresentou diferença entre as fontes de tensão, déficit hídrico e a salinidade, nem entre as tensões de água no solo para nenhum dos estágios fenológicos avaliados (Figura 4a e b).

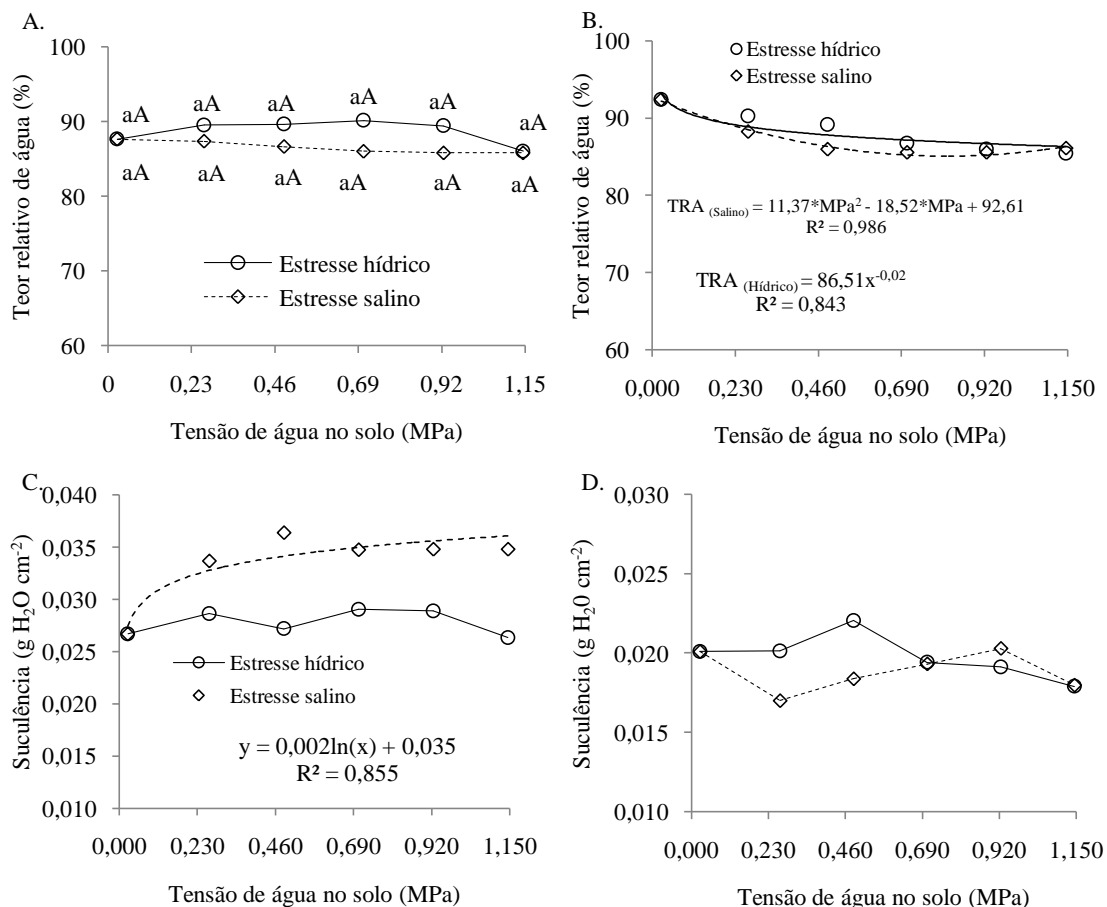


Figura 4. Teor relativo de água e succulência foliar das plantas nos estágios vegetativo (a e c) e de florescimento (b e d) das plantas de caupi, cv. IPA -206, avaliados durante a madrugada sete dias após o estresse

Tanto para o estágio vegetativo quanto para o florescimento, as plantas mostraram-se capazes de manter a hidratação de seus tecidos em todas as tensões avaliadas. Trabalhos como o realizado por Souza et al. (2004) reiteram a capacidade de hidratação da cultura de caupi sob condições de restrições hídricas. O presente trabalho comprovou que a cv. IPA-206 conseguiu manter a hidratação de seus tecidos em torno de 90% mesmo em tensões condições de salinidade, ainda que em tensões de 1,145 MPa.

É importante frisar que mesmo trabalhando com a mesma cultivar e com tensões maiores que as trabalhadas por Oliveira et al. (2016), o TRA encontrado nesta pesquisa permaneceu em torno de 10% acima das encontradas por eles (1,0 MPa). Fica claro a alta capacidade de reidratação da cv. IPA-206 na faixa de tensão entre 1,0 - 1,145 MPa tanto em condições de salinidade como de déficit hídrico (Figura 5a e b).

Quando sob estresse salino, as plantas tiveram seu potencial hídrico mais afetado comparado ao déficit hídrico. O Ψ_w diferiu a partir da tensão de 0,265 MPa, não havendo diferença nos danos entre as tensões de 0,705 e 1,145MPa, com Ψ_w -0,46 (redução de 130% em relação ao controle). A partir da tensão de 0,705 MPa os danos ocasionados pela salinidade não diferiram. Oliveira et al. (2016) encontraram reduções semelhantes em relação ao controle (116%) quando aplicado no solo 1,0 MPa de tensão para a mesma cultivar.

Mesmo submetidas as mesmas tensões de água no solo, as plantas reduziram seu potencial hídrico em resposta a presença de sais em relação ao déficit hídrico. E quando sob estresse salino, a presença de sais apresentou-se como fator de maior influência sobre o potencial hídrico foliar que a umidade do solo, uma vez as plantas sob salinidade foram cultivadas na mesma umidade (86% da capacidade de pote). Dessa forma, no estágio vegetativo as plantas de caupi geralmente mostraram-se mais tolerantes a redução de água no solo que à presença de sais (AHMED; SULIMAN., 2010). Uma vez que diante da relação existente entre a tensão de água no solo e os valores de potencial hídrico foliar das plantas, sob condições de salinidade foram registrados os menores valores de Ψ_w (RAMOELO et al., 2015; RIVAS et al., 2016).

No estágio de florescimento a maior sensibilidade da do feijão-caupi destacada pelos autores Ahmed e Suliman (2010) foi registrada pela cultivar IPA - 206, cuja regressão linear ajustada para o Ψ_w em função da fonte salina de estresse obteve coeficiente angular aproximadamente dez vezes maior daqueles encontrados para o déficit hídrico.

Na fase de florescimento, a cv. IPA -206 passa a ter seu Ψ_w reduzido pela pressão osmótica da solução do solo quando os valores ultrapassam a tensão de 0,485 MPa. Para as plantas acima da tensão de 0,705 MPa, as plantas não apresentaram diferenças, embora a componente osmótica tenha reduzido com o aumento da tensão (Figura 3d). Tal comportamento destaca a importância da componente de pressão de turgor no status hídrico das plantas. Oliveira et al. (2016) encontraram contribuição de aproximadamente 0,60 MPa do potencial de pressão de turgor para a mesma cultivar quando irrigada com água salina ($\Psi_w \cong -1,0$ MPa) durante todo ciclo de cultivo.

Para o Ψ_o das plantas avaliado durante a madrugada, foram ajustadas regressões lineares para ambas fontes de estresse embora com coeficiente de determinação mais baixo para o estresse hídrico $R^2 = 0,713$. Para as plantas sob estresse salino o coeficiente de determinação da equação ajustada para o Ψ_o foi de $R^2 = 0,940$ (Figura 3c e d). A equação linear ajustada com os valores médios de Ψ_o apresentou alto coeficiente angular ($b = 1,176$), com considerável inclinação da reta em resposta ao aumento da tensão.

Os valores de Ψ_o para o estágio vegetativo das plantas sob déficit hídrico não diferiram entre as tensões de água no solo. Quando sob déficit hídrico não observou-se reduções no potencial osmótico quando expostas a de tensões de água no solo variando de 0,025 a 1,145 MPa. Enquanto que em condições de salinidade as plantas apresentaram reduções nos valores com o aumento da tensão de água no solo a partir de 0,485 MPa.

No estágio de florescimento, as reduções dos valores encontradas no Ψ_o com o aumento da salinidade quando comparadas as fontes de tensão hídrica, demonstram a maior tolerância por parte da cv. IPA- 206 ao déficit hídrico, já que nesse estágio de desenvolvimento as plantas geralmente apresentam-se mais sensíveis (HALL, 2012) e os valores entre as tensões aplicadas permaneceram semelhantes. O Ψ_o das plantas permaneceram constantes quando estas foram submetidas a estresse hídrico em tensões de até 1,145 MPa.

De alguma forma a alteração do Ψ_o é proporcionada pela presença de solutos, sendo uma resposta da cv. IPA - 206 a salinidade e não a tensão de água no solo. Esse comportamento pode ser visto nas plantas sob déficit hídrico que mesmo cultivadas sob tensões variando de 0,025 a 1,145 MPa apresentaram Ψ_o semelhantes entre os tratamentos, enquanto que àquelas sob estresse salino os valores de potencial osmótico apresentaram diferenças significantes a partir da tensão de 0,485 MPa.

O potencial de pressão das plantas não apresentou diferença ou interação significativa para as fontes de tensão nem para as tensão de água no solo. Também não foi possível ajustar regressão para nenhuma das fontes de tensão (Figura 3e e f). Este comportamento foi observado em ambos estágios fisiológicos avaliados.

Quanto a suculência, as plantas não apresentaram diferença ou interação significativa entre os tratamentos (Figura 4). As plantas sob déficit hídrico oscilaram com o aumento da tensão de água no solo, enquanto que, para as plantas sob salinidade foi possível ajustar regressão logarítmica coeficiente de determinação de $R^2 = 0,855$, apresentando suave elevação da suculência com o aumento das tensões de água no solo no estágio vegetativo. Segundo

Aldesuquy, Ibraheem e Gahnem (2014) esse aumento advém de mecanismos adaptativos de sobrevivência em ambientes dessecantes resultando no aumento da espessura foliar.

Esta resposta demonstra certo grau de tolerância aos estresses, tanto hídrico quanto salino, uma vez que mesmo tendo o estado energético da água reduzido, para as plantas sob estresse salino a capacidade de reidratação foliar foi mantida para todas as tensões avaliadas, independentemente do estresse iônico presente em ambientes salinos. Zegaoui et al. (2017) classificaram diferentes cultivares de caupi em tolerantes ou não ao estresse pela capacidade de manter elevado o TRA.

Corroborando este resultado, Chaves, Flexas e Pinheiro (2009) encontraram correlação negativa entre valores de TRA abaixo de 50% e a atividade fotossintética das plantas avaliadas. Vale destacar os valores de TRA encontrados para a pesquisa em foco variaram de 85 a 91%. Mesmo com a redução do potencial osmótico da cv. IPA - 206, Oliveira et al. (2017) não encontraram diferença significativa nos valores do TRA em plantas irrigadas com águas salinas, com valores de condutividade elétrica variando de 0 a 12,5 dS m⁻¹ (potencial osmótico da água de irrigação variando de -0 a -0,7 MPa).

É possível que a manutenção do TRA para ambas as fases seja resultado de um mecanismo eficiente de fechamento estomático mediante o estresse como proposto por Ramalho et al. (2013), uma vez que mesmo diferindo nos potenciais osmótico e hídrico, as plantas mantiveram os valores de TRA próximos a 90% em ambas fontes de estresse, tensões e fase fenológica.

A manutenção da hidratação durante o período de estresse serve como indicativo de tolerância ao estresse hídrico e salino (RAMALHO et al., 2013), bem como a redução nos valores do potencial osmótico quando avaliando-se diferentes condições de estresse indica possível acúmulo de solutos para a manutenção de absorção de água em condições desfavoráveis (RAMALHO et al., 2013; FINI et al., 2013).

De modo geral, durante o estágio vegetativo, quando exposta as mesmas tensões de água no solo, a cultivar IPA - 206 apresenta menor tolerância ao estresse salino, precisando realizar a redução de seu potencial osmótico para suportar mesmas condições ambientais que quando submetida a estresse hídrico.

As plantas apresentaram redução na produção de biomassa seca da parte aérea para ambos os estresses, reduzindo com o aumento da tensão de água no solo para ambas fases fenológicas (Figura 5a e b).

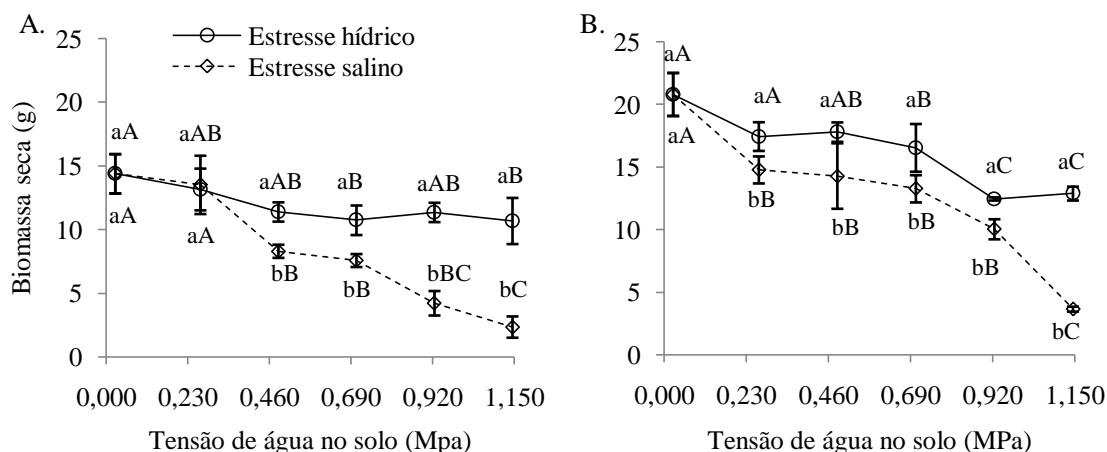


Figura 5. Produção de biomassa seca da parte aérea das para as plantas submetidas aos tratamentos de déficit hídrico e salinidade nos estágios fenológicos vegetativo (a) e de florescimento (b) do feijão-caupi 97 dias após a germinação. *Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula entre as tensões e minúscula entre as fontes de tensão, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As plantas que receberam o estresse durante a fase vegetativa apresentaram maior redução de biomassa seca da parte aérea que as plantas que foram submetidas ao estresse na fase de florescimento. A maior produção de biomassa quando aplicados os estresses foram aplicados na fase de florescimento (35 dias após a germinação), foram resposta do maior tempo em condições de não estresse que as plantas tiveram para seu desenvolvimento.

Na fase vegetativa, as plantas sob estresse hídrico as plantas reduziram 8,55; 20,84; 25,0; 21,0 e 25,0% para as tensões de 0,265; 0,485; 0,705; 0,925 e 1,145 MPa, respectivamente, em relação ao controle. Enquanto as plantas sob estresse salino reduziram 6,0; 42,0; 47,0; 70,0 e 83,0% paras as tensões de 0,265; 0,485; 0,705; 0,925 e 1,145 MPa, respectivamente. Logo, as maiores reduções foram para as plantas submetidas ao estresse salino, corroborando os valores encontrados para o potencial osmótico das plantas.

Na fase de florescimento, as plantas sob estresse hídrico as plantas reduziram 16,17; 14,46; 20,51; 40,41 e 38,0 % para as tensões de 0,265; 0,485; 0,705; 0,925 e 1,145 MPa, respectivamente. Enquanto as plantas sob estresse salino reduziram 29,0; 31,0; 36,0; 56,79 e 82,0% paras as tensões de 0,265; 0,485; 0,705; 0,925 e 1,145 MPa, respectivamente. Assim, independentemente da fase a qual as plantas foram estressadas, as plantas da cultivar IPA - 206 apresentaram-se mais sensíveis ao estresse salino.

Os efeitos na redução na produtividade da cv. IPA -206 também foram observados por Oliveira et al. (2016) quando cultivada sob irrigação salina, obtendo reduções crescentes com o aumento da salinidade da água de irrigação e, conseqüentemente com o aumento da redução da água no solo.

estresse na tensão de 1,145 MPa onde os valores foram zerados. Enquanto que as plantas sob déficit hídrico não apresentaram diferença em relação ao controle apenas para as submetidas as tensões de 0,705, 0,925 e 1,145 MPa mas sem diferirem entre si nessas tensões (figura 6a e b).

Para os valores de fotossíntese do estágio vegetativo, as plantas sob estresse hídrico não tiveram reduções até a tensão de 0,485 MPa. Acima desta tensão, a fotossíntese reduziu no intervalo entre 0,705 e 0,925 MPa, tornando a reduzir novamente para as plantas sob 1,145 MPa, mas sem diferir da tensão anterior. Enquanto que os efeitos da salinidade provocaram três reduções a partir de 0,265 MPa, no intervalo entre 0,485 e 0,925, e finalmente, em 1,145 MPa onde os valores de fotossíntese foram zerados.

O aumento da tensão de água no solo resultante da presença de sais em solução sobre as plantas de caupi resultou em mecanismos fisiológicos que foram além de gastos de energia para possibilitar a absorção de água pelas plantas, uma vez que a presença de sais resultou em redução nos valores de fotossíntese já na tensão de 0,265 MPa, enquanto as plantas sobre estresse hídrico só reduziram a partir de 0,485 MPa.

Por outro lado, se levarmos em consideração o equilíbrio entre o potencial total das plantas com os valores presentes no solo (GIMENEZ; GALLARDO; THOMPSON, 2005), as plantas submetidas a de tensão de 1,145 MPa encontravam-se numa faixa de potencial hídrico do solo referente a aproximadamente metade de seu potencial letal, que, segundo Boyer (1978) é de -2,5 MPa, destacando, dessa forma, a influência negativa do sal sobre as trocas gasosas, em especial a taxa fotossintética e condutância estomática da cv. IPA-206.

Dessa forma evidencia-se que a redução observada para a fotossíntese no último tratamento não foi causada pela redução da difusão do CO₂ em consequência unicamente da condutância estomática à semelhança dos resultados obtidos por Rivas et al. (2016) nas cultivares Pingo de Ouro e Santo Inácio de feijão-caupi submetidas apenas a déficit hídrico, mas sim por possíveis danos ocorridos em diferentes etapas da fotossíntese em resposta ao estresse salino (TEZARA et al., 1999; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; FINI et al., 2013).

Tanto o fechamento estomático e a consequente redução na difusão do CO₂, quanto a inibição do metabolismo do CO₂ podem ser citados como os fatores responsáveis pela redução da fotossíntese de plantas sob estresse hídrico e salino (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; FINI et al., 2013).

Quando observadas apenas as plantas sob estresse salino, as plantas diferiram entre salinidade e estresse hídrico a partir da tensão de 0,265 MPa, provocando inclusive as leituras

de valores nulos na tensão de 1,145 MPa, enquanto as plantas sob déficit hídrico ainda apresentavam valores mais expressivos de fotossíntese para as plantas sob a mesma tensão.

Quando as restrições na condutância estomática são acentuadas, uma série de fatores podem levar a quedas na taxa fotossintética das plantas. A redução na fotossíntese das plantas submetidas ao estresse salino possivelmente foi ocasionada por inibições no ciclo fotossintético de redução do carbono. Isto leva em consideração fatores como a redução na evolução do O₂, redução da fotofosforilação (produção de ATP) e na quantidade de Ribulosebifosfato no tecido folhas (TEZARA et al., 1999).

As tensões reproduzidas no solo por déficit hídrico e salinidade, até o valor de 1,145 MPa não apresentaram-se como fator limitante às trocas gasosas, uma vez que nas plantas sob déficit hídrico foram registrados valores significativos de fotossíntese e condutância estomática e transpiração até 1,145 MPa. Os valores nulos para *A*, *g_s* e *E*, nas plantas (1,145 MPa) sob salinidade representam o momento de estresse sobre o metabolismo da mesma que pode ter sua atividade retomada dependendo do nível de estresse (RIVAS et al., 2016).

As reduções na fotossíntese das plantas sob estresse hídrico foram de 11,5; 34,6 e 50% em relação ao controle para as plantas sob tensões de 0,485; 0,705 e 0,925 MPa, respectivamente. Nas plantas sob salinidade e tensão de 1,145 MPa apresentaram reduções de 100%, com taxa de fotossíntese nula. Rivas et al. (2016) encontraram valores nulos de fotossíntese para plantas de caupi sob estresse hídrico, obtendo-se elevação dos valores após a reidratação das plantas.

As trocas gasosas avaliadas no estágio de florescimento também apresentaram redução com o aumento da tensão de água no solo. Os valores de condutância estomática diferiram entre o déficit hídrico e a salinidade já na tensão de 0,265 MPa, sendo semelhantes entre 0,485 e 0,705 MPa e diferindo novamente para as tensões de 0,925 e 1,145 MPa (Figura 6b). Assim, observa-se que neste estágio as plantas apresentam sensibilidade relativamente semelhantes entre estresse salino e hídrico, dentro de determinado intervalo (0,485 a 0,705 MPa).

Com relação a fotossíntese (Figura 6d), as diferenças entre déficit hídrico e salinidade foram semelhantes àquelas apresentadas pela condutância estomática, diferindo entre os mesmos intervalos de tensão. O estresse salino apresentou-se mais danoso quando aplicado no estágio vegetativo, uma vez que, quando determinadas a fotossíntese e condutância no estágio de florescimento as plantas sob tensão de 1,145 MPa apresentaram valores maiores que zero

A fotossíntese no florescimento respondeu de modo similar a condutância estomática, apresentando as mesmas diferenças e semelhanças estatísticas entre as fontes de estresse e

tensões aplicadas. As maiores limitações possivelmente encontram-se relacionadas a resistência a difusão do CO₂ no mesófilo foliar em comparação a interferências no metabolismo do CO₂, embora a literatura não associe maior afinidade a esta limitação com a fase vegetativa (SILVA et al., 2003).

As plantas submetidas a estresse hídrico diferiram significativamente a partir da tensão de 0,485 MPa até o último tratamento (1,145 MPa) com reduções de aproximadamente 50,5% em relação ao controle. Enquanto que aquelas submetidas a estresse salino apresentaram dois intervalos de redução: das tensões de 0,265 - 0,705 MPa reduzindo de 40 - 50% em relação ao controle e de 77 - 87% para as tensões de 0,925 - 1,145 MPa, respectivamente.

Wilson et al. (2006) avaliando quatro cultivares de caupi mais cultivadas nos Estados Unidos (CB 5, CB 27, 8517 e 7964) não encontraram diferença significativa entre cultivar x salinidade, nem para salinidade x cultivar x estágio de desenvolvimento (vegetativa e florescimento). As respostas encontradas levaram os autores a concluir que independentemente da cultivar e do estágio de desenvolvimento a salinidade em caupi afetaria diretamente as reações de fixação de carbono das folhas, diferentemente do que foi encontrado na presente pesquisa.

A inibição das reações de fixação de carbono encontradas por Wilson et al. (2006) e relacionadas diretamente a salinidade também foram mencionadas por Tezara et al. (1999) associando-as à concentração de solutos inorgânicos no citoplasma celular, em especial o magnésio (SILVA et al., 2003). De acordo com Tezara et al. (1999) esta concentração inibe as modificações nas conformações estruturais da ATP sintase responsáveis pela geração de ATP e poder redutor (NADPH) utilizados nas reações de fixação do carbono. Além disso, alguns autores associam estas respostas ao aumento da função oxigenase da rubisco provocado pelo estresse salino (SIVAKUMAR; SHARMILA; PARDHA SARADHI, 2000; SUDHIR; MURTHY, 2004)

Estes resultados podem explicar as maiores reduções encontradas na condutância e fotossíntese para as tensões mais altas ocasionadas pela presença de sais em solução em relação ao déficit hídrico (Figura 6a, b, c e d). Este comportamento foi mais pronunciado para as plantas avaliadas no estágio vegetativo de desenvolvimento (Figura 6a e c).

É provável que no estágio reprodutivo as plantas façam uso das reservas produzidas durante o estágio vegetativo. Motivo pelo qual a taxa fotossintética não apresente diferenças em tantos níveis quanto no estágio vegetativo, onde grande parte do metabolismo encontra-se voltado para a produção de reservas para o momento do florescimento. Mesmo diferindo das

respostas encontradas por Wilson et al. (2006) quando avaliando o efeito da salinidade entre as mesmas fases de desenvolvimento em feijão-caupi (cv. CB 5, CB 27, 8517 e 7964).

A eficiência do uso da água (EUA) apresentou interação significativa fonte de tensão x tensões de água no solo, em que os valores foram maiores para as plantas submetidas ao déficit hídrico que a salinidade (Figura 7).

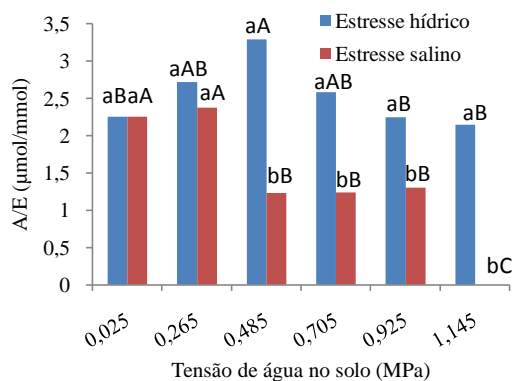


Figura 7. Eficiência do uso da água (A/E) de feijão-caupi sete dias após a aplicação dos estresses no estágio vegetativo.*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula entre as tensões e minúscula no mesmo valor de tensão, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As plantas sob déficit hídrico apresentaram maior EUA na tensão de 0,485 MPa com aumento de 47% em relação ao controle, não diferindo do valor encontrado na tensão de 0,265 MPa. Em contrapartida, as plantas sob salinidade tiveram redução na EUA a partir da tensão de 0,485 MPa, com reduções equivalentes a 45,45, 42 e 100% nas tensões de 0,485, 0,705, 0,925 e 1,145 MPa, respectivamente.

As variações observadas a partir do terceiro valor de tensão de água no solo demonstram a interferência dos sais no metabolismo do feijão-caupi, que mesmo sujeito a semelhantes tensões de água no solo, apresentou diferença significativa entre as plantas submetidas ao déficit hídrico e a salinidade. Vale lembrar que as plantas sob salinidade permaneceram todo o experimento sob umidade controle de $0,25 \text{ g g}^{-1}$, diferindo apenas na presença das espécies iônicas em solução, às quais podem ser atribuídas as reduções encontradas e as possíveis alterações fisiológicas na cv. IPA-206.

Para o estágio de florescimento, a EUA não apresentou interação significativa para fontes de tensões x tensões de água no solo (Figura 8a e b).

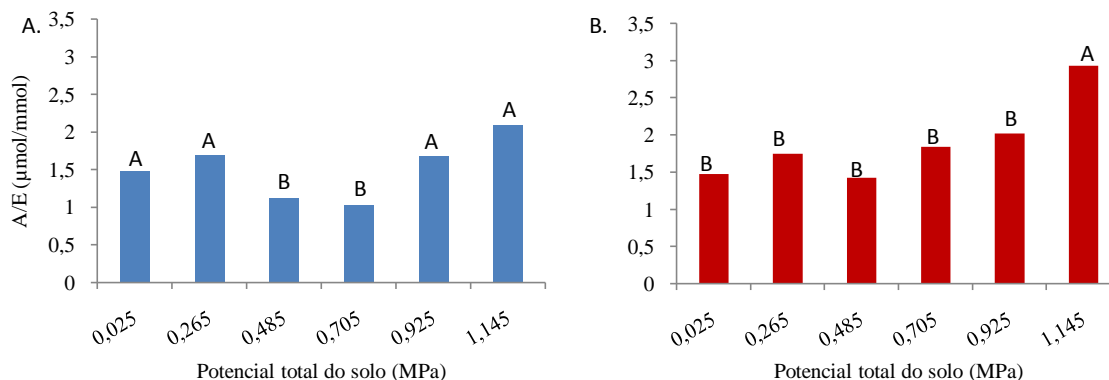


Figura 8. Eficiência do uso da água (A/E) de feijão-caupi sete dias após a aplicação dos estresses hídrico (A) e salino (B) no estágio reprodutivo.*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A EUA para as plantas sob déficit hídrico foi maior para as tensões de 0,265 e 0,925 e 1,145 MPa, tendo reduções de 26 e 31% para as tensões de 0,485 a 0,705 MPa. Intervalo no qual a fotossíntese permaneceu estável, porém os valores de transpiração decresceram, possivelmente em virtude da redução da condutância estomática. Uma vez que a fotossíntese permaneceu com valores estabilizados (Figura 6c), o aumento na EUA dá-se principalmente em virtude da redução da condutância estomática, mesmo não diferindo significativamente dos dois primeiros tratamentos.

Quando submetidas a salino as plantas de caupi não apresentaram diferença significativa nos valores de EUA para as tensões de 0,265, 0,485, 0,705 e 0,925 MPa. Registrando um aumento de 99% na tensão de 1,145 MPa, possivelmente em razão da grande redução da transpiração ocasionada na condição de máxima tensão (Figura 6f). Observe que na parte acima não tem nenhuma discussão e citação.

Os valores de EUA nas plantas sob salinidade registraram menor variação em relação ao trabalho realizado por Oliveira et al. (2017), os quais observaram aumentos da EUA com a elevação da salinidade do solo.

5 CONCLUSÕES

A cultivar IPA - 206 não tem seus potenciais hídrico, osmótico e de pressão alterados sob estresse hídrico desde que os valores de tensão de água no solo não ultrapasse 1,145 MPa, mesmo que o estresse ocorra na fase de florescimento;

A componente osmótica tem grande contribuição para o potencial hídrico da cultivar IPA - 206, nos estágios vegetativos e de florescimento quando esta é cultivada em ambientes salinos;

Na fase vegetativa, as plantas de caupi, cv. IPA-206, não apresentaram reduções nas fotossíntese e condutância estomática quando cultivadas sob déficit hídrico no intervalo de tensão de água no solo entre 0,025 e 0,485 MPa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELFATTAH, M. A.; SHAHID, S. A.; OTHMAN, Y. R. Soil salinity mapping model developed using RS and GIS—a case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. **European Journal of Scientific Research**, Palm Spring, v. 26, n. 3, p. 342–351, 2009.

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. 14 ed. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009. cap. 15, p. 472-478.

AHLSTRÖM, A.; RAUPACH, M. R.; SCHURGERS, G.; SMITH, B.; ARNETH, A.; JUNG, M.; REICHSTEIN, M.; CANADELL, J. G.; FRIEDLINGSTEIN, P.; JAIN, A. K.; KATO, E.; POULTER, B.; SITCH, S.; STOCKER, B. D.; VIOVY, N.; WANG, Y. P.; WILTSHIRE, A.; ZAEHLE, S.; ZENG, N. The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. **Science**, Washington, v. 348, p. 895-899, 2015. Disponível em: <<http://doi:10.1126/science.aaa1668>>.

AHMED, F. E.; SULIMAN, A. S. H. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea. **Agriculture And Biology Journal Of North America**, Milford, v. 4, p. 534-540, 2010.

ALDESUQUY, H. S.; IBRAHEEM, F. I.; GAHNEM, H. E. Comparative Morpho-Biochemical responses of wheat cultivars Sensitive and Tolerant to water stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, Irkutsk, v. 10, n. 2, 2014.

ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; RODRIGUÊS, D. E.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 182-193, 2014.

BAPTISTA, N. K.; CAMPOS, C. H. Caracterização do Semiárido Brasileiro. In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. **Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social**. 1. ed. Brasília: IABS, 2013. cap. 3, p. 45-50.

BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p.100-107, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S180666902011000100013>>.

BEN-GAL, A.; BOROCHOV-NEORI, H.; YERMIYAHU, U.; SHANI, URI. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity? **Environmental and Experimental botany**, Oxford, v. 65, p. 232-237, 2009. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.09.006>>.

BOYER, J. S. Water deficits and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water Deficits and Plant Growth**. 2 ed., New York: Academic Press, 1978. cap 4, p. 135-190.

CAMPOS, H.; TREJO, C.; PEÑA-VALDIVIA, C. B.; GARCÍA-NAVA, R.; CONDE-MARTÍNEZ, F. V.; CRUZ-ORTEGA, M. R. Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 98, p. 56-64, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.015>>.

CAVALCANTI, F. R.; OLIVEIRA, J. T. A.; MARTINS-MIRANDA, A. S.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. **New Phytologist**, Hoboken, v. 163, p. 563–571, 2004. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/j.14698137.2004.01139.x>>.

CGIAR. Cowpea. Disponível em: <http://www.cgiar.org/our-research/crop-factsheets/cowpea>. Acesso em: 20 dez. 2017.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 551–560, 2009. Disponível em: <<http://doi.org/10.1093/aob/mcn125>>.

CHOUDHURY, F. K.; RIVERO, R. M.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. **The Plant Journal**, Londres, v. 90, p. 856-867, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/tpj.13299>>.

CHUENG, T. C. T.; SCHIAVON, S.; GALL E. T.; JIN, M.; NAZAROFF, W. W. Longitudinal assessment of thermal and perceived air quality acceptability in relation to temperature, humidity, and CO₂ exposure in Singapore. **Building and Environment**, Oxford, v. 115, p. 80-90, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.014>>.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 4, n. 6, Brasília: Conab, 2017, p. 63-140. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/.../17_03_14_15_28_33_boletim_graos_marco_2017bx.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2018

DELF, E. M. Transpiration in succulent plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 26, n. 102, p. 409-442, 1912.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Feijão-caupi no Brasil : produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. cap. 1, p. 20-19.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. cap. 8, p. 19-20.

FAROOQ, M.; GOGOI, N.; BARTHAKUR, S.; BAROOWA, B.; BHARADWAJ, N.; ALGHAMDI, S. S.; SIDDIQUE, K. H. M. Drought Stress in Grain Legumes during Reproduction and Grain Filling. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v. 203, p. 81–102, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/jac.12169>>.

FINI, A.; BELLASIO, C.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M.; FERRINI, F. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, London, v. 89, p. 21- 29, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.009>>.

FLOWERS, T. J.; MUNNS, R.; COLMER, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 115, p. 419-31, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1093/aob/mcu217>>.

GIMENENZ, C.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B. Plant - Water relations. In: HILLEL, D. (ed); HATFIELD, J. L.; POWLSON, D. S.; ROSENZWEIG, C.; SCOW, K.; SINGER, M.; SPARKS, D. L. **Encyclopedia of soil in the environment**, 1 ed., Oxford: Elsevier/Academic Press, 2005. cap. 8, p. 230-238. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00459-8>>

HALL, A. E. Phenotyping cowpeas for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology**, Lausana, v. 3, p. 1-8, 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.3389/fphys.2012.00155>>.

HALL, A. E.; CISSE, N.; THIAW, S.; ELAWAD, H. O. A.; EHLERS, J. D.; ISMAIL, A. M.; FERY, R. L.; ROBERTS, P. A.; KITCH, L. W.; MURDOCK, L. L.; BOUKAR, O.; PHILLIPS, R. D.; MCWATTERS, K. H. Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, p. 103–134, 2003. . Disponível em: <[http://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00033-9](http://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00033-9)>.

HAYATU, M.; MUHAMMAD, S. Y.; HABIBU U, A. Effect Of Water Stress On The Leaf Relative Water Content And Yield Of Some Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) Genotype. **International Journal of Scientific & Technology Research**, Bangladesh, v. 3, p. 148-152, 2014.

HUANG, J; GUAN, X; JI, F. Enhanced cold-season warming in semi-arid regions. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Gottingen, v. 12, p. 5391-5398, 2012. Disponível em: <<http://doi:10.5194/acp-12-5391-2012>>.

MARTÍNEZ-VILALTA, J.; POYATOS, R.; AGUADÉ, D.; RETANA, J.; MENCUCCINI, M. A new look at water transport regulation in plants. **New Phytologist**, Hoboken, v. 204, p. 105–115, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/nph.12912>>.

MEDRANO, H.; TOMÁS, .; MARTORELL, S.; ESCALONA, J. M.; POU, A.; FUENTES, S.; FLEXAS, J.; BOTA, J. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 35, p. 499–517, 2015.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R.; ALMEIDA, B. G.; MULAS, M. Water potential in soil and *Atriplex nummularia* (phytoremediator halophyte) under drought and salt stresses. **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 20, p. 249-255, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1080/15226514.2017.1374334>>.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.95-103, 2007.

MITCHELL, P. J.; O'GRADY, A. P.; PINKARD, E. A.; BRODRIBB, T. J.; ARNDT, S. K.; BLACKMAN, C. S. J.; DUURSMA, R. A; FENSHAM, R. J.; HILBERT, D. W.; NITSCHKE, C. R.; NORRIS, J.; ROXBURGH, S. H.; RUTHROF, K. X.; TISSUE, D. T. An ecoclimatic framework for evaluating the resilience of vegetation to water deficit. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 22, p. 1677–1689, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/gcb.13177>>.

MORSHED, M.; ISLAM, T.; JAMIL, R. Soil salinity detection from satellite image analysis: an integrated approach of salinity indices and field data. **Environmental**

Monitoring and Assessment, New York, v. 119, p. 188- 198, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s10661-015-5045-x>>.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.25, p. 239–250, 2002. Disponível em: <<http://doi.org/10.1046/j.00168025.2001.00808.x>>.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 651–81, 2008.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 22, p. 174-177, 2004.

NEDJIMI, B. Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v.52, p.4–13, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.bse.2013.10.007>>.

NICHOLSA, N.; HOFMANNB, R. W.; WILLIAMSC, W. M. Physiological drought resistance and accumulation of leaf phenolics in white clover interspecific hybrids Shirley. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 119, p. 40–47, 2015. . Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.014>>.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; ALMEIDA, B. G.; SILVA, E. F. F.; MELO, H. F.; LEAL, L. Y. C. Soil water energetic status and cowpea beans irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, p.685-691, 2016. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p685-691>>.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C. C, SILVA, E. F. F.; VELOSO, V. L. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.21, n.1, p.32-37, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p32-37>>.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L-S. P. Response of plants to water stress. **Plant Physiology**, Rockville, v. 5, p. 1- 8, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>>.

POULTER, B; FRANK D.; CIAIS, P.; MYNENI, R. B.; ANDELA, N.; BI, J.; BROQUET, G.; CANADELL, J. G.; CHEVALLIER, F.; LIU, Y. Y.; RUNNING, S. W.; SITCH S.; WERF, G. R. V. D. Contribution of semi-arid ecosystems to interannual variability of the global carbon cycle. **Nature**, Londres, v. 1509, p. 600-604, 2014. Disponível em: <<http://doi:10.1038/nature13376>>.

RAMALHO, J. C.; ZLATEV, Z. S.; LEITÃO, A. E.; PAIS, I. P.; FORTUNATO, A. S.; LIDON, F. C. Moderate water stress causes different stomatal and non-stomatal changes in the photosynthetic functioning of *Phaseolus vulgaris* L. genotypes. **Plant Biology**, Hoboken, v. 15, p. 1-14, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/plb.12018>>.

RAMOELO, A.; DZIKITI, S.; DEVENTER, H. V.; MAHERRY, A.; CHO, M. A.; GUSH, M. Potential to monitor plant stress using remote sensing tools. **Journal of Arid Environments**, London, v. 113, p. 134-144, 2015. Disponível em:<<http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.003>>.

RIBEIRO, R. V.; SANTOS, M. G.; SOUZA, G. M.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F.; ANGELOCCI, L. R.; PIMENTEL, C. Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 615-623, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700001>>.

RICHARDS, L. A. Determination of the properties of saline and alkali soils. In: _____. (ed.). **Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils**. 1. ed. US Government Printing Office: Washington, DC, 1954. cap. 2. p. 7-40. Disponível em: <<http://doi:10.1126/science.120.3124.800>>.

RIVAS, R.; FALCÃO, H. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C.; SANTOS, M. G. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 103, p. 101–107, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.08.008>>.

ROTENBERG, e.; YAKIR, D. Contribution of Semi-Arid Forests to the Climate System. **Science**, Washington, v. 327, n. 451, p. 451-454, 2010. Disponível em: <<http://doi:10.1126/science.1179998>>.

ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current Opinion in Biotechnology**, Londres, v. 26, p. 115–124, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.004>>.

SATO, T.; ABDALLA, O. S.; OWEIS, T. Y.; SAKURATANI, T. The validity of predawn leaf water potential as an irrigation-timing indicator for field-grown wheat in northern Syria. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 82, p. 223–236, 2006. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.023>>.

SHELDON, A. R.; DALAL, R. C; KIRCHHOF, G.; KOPITTKKE, P. M.; MENZIES, N. W. The effect of salinity on plant-available water. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 418, p. 477-491, 2017. Disponível em: <<http://doi:10.1007/s11104-017-3309-7>>.

SILVA, J. V.; LACERDA, C. F.; COSTA, P. H. A.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina, v. 2, p. 99-105, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202003000200005>>.

SILVA, W. C.; MOURA, J. G.; OLIVEIRA, A. B.; FERREIRA, L. E.; SILVA, T. M. Growth and gas exchange in cowpea plants under different managements and saline conditions. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, p. 756-764, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170088>>.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves contrasting osmotic adjustment mechanisms in responses to NaCl-Salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p. 1-8, 2009. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.12.015>>.

SINGH, B. B. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), in: SINGH, R. J.; JAUHAR, P. P. (Eds.). **Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement**, Tucson, 1 ed., CRC Press: USA, 2004, cap. 5, p. 117–161. Disponível em: <[http://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00031-2](http://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00031-2)>.

- SINGH, S. K.; REDDY, K. R. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Lausana, v. 105, p. 40–50, 2011. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001>>.
- SIVAKUMAR, P.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Proline Alleviates Salt-Stress-Induced Enhancement in Ribulose-1,5-Bisphosphate Oxygenase Activity. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, San Diego, v. 279, p. 512–515, 2000. Disponível em: <<http://doi.org/10.1006/bbrc.2000.4005>>.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Crescimento e Produtividade do Milho e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas e Disponibilidade Hídrica no Semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.07, n.03, p.524-539, 2014.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p. 715-721, 2011.
- SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C. SILVA, J. A. B.; LAGÔA, 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**, Oxford, v. 51, p. 45-56, 2004. Disponível em: <[http://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00059-5](http://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00059-5)>.
- SUDHIR, P. ; MURTHY, S.D.S. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 42, p. 481-486, 2004.
- TETENS, V. O. Übereinige meteorologische Begriffe. **ZeitschriftGeophysic**, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.
- TEZARA, W.; MITCHELL, V. J.; DISCROLL, S. D.; LAWLOR, D. W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, Londres, v. 401, p. 914-917, 1999. Disponível em: <<http://doi:10.1038/44842>>.
- THOMAS, G. W. Exchangeable cations. In: PAGE, A. L. (ed.). **Methods of soil analysis. Part-2 chemical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.159-165.
- VERBREE, D. A.; SINGH, B. B.; PAYNE, W. A. Role of Gas Exchange, Leaf Water Status, and Carbohydrate Partitioning During the Early Vegetative Stage on Drought Tolerance in Cowpea. **Crop Science**, Madison, v. 54, p. 770-778, 2014. Disponível em: <<http://doi:10.2135/cropsci2013.07.0437>>.
- WEATHERLEY, P. J. E. Studies in the water relations of the cotton plant. **New Phytologist**, Hoboken, v. 49, p. 81-97, 1950. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/j.14698137.1950.tb05146.x>>.
- 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**, Clare, v. 170, p. 1095–1101, 2006. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.01.010>>.

YANG, C.-W.; XU, H.-H.; WANG, L.-L.; LIU, J.; SHI, D. C.; WANG, D.-L. Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 47 (1), p.79-86, 2009.

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **PhysiologiaPlantarum**, Hoboken, v. 162, p. 2–12, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/ppl.12540>>.

ZEGAOUIA, Z.; PLANCHAISA, S.; CABASSAA, C.; DJEBBARB, R.; BELBACHIRB, O. A.; CAROLA, P. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 218, p. 26-34, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.07.009>>.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal Transduction in plants. **Annual Review Plant Biology**, Palo Alto, v. 53, p. 247–73, 2002. Disponível em: <<http://doi:10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>>.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos envolvendo a disponibilidade de água em ambientes agrícolas com características ambientais de déficit hídrico e salinidade que envolvam cultivares resistentes a esses estresses abióticos são necessários para garantir tanto a compreensão dos mecanismos envolvidos nas respostas de resistência destas cultivares quanto na seleção de genótipos que possibilitem a produção agrícola em condições ambientais adversas. Estas pesquisas podem dar suporte a seleção de cultivares para melhoramento genético e desenvolvimento de cultivares que proporcionem maior qualidade de vida e segurança alimentar, principalmente em núcleos de agricultura familiar.

O presente trabalho abordou e avaliou pontos importantes sobre a retenção de água no solo e as forças envolvidas nesse fenômeno. Avaliar as tensões de água suportadas por uma cultura sem que estas ocasionem danos ao aparato fotossintético e, conseqüentemente, a produtividade de biomassa é de grande valia para assegurar o convívio e a produtividade em condições ambientais limitantes a produtividade. Estes estudos podem ter grandes impactos na realidade socioeconômica destes produtores quando abordadas culturas como o feijão-caupi, uma das principais fontes de proteínas em regiões com características ambientais áridas e semiáridas. Outras pesquisas podem ser realizadas fundamentando nas tensões utilizadas comparando diferentes cultivares, afim de selecionar as mais indicadas para o Nordeste brasileiro.

A presente pesquisa estudou as diferentes respostas nas trocas gasosas e relações hídricas da cultivar IPA- 206 cultivada em diferentes tensões quando sujeita aos estresse salino e hídrico. As diferentes tensões avaliadas podem servir de base para a estruturação de futuros projetos de pesquisa, além de demonstrar os valores limitantes suportados por esta cultivar (IPA-206).

Futuras pesquisas podem ser realizadas com a mesma cultivar utilizando-se sais como o KCl para neutralizar o efeito iônico avaliando apenas os valores de tensão sem a presença do efeito iônico do sódio. Mesmo realizando avaliações com a presença do efeito iônico do sódio, a utilização do potássio para geração da salinidade possibilitaria avaliar diferentes mecanismos fisiológicos referentes apenas ao efeito iônico da salinidade, sem a quantificação de efeitos fitotóxicos nas variáveis utilizadas para caracterizar as respostas ecofisiológicas da cultivar.