



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

JOÃO VALDENOR PEREIRA FILHO

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS DE DIFERENTES NÍVEIS DE
SALINIDADE VISANDO À SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO SEMIÁRIDO**

FORTALEZA

2016

JOÃO VALDENOR PEREIRA FILHO

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS DE DIFERENTES NÍVEIS DE
SALINIDADE VISANDO À SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO SEMIÁRIDO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- P492e Pereira Filho, João Valdenor.
Estratégias de irrigação com águas de diferentes níveis de salinidade visando à sustentabilidade do sistema de produção de cultivares de feijão-caupi no semiárido. /João Valdenor Pereira Filho. – 2016.
156 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2016.
Área de Concentração: Irrigação e Drenagem
Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
1. Salinidade. 2. Irrigação agrícola. 3. Feijão. I. Título.

JOÃO VALDENOR PEREIRA FILHO

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS DE DIFERENTES NÍVEIS DE
SALINIDADE VISANDO À SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO SEMIÁRIDO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: 29/04/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof^a. Dr^a. Aiala Vieira Amorim
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Luís Clênio Jário Moreira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto
Faculdade Terra Nordeste (FATENE)

Aos meus pais, João Valdenor e Antonieta Alencar, por me ajudarem em todas as etapas de minha vida; à minha amada esposa Carmem e minha linda filha Ana Clara, por estarem sempre presentes em minha vida.

DEDICO

Ao Senhor Deus, pela proteção e cuidado em todos os momentos; Aos meus irmãos, Alysson e Alyne; Aos meus familiares, parentes, amigos e irmãos na fé que estiveram ao meu lado durante essa labuta.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor de todas as coisas, sem O qual eu nada poderia fazer.

Aos meus pais, João Valdenor e Antonieta Alencar, pela paciência que tiveram comigo ao longo de todos esses anos e por sempre me ajudarem nos momentos aos quais precisei. Obrigado por tudo, sou grato a Deus por vocês.

À minha eterna amada, Carmem, também pela paciência e ajuda. Obrigado por estar sempre ao meu lado, sendo amiga, conselheira, auxiliadora e mãe de nosso bem mais precioso, nossa filha Ana Clara, que ela cresça tendo você como exemplo de mulher. Amo demais vocês duas.

Aos meus irmãos na fé, da Igreja Bíblica Batista Maranata, minha segunda família, por sempre orarem por mim e lutarem junto para nos mantermos nos caminhos do Senhor. Obrigado a todos.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade concedida em cursar, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, o Doutorado em Engenharia Agrícola.

Ao amigo e grande profissional professor Francisco Marcus Lima Bezerra, ao qual ao longo de todo este tempo junto (desde 2006 como bolsista de iniciação científica), me ajudou muito na carreira acadêmica. Sou grato também a Deus por ter colocado o senhor para ser meu orientador. Muito obrigado por tudo professor.

Aos demais membros da banca examinadora, por terem aceitado prontamente o convite, e terem disponibilizado do seu valioso tempo para contribuir no enriquecimento deste trabalho.

Aos amigos da “salinha”, Keivia Lino, Tiago, Robevânia “Vânia”, Laís Monique, Alexandre “Bichão”, Ramon, Adriana, pela amizade e por sempre estarem à disposição, auxiliando também na condução do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola – UFC, pelo apoio, e amizade, em especial, aos amigos Ana Maria, Maria de Fátima, Maurício, Willa pela boa convivência e carinho.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFC, especialmente aqueles que me ensinaram em suas disciplinas ao longo do Curso de Mestrado e Doutorado.

A todos os companheiros do Curso de Pós-graduação do departamento de Engenharia Agrícola.

Ao grande Rafael Miranda do Laboratório de Bioquímica – UFC, pela valiosa ajuda nas análises realizadas.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigado a todos!!!!

“Filho meu, não te esqueças da minha instrução, e o teu coração guarde os meus mandamentos; porque eles te darão longura de dias, e anos de vida e paz. Não se afastem de ti a benignidade e a fidelidade; ata-as ao teu pescoço, escreve-as na tábua do teu coração; assim acharás favor e bom entendimento à vista de Deus e dos homens. Confia no Senhor de todo o teu coração, e não te estribes no teu próprio entendimento. Reconhece-o em todos os teus caminhos, e ele endireitará as tuas veredas. Não sejas sábio a teus próprios olhos; teme ao Senhor e aparta-te do mal. Isso será saúde para a tua carne; e refrigério para os teus ossos. Honra ao Senhor com os teus bens, e com as primícias de toda a tua renda; assim se encherão de fartura os teus celeiros, e transbordarão de mosto os teus lagares”.

(Provérbios 3. 1-10)

“Vai dá certo”
(Autor desconhecido)

RESUMO GERAL

PEREIRA FILHO, João Valdenor. Universidade Federal do Ceará, Abril de 2016. **Estratégias de irrigação com águas de diferentes níveis de salinidade visando à sustentabilidade do sistema de produção de cultivares de feijão-caupi no semiárido.** Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra. Conselheiros: Cley Anderson Silva de Freitas; Aiala Vieira Amorim; Luís Clênio Jário Moreira; Luís de França Camboim Neto.

A salinidade tem se constituído hoje num dos principais problemas enfrentados pela agricultura irrigada. A falta de manejo adequado da prática de irrigação pelos produtores, associado as condições climáticas reinantes em regiões áridas e semiáridas tem contribuído para o acelerado processo de salinização dos solos, deixando assim diversas áreas irrigadas inativas para a prática agrícola. Neste contexto, o trabalho desenvolvido buscou analisar a propensão de diferentes estratégias de manejo da irrigação, através da utilização de águas de qualidades inferiores, em salinizar ou sodificar o solo, além de avaliar as respostas morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e produtivas, de cultivares de feijão caupi, visando obter informações acerca do melhor entendimento dos processos envolvidos nas respostas de tolerância à salinidade, além de possibilitar a eleição de cultivares adaptadas as condições de irrigação com águas salinas. O experimento foi conduzido em vasos, a céu aberto, na área experimental da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, sob um delineamento estatístico de blocos ao acaso em parcelas subdivididas. Os dois regimes hídricos (parcelas) foram baseados pela evapotranspiração potencial da cultura (100 e 50% da ET_{pc}). Já os níveis de salinidade da água de irrigação (0,95; 2,45; 3,95; 5,45 e 6,95 dS m⁻¹) foram distribuídos nas subparcelas, enquanto as cultivares (Epace 10 e BRS Itaim) nas subsubparcelas. O aumento da concentração de sais na água de irrigação reduziu a altura das plantas, o número de folhas, a massa seca da parte aérea e o pH da solução do solo, no entanto, proporcionou um aumento linear na condutividade elétrica do solo. Devido a ausência de lixiviação, os tratamentos irrigados com uma lâmina de 50% da ET_{pc} mantiveram valores superiores da condutividade elétrica e dos teores de potássio no solo, propiciando redução na área foliar. Através das variáveis morfológicas estudadas, a cultivar Epace 10 demonstrou melhor desempenho que a cultivar BRS Itaim. Quanto as respostas fisiológicas analisadas, constatou-se que, os teores dos pigmentos da clorofila a, b e total, além dos teores de carotenoides são reduzidos com o aumento da concentração de sais na água de irrigação. Sob condições de menor disponibilidade hídrica (50% da ET_{pc}), a cultivar Epace 10 apresentou valores superiores nos teores de pigmentos fotossintéticos. Não se verificou alteração significativa nos parâmetros associados à emissão da fluorescência, devida ao

estresse salino e hídrico. De maneira geral, foi possível observar reduções nas respostas das trocas gasosas sob o aumento dos níveis de salinidade, reforçando assim, a interdependência entre as variáveis analisadas. Sobre o potencial produtivo e respostas bioquímicas analisadas verificou-se que o aumento da concentração de sais na água de irrigação propiciou maior acúmulo dos teores de N-aminossolúveis, prolina e Cl^- nas folhas do feijoeiro caupi. Sob um regime hídrico de 50% da ETpc, os teores de N-aminossolúveis e K^+ são superiores aos do regime de 100% da ETpc. A cultivar Epace 10 apresenta maiores acúmulos N-aminossolúveis e de Cl^- , além de apresentar maior acúmulo de prolina livre, sob um regime hídrico de 50% da ETpc. O potencial produtivo total do feijão caupi é reduzido pelo acréscimo de sais na água de irrigação. A cultivar Epace 10 apresentou maior tolerância as condições de manejo impostas, tornando-se mais adaptada as condições de cultivo em regiões sujeitas a estresse hídrico e/ou salino.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L. Manejo da irrigação. Salinidade. Déficit hídrico.

GENERAL ABSTRACT

PEREIRA FILHO, João Valdenor. Universidade Federal do Ceará, April 2016. **Irrigation strategies with waters of different salinity levels aimed at the sustainability of the cowpea cultivars in semi-arid production system.** Advisor: Francisco Marcus Lima Bezerra. Advisors: Cley Anderson Silva de Freitas; Aiala Vieira Amorim; Luís Clênio Jário Moreira; Luís de França Camboim Neto.

Salinity has constituted today one of the main problems facing irrigated agriculture. Failure to proper management of the practice of irrigation by farmers, associated the prevailing climatic conditions in arid and semi-arid regions has contributed to the accelerated process of salinization, thus leaving several inactive irrigated areas for agriculture. In this context, the work herein developed was to examine the propensity of different strategies for handling irrigation through the use of lower quality water in salinization and sodification soil, besides evaluating the morphological, physiological, biochemical and productive responses, cultivars cowpea beans, to obtain information about the better understanding of the processes involved in the responses of salt tolerance, and enable the election cultivars adapted irrigation with saline water conditions. The experiment was conducted in pots in the open, in the experimental area of the weather station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, under an experimental design of randomized blocks in split plots. The two water regimes (plots) were based on the potential crop evapotranspiration (100 and 50% of ET_{pc}). Already irrigation water salinity levels (0.95; 2.45; 3.95; 5.45 and 6.95 dS m⁻¹) were distributed in the subplots, while the cultivars (Epace 10 and BRS Itaim) in subsubplots. The increased concentration of salts in irrigation water reduced the plant height, number of leaves, dry weight of shoot and the pH of the soil solution, except for the electrical conductivity of the soil that kept adding to the imposition of different salt concentrations. Due to the absence of leaching, the treatments irrigated with a blade 50% of ET_{pc} maintained higher values of soil electrical conductivity and potassium levels in the soil, providing reduction in leaf area. Through the morphological variables, the cultivar Epace 10 showed better performance than BRS Itaim. The physiological responses analyzed, it was found that the levels of chlorophyll pigments a, b, and total carotenoid contents of the well are reduced by increasing the salt concentration in the irrigation water. Under conditions of lower water availability (50% of ET_{pc}), to cultivate Epace 10 was higher for the content of photosynthetic pigments. There was no significant change in parameters associated with the emission of fluorescence due to salt and water stress. In general, we observed reductions in the behavior of gas exchange under the rise in salinity levels, thereby enhancing the interdependence between the variables analyzed. On the productive potential and biochemical responses analyzed it was found that the concentration of salts in irrigation water provided greater accumulation of N-aminossilúveis content, proline and Cl⁻ in the bean cowpea leaves. Under a water system 50% of ET_{pc}, the N-aminossilúveis content and K⁺ are higher than the system 100% of ET_{pc}. The cultivar Epace 10 has higher accumulations N-aminossilúveis and Cl⁻, besides presenting more free proline accumulation, under a water system 50% of ET_{pc}. The total yield potential of the cowpea is reduced by the addition of salts in the irrigation water. The cultivar Epace 10 showed greater tolerance imposed management conditions, making it more suitable growing conditions in regions subject to water stress and / or saline.

Keywords: *Vigna unguiculata* L. Irrigation management. Salinity. Deficit water.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1 -	Localização da área experimental. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	65
Figura 2 -	Fotos da cultivar Epace 10, sementes, flores, caule, folhas e da cultura cultivada em vasos. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	66
Figura 3 -	Fotos da cultivar BRS Itaim, sementes, flores, caule, folhas e da cultura cultivada em vasos. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	67
Figura 4 -	Vista geral da área experimental. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	68
Figura 5 -	Detalhe da distribuição dos vasos preenchidos na área experimental. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	69
Figura 6 -	Detalhe das duas plantas deixadas por vaso por ocasião do desbaste. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	70
Figura 7 -	Croqui da área experimental, destacando a disposição das unidades experimentais. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	71
Figura 8 -	Altura das plantas (Alt) do feijoeiro caupi em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	78
Figura 9 -	Altura das plantas (Alt) de cultivares de feijão-caupi (Epace 10 e BRS Itaim), associadas ao manejo da irrigação com água de diferentes salinidades e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	79
Figura 10 -	Diâmetro do caule (ϕ_c) de feijão-caupi em regimes hídricos de 50% da ET _{pc} (▲) e 100% da ET _{pc} (●), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	80
Figura 11 -	Diâmetro do caule (ϕ_c) do feijoeiro caupi, cultivar Epace 10 (◆) e BRS Itaim (○), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	82
Figura 12 -	Número de folhas (N _f) do feijoeiro caupi em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	82
Figura 13 -	Área foliar (A _F) do feijão-caupi irrigada sob regimes hídricos de 50% e 100% da ET _{pc} . Fortaleza, Ceará, 2016.	84

Figura 14 -	Área foliar (A_F) do feijoeiro caupi, cultivar Epace 10 (♦) e BRS Itaim (○), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	85
Figura 15 -	Massa seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro caupi em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	86
Figura 16 -	Massa seca da parte aérea (MSPA) de cultivares de feijão-caupi (Epace 10 e BRS Itaim), associadas ao manejo da irrigação com água de diferentes salinidades e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	87
Figura 17 -	Condutividade elétrica do solo (CE_{es}) sob regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc} . Fortaleza, Ceará, 2016.	89
Figura 18 -	Condutividade elétrica do solo (CE_{es}) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	90
Figura 19 -	Condutividade elétrica do solo (CE_{es}) associado ao manejo da irrigação em diferentes níveis de salinidade e regimes hídricos das cultivares Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016.	91
Figura 20 -	Potencial hidrogeniônico do solo (pH) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	92
Figura 21 -	Teores de Potássio (K) sob regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc} . Fortaleza, Ceará, 2016.	93

CAPÍTULO 3

Figura 1 -	Teores de clorofila “a” (Clf_a) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	106
Figura 2 -	Teores de clorofila “b” (Clf_b) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	107
Figura 3 -	Teores de clorofila “total” (Clf_{total}) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	108
Figura 4 -	Teores de carotenóides ($Crtn$) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	110
Figura 5 -	Transpiração (E) das cultivares Epace 10 (□) e BRS Itaim (○) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	116
Figura 6 -	Taxa de transpiração (E) do feijão caupi submetido aos regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc} . Fortaleza, Ceará, 2016.	117

Figura 7 -	Condutância estomática (g_s) nos regimes hídricos de 100% da ETpc (\diamond) e 50% da ETpc (*) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	118
Figura 8 -	Condutância estomática (g_s) das cultivares de feijão caupi Epace 10 (Δ) e BRS Itaim (+) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	119
Figura 9 -	Fotossíntese líquida (A) do feijão caupi submetido aos regimes hídricos de 50% e 100% da ETpc. Fortaleza, Ceará, 2016.	120
Figura 10 -	Fotossíntese líquida (A) das cultivares de feijão caupi, Epace 10 (\square) e BRS Itaim (Δ), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	121

CAPÍTULO 4

Figura 1 -	Carboidratos solúveis (Cs) de folhas de feijão-caupi em regimes hídricos de 50% da ETpc (Δ) e 100% da ETpc (\bullet), submetido a diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	138
Figura 2 -	Teores de N-aminossolúveis (N-amino) em folhas de feijão-caupi irrigado em função de diferentes regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	140
Figura 3 -	Teores de N-aminossolúveis (N-amino) em folhas de feijão-caupi irrigado em função de diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	140
Figura 4 -	Teores de N-aminossolúveis (N-amino) das cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016.	141
Figura 5 -	Teores de Prolina livre (Prol) em folhas de feijão-caupi irrigado em função de diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	142
Figura 6 -	Teores de potássio (K^+) em folhas de feijão-caupi irrigado sob diferentes regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	145
Figura 7 -	Teores de cloreto (Cl^-) em folhas de feijão-caupi em regimes hídricos de 50% da ETpc (\circ) e 100% da ETpc (\blacksquare), submetidos a diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	146
Figura 8 -	Teores de cloreto (Cl^-), em folhas, das cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016.	147

Figura 9 -	Potencial produtivo total (PPT) do feijão-caupi submetido a diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016.	149
Figura 10 -	Potencial produtivo total (PPT) das cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016.	150

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 -	Condições climáticas médias observadas durante o experimento. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	66
Tabela 2 -	Atributos físico hídricos do solo utilizado como substrato para o cultivo das plantas no experimento. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	68
Tabela 3 -	Atributos químicos do solo utilizado como substrato para o cultivo das plantas no experimento. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	69
Tabela 4 -	Resultados da análise de qualidade da água para fins de irrigação. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016.	72
Tabela 5 -	Resumo das análises das variâncias para os dados de altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar e massa seca da parte aérea do feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	77
Tabela 6 -	Valores médios do diâmetro do caule (ϕ_c) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	81
Tabela 7 -	Valores médios do número de folhas (Nf) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	83
Tabela 8 -	Resumo das análises das variâncias para os dados de condutividade elétrica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio do solo cultivado com feijão-caupi sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	88

CAPÍTULO 3

Tabela 1 -	Resumo das análises das variâncias para os teores de clorofila “a”, clorofila “b”, clorofila “total” e de carotenóides em folhas de feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	105
Tabela 2 -	Valores médios dos teores de clorofila “a” (Clf_a) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	107

Tabela 3 -	Valores médios dos teores de clorofila “total” (Clf_{total}) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	109
Tabela 4 -	Valores médios dos teores de carotenóides ($\mu\text{g g}^{-1}$ MS) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	111
Tabela 5 -	Resumo das análises das variâncias para os dados da fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m), variável (F_v) e eficiência quântica (F_v/F_m) em plantas de feijão-caupi cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	112
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância para os dados de transpiração (E), condutância estomática (g_s) e fotossíntese líquida (A) do feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	115

CAPÍTULO 4

Tabela 1 -	Resumo das análises das variâncias para os teores de carboidratos solúveis, N-aminossolúveis e de prolina em folhas de feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	137
Tabela 2 -	Valores médios dos teores de prolina (Prol, $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	143
Tabela 3 -	Resumo das análises das variâncias para os teores de potássio, sódio e cloreto em folhas de feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	144
Tabela 4 -	Resumo da análise da variância do potencial produtivo total do feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016.	148

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	18
1.1	Hipótese	20
1.2	Objetivos	21
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	21
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	21
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA		22
3.1	Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi	22
3.1.1	<i>Origem e classificação botânica</i>	22
3.1.2	<i>Características da planta</i>	23
3.1.3	<i>Importância socioeconômica</i>	24
3.1.4	<i>O déficit hídrico e a irrigação no feijão-caupi</i>	26
3.1.5	<i>Tolerância de cultivares de feijão-caupi à salinidade e déficit hídrico</i>	28
3.2	Breve histórico e a problemática da salinidade no Brasil e no mundo	30
3.3	Origem da salinidade em áreas irrigadas	32
3.4	Qualidade da água de irrigação	33
3.5	Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura irrigada ..	37
3.6	Efeitos dos sais no solo e na planta	39
3.7	Efeitos da salinidade no crescimento e desenvolvimento	42
3.8	Efeitos do déficit hídrico nos processos morfofisiológicos das plantas	44
3.9	Efeito dos solutos orgânicos e inorgânicos nas plantas.	45
REFERÊNCIAS		48
CAPÍTULO 2: CRESCIMENTO VEGETATIVO DO FEIJÃO-CAUPI E ALTERAÇÃO QUÍMICA DO SOLO CULTIVADO SOB SALINIDADE E DÉFICIT HÍDRICO		61
RESUMO		61
ABSTRACT		62
1	INTRODUÇÃO	63
2	MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1	Localização e caracterização ambiental da área experimental	64
2.2	Material vegetal	65
2.2.1	<i>Epace 10</i>	65
2.2.2	<i>BRS Itaim</i>	66
2.3	Descrição da área experimental	66
2.4	Instalação e condução do experimento	67
2.5	Adubação, semeadura e desbaste	68
2.6	Delineamento experimental e composição dos tratamentos	69
2.7	Sistema e manejo da irrigação	71
2.8	Concentrações de sais na água de irrigação	73
2.9	Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários	74
2.10	Variáveis analisadas	74
2.10.1	<i>Variáveis de crescimento</i>	74
2.10.2	<i>Atributos químicos do solo</i>	74

2.11	Análises estatísticas	75
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.1	Variáveis de crescimento	76
3.2	Atributos químicos do solo	87
4	CONCLUSÕES	92
	REFERÊNCIAS	93

CAPÍTULO 3: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDAS A SALINIDADE E DEFICIÊNCIA HÍDRICA 98

	RESUMO	98
	ABSTRACT	99
1	INTRODUÇÃO	100
2	MATERIAL E MÉTODOS	101
2.10	Variáveis analisadas	102
2.10.1	<i>Determinação dos pigmentos foliares</i>	102
2.10.2	<i>Fluorescência da clorofila</i>	102
2.10.3	<i>Determinação das trocas gasosas</i>	103
2.11	Análises estatística	103
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	104
3.1	Teores de clorofilas (a, b e total) e de carotenóides	104
3.2	Fluorescência inicial (Fo), máxima (Fm), variável (Fv) e eficiência quântica (Fv/Fm)	111
3.3	Condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida	113
4	CONCLUSÕES	121
	REFERÊNCIAS	122

CAPÍTULO 4: POTENCIAL PRODUTIVO E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS DO FEIJÃO CAUPI IRRIGADO SOB ESTRESSE HÍDRICO E SALINO 128

	RESUMO	128
	ABSTRACT	129
1	INTRODUÇÃO	130
2	MATERIAL E MÉTODOS	132
2.10	Variáveis analisadas	133
2.10.1	<i>Determinação dos teores de solutos orgânicos</i>	133
2.10.1.1	Carboidratos solúveis, N-aminossolúveis e prolina	133
2.10.2	<i>Determinação dos teores de solutos inorgânicos</i>	134
2.10.2.1	Teores de potássio, sódio e cloreto	134
2.10.3	<i>Determinação do Potencial Produtivo Total</i>	135
2.11	Análises estatísticas	135
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
3.1	Carboidratos solúveis, N-aminossolúveis e prolina	136
3.2	Potássio, sódio e cloreto	143
3.3	Potencial produtivo total	147
4	CONCLUSÕES	151
	REFERÊNCIAS	152

1 INTRODUÇÃO GERAL

A salinidade tem-se constituído num dos mais sérios fatores limitantes da produção agrícola em todo o mundo, especialmente em áreas irrigadas nas regiões áridas e semiáridas, onde predominam condições de temperatura elevada e distribuição irregular da pluviometria, podendo o problema tornar-se ainda mais agravado pelo uso de águas de má qualidade para irrigação.

Diante das imediatas buscas de alternativas para o enfretamento dos problemas decorrentes das mudanças climáticas que afetam principalmente a região semiárida do nordeste brasileiro, torna-se cada vez mais necessário a investigação de práticas de manejo da irrigação que visem à economia de água nesta região, assim como, conhecer também os efeitos, as causas, consequências e as medidas de enfretamento dos problemas decorrentes da salinidade no sistema solo-água-planta.

O uso de fontes alternativas ou águas de qualidade inferior (salinas ou residuárias) tem despertado o interesse nas sociedades frente ao acelerado crescimento populacional e aumento da demanda hídrica para satisfazer as necessidades de consumo das famílias e dos demais setores da economia. Assim, a utilização de fontes de água, principalmente na agricultura irrigada, depende de estratégias de manejo que, em longo prazo, assegurem a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas, permitindo a obtenção de colheitas rentáveis sem que ocorra a degradação do solo (NEVES, 2012).

As culturas agrícolas, em sua grande maioria, não são tolerantes a níveis altos de salinidade, de modo que aquelas mais sensíveis são drasticamente afetadas pelos efeitos deletérios dos sais, que podem restringir, ou até mesmo impedir, o crescimento e a produção de muitas espécies vegetais. Tais efeitos prejudiciais são devidos, sobretudo, ao menor potencial osmótico do solo e consequente aumento na resistência à absorção de água pelas plantas; a obstrução dos processos metabólicos essenciais à nutrição vegetal; e a toxicidade resultante da elevada concentração salina e de íons específicos, como o Na^+ e o Cl^- (AMORIM; CRUZ; RESENDE, 2010).

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], também conhecido como feijão-decorda ou feijão-macáçar, é uma das principais culturas de subsistência das regiões Norte e Nordeste do Brasil, especialmente no semiárido Nordestino. O Brasil possui uma área plantada de pouco mais de 1.200.000 hectares, dos quais aproximadamente 900 mil (86,31%) estão situados na região Nordeste do Brasil. Essa cultura se constitui como um dos principais componentes da dieta alimentar das populações que vivem nessas regiões, principalmente as

mais carentes, pois fornece um alimento de alto valor nutritivo, apresentando grande importância na região pela geração de emprego e renda, tanto na zona rural quanto na zona urbana (LIMA et al., 2007).

O caupi é considerado altamente sensível (FREITAS et al., 2011), moderadamente sensível (MAAS; HOFFMAN, 1977) até moderadamente tolerante à salinidade (ASSIS JÚNIOR et al., 2007). Todavia, tal tolerância ao estresse salino pode variar com o estágio de desenvolvimento da planta. Nesta situação, uma das estratégias de irrigação que poderiam ser usadas em áreas com águas de qualidade diferencial, seria a alternância do uso deste tipo de recurso hídrico ao longo do ciclo da planta, usando assim, as águas de qualidade inferior nos estádios que fossem mais tolerantes à salinidade (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000).

A importância da utilização da água para irrigação leva em consideração, além da composição físico-química da água, as características da espécie vegetal (tolerância à salinidade, seu ciclo de vida, etc.) e do solo (permeabilidade, porosidade, textura, composição mineral, etc.) (BARROSO et al., 2011). É sabido que, as diferentes espécies e cultivares de plantas respondem diferentemente à salinidade, ou seja, cada espécie de planta ou cultivar tolera até determinada salinidade, sem reduzir seu rendimento potencial (salinidade limiar - SL), a partir da qual passa a diminuir a produtividade à medida que se incrementa a salinidade do solo (AYERS; WESTCOT, 1999). Tal diferença é devido à melhor capacidade de adaptação osmótica de algumas culturas, permitindo assim, absorver, mesmo em ambientes afetados por sais, uma maior quantidade de água.

Muito embora haja diversos estudos envolvendo o estresse hídrico, o estresse salino e o de cultivares de feijão-caupi quanto ao manejo da irrigação desta cultura, nota-se que poucas são as pesquisas disponíveis que tratam da complexa interação que ocorrem no organismo vegetal, uma vez que a maior parte dos trabalhos publicados abordam tais fatores de maneira isolada. Neste contexto, os trabalhos existentes na literatura acerca do manejo da irrigação, tanto em condições de salinidade da água de irrigação, quanto em condições de déficit hídrico no feijoeiro são muito promissores, no entanto, se faz necessário avaliar dados específicos acerca da interação (salinidade x déficit hídrico) sobre as respostas vegetativas, fisiológicas, bioquímicas, e de produção frente a essas condições de estresse, antes de sua utilização para o cultivo.

1.1 Hipótese

Baseado nas informações citadas, esta pesquisa visa verificar à seguinte hipótese:

A avaliação e adequação de estratégias de manejo da irrigação envolvendo águas de diferentes salinidades associadas às condições de regimes hídricos, com e sem estresse hídrico, poderá evidenciar por meio das respostas vegetativas, fisiológicas, bioquímicas e de produção, melhores informações acerca do entendimento dos processos envolvidos nas respostas de tolerância à salinidade, além de possibilitar a escolha de cultivares adaptadas as condições de irrigação com águas salinas, o que permitirá estabelecer recomendações seguras aos agricultores da região acerca da cultura do feijão-caupi, oferecendo aos mesmos novas opções para a diversificação dos cultivos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar e adequar diferentes estratégias de manejo da irrigação através do uso de águas de diferentes qualidades, sua utilização em diferentes cultivares de feijão-caupi (EPACE 10 e BRS Itaim) irrigadas nas condições litorâneas de Fortaleza, Ceará, tendo em vista a melhor compreensão da interação irrigação e salinidade sobre esta cultura, visando à sustentabilidade da utilização de águas salinas na agricultura irrigada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar as respostas de cultivares de feijão-caupi mediante a aferição nos parâmetros de crescimento, das trocas gasosas, das reações bioquímicas e produção sob diferentes estratégias de manejos da água de irrigação de diferentes qualidades;

- Identificar, por meio das condições de manejo impostas, a cultivar de maior tolerância à salinidade, através do uso de águas de diferentes qualidades associados a lâminas de irrigação com e sem déficit hídrico, indicando assim, qual a cultivar que melhor se adapta as condições de estresse hídrico e/ou salino;

- Monitorar a evolução de alguns atributos químicos do solo ao longo do ciclo da cultura, pelas distintas estratégias que serão avaliadas;

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi

3.1.1 Origem e classificação botânica

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] tem como centro primário de diversidade o oeste da África, mais precisamente a Nigéria (STEELE; MEHRA, 1980; NG; MARÉCHAL, 1985). Entretanto, Padulosi e Ng (1997) afirmam que provavelmente a região de Transvaal, na República da África do Sul, é a região de especiação. As grandes diferenças morfológicas apresentadas pelo feijão-caupi cultivado na Ásia, relativamente às formas cultivadas na África, indicam que a Ásia seria um dos centros secundário de domesticação (MOSTASSO et al., 2002).

Faris (1964) aponta o feijão-caupi como uma espécie diplóide com $2n = 2x = 22$ cromossomos. Ehlers e Hall (1997) descrevem a espécie como autógama, que apresenta cleistogamia (quando a autopolinização ocorre em um período anterior a abertura da estrutura floral), reproduzindo-se preferencialmente por autofecundação, com a ocorrência de baixa taxa de cruzamento natural, geralmente abaixo de 1%.

A planta de feijão-caupi é uma dicotiledônea, pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabacea*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *Catjang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. E subesp. *unguiculata* (EMBRAPA, 2007). O subgênero *Vigna* foi subdividido em seis seções: *Vigna*, *Comosae*, *Macrodonatae*, *Reticulatae*, *Liebrechtsia* e *Catjang*. A secção *Catjang* tem duas espécies, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e *Vigna nervosa* Markötter (MARECHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; PADULOSI; NG, 1997).

Todo o feijão-caupi cultivado no Brasil pertence à subespécie *unguiculata*, compreendendo a quase totalidade das cultivares locais e melhoradas, e o *Sesquipedalis*, uma divisão da subespécie *unguiculata*, comumente conhecido como “feijão-de-metro” (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

3.1.2. Características da planta

O feijão-caupi é uma planta anual, herbácea, multiplicada por sementes, que apresenta autofecundação e uma taxa muito baixa de fecundação cruzada (SOUSA, 2013a). Suas flores, completas, têm os órgãos masculinos e femininos bem protegidos pelas pétalas, em número de cinco, de coloração branca, amarela ou violeta (TEÓFILO; PAIVA; MEDEIROS FILHO, 2001).

Freire Filho, Lima e Ribeiro (2005) utilizam uma classificação que representa bem o ciclo do feijão-caupi em condições tropicais, onde as espécies de ciclo precoce são as que atingem a maturidade até 60 dias após a semeadura; as de ciclo médio atingem a maturidade entre 60 e 90 dias após a semeadura; as de ciclo tardio atingem a maturidade acima de 90 dias após a semeadura.

Já Freire Filho, Ribeiro e Santos (2000), propuseram um detalhamento desses ciclos em razão do aumento da importância dos ciclos mais precoces, devido, possivelmente, aos períodos chuvosos irregulares, geralmente mais curtos, principalmente na região semiárida nordestina, o que tem feito os produtores dessa região optarem por cultivares mais precoces. As seguintes modificações foram propostas pelos autores: ciclo superprecoce, a maturidade do feijão-caupi é atingida até 60 dias após a semeadura; ciclo precoce, a maturidade é alcançada entre 61 e 70 dias após a semeadura; ciclo médio, a maturidade é atingida entre 71 e 90 dias após a semeadura; ciclo médio-precoce, a maturidade é alcançada entre 71 e 80 dias após a semeadura; ciclo médio-tardio, a maturidade é atingida entre 81 e 90 dias após a semeadura e por fim, ciclo tardio, onde a maturidade é alcançada a partir de 91 dias após a semeadura.

Outros fatores que merecem destaque para o aumento da importância das espécies de feijão-caupi de ciclo mais precoces são a intensificação da mecanização da lavoura, particularmente da colheita, que exige que a maturidade das vagens ocorra em um período mais concentrado, o que é conseguido com cultivares de ciclo mais curto, e o crescimento do plantio irrigado, onde o produtor deseja que a lavoura fique o menor tempo possível no campo para reduzir o consumo de água e energia e para que ele tenha mais tempo para comercialização (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005; SANTOS et al., 2009).

A arquitetura da planta do feijão-caupi é resultado da interação de diversos caracteres como: hábito de crescimento, comprimento do hipocótilo, do epicótilo, dos entrenós, dos ramos principal e secundários e do pedúnculo das vagens, disposição dos ramos laterais em relação ao ramo principal, disposição dos pedúnculos das vagens em relação à

copa da planta e consistência dos ramos. A combinação de todos esses caracteres produz os tipos de portes em feijão-caupi (MATOS FILHO et al., 2014).

O feijão caupi possui hábitos de crescimento determinado e indeterminado. O hábito de crescimento determinado, é caracterizado pela produção limitada de nós no caule, cessando seu crescimento com a emissão da primeira inflorescência. Já as plantas de hábito de crescimento indeterminado, sua principal caracterização se dá pela continuidade do crescimento do caule após a emissão da primeira inflorescência, emitindo novos ramos secundários e gemas florais. Este último caso é o mais comumente cultivado no Brasil (ARAÚJO et al., 1981).

Campos et al. (2000) e Silva e Neves (2011) ressaltam que devido à amplitude da variabilidade genética dos caracteres do feijão-caupi, notadamente em relação ao porte e hábito de crescimento, poucas informações são encontradas em relação às suas fases de desenvolvimento, apesar de ser uma espécie relativamente bem estudada.

Quanto a sua atividade fotossintética, o feijão-caupi é classificado como uma planta C3, ou seja, utiliza-se apenas do mecanismo de carboxilação chamado de processo redutivo da pentose fosfato (ciclo de Calvin ou ciclo de Benso-Calvin). Por meio desse mecanismo a planta de feijão-caupi fixa o CO₂ atmosférico metabolizando-o em compostos orgânicos que vão compor a estrutura da planta, formada em mais de 90% por compostos de carbono e em menos de 10% por elementos minerais. Por ser uma planta do tipo C3, a saturação fotossintética do feijão-caupi ocorre em intensidades de luz relativamente baixas, isto é, entre 10.000 e 40.000 lux (CARDOSO et al., 2000).

3.1.3. Importância socioeconômica

O feijão-caupi é uma leguminosa amplamente cultivada nas regiões semiáridas da África, Estados Unidos e Brasil. Nas regiões Norte e Nordeste brasileira, a cultura apresenta enorme potencial devido à tradição no seu cultivo, comércio e consumo (ROCHA et al., 2009). Távora, Nogueira e Pinho (2001) ressaltam que é na região Nordeste que se concentram as maiores áreas plantadas, além do cultivo do feijão-caupi ser uma atividade para o desenvolvimento agrícola, tanto no aspecto econômico como no nutricional, exercendo função socioeconômica, sobretudo para a população rural no suprimento das necessidades nutricionais das populações carentes, além de ser fixadora de mão-de-obra no campo (CARDOSO; RIBEIRO, 2006; TEÓFILO et al., 2008; SILVA; NEVES, 2011).

O feijão caupi é uma excelente fonte de proteínas (23 a 25%, em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não conter colesterol (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Pelo seu valor nutritivo, o feijão-caupi é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano, in natura, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, o caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

A área ocupada com feijão-caupi, no mundo, está em torno de 12,5 milhões de ha, com 8 milhões (64% da área mundial) na parte oeste e central da África. A outra parte da área está localizada na América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste do Estados Unidos e Oceania. Os principais países produtores de feijão-caupi são Índia, Nigéria, Níger, Brasil, Burkina Faso, Myanmar, Tanzânia, Camarões e Mali (WANDER, 2013).

Segundo dados da Embrapa Arroz e Feijão (2015), a área total plantada no Brasil de feijão-caupi no ano de 2014 foi de 1.202.491 ha, com uma produção alcançada de 482.665 toneladas e produtividade média de 401 kg ha⁻¹. A região Nordeste lidera o ranking com uma produção de 320.000 t e uma área plantada de 1.037.847 ha, tendo como principais produtores os Estados do Ceará (107.291 t), Piauí (55.278 t) e Pernambuco (52.406 t), cujas produtividades médias alcançadas são de 270, 258 e 291 kg ha⁻¹, respectivamente. Devido ao baixo nível tecnológico empregado em seu cultivo, uma vez que é amplamente cultivado por pequenos agricultores em cultivo de sequeiro, em sistema de consórcio associadas a outras culturas comuns da região, a produtividade média do feijão-de-corda alcançada no Brasil tem sido de apenas 332,67 kg ha⁻¹.

Recentemente, a cultura do feijão despertou o interesse de alguns produtores do Centro-Oeste, principalmente, no Estado do Mato Grosso, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado, passando assim a ser cultivada em escala comercial, vislumbrando oportunidades de exportação (ROCHA *et al.*, 2009). A produtividade média obtida pelos produtores dessa região, dado o alto nível tecnológico empregado nas lavouras é da ordem de 1070,25 kg ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015).

Numa estimativa apontada por Freire Filho (2011), através de dados dos anos 2005 a 2009, a cultura do feijão caupi foi responsável pela geração de 1.113.109 empregos

por ano no Brasil, produzindo suprimento alimentar para 28.205.327 pessoas, e gerando uma produção anual no valor de 684.825.333 R\$.

Um aspecto importante a se ressaltar é que a produção de feijão-caupi no Nordeste brasileiro tem apresentado nos últimos anos, variações importantes de acréscimo e decréscimo, com tendência oscilante (FREITAS, 2012). Estas variações na produção são típicas de regiões cujos processos produtivos são dependentes de clima, em que um ano de distribuição pluviométrica regular quase sempre é seguido por uma distribuição irregular, com reflexos na produção (FROTA; PEREIRA, 2000). Este efeito é mais observado no cultivo de sequeiro (plantio das águas), que geralmente é responsável por mais de 70% da produção média anual, ficando os 30% restantes por conta do cultivo irrigado.

3.1.4 O déficit hídrico e a irrigação no feijão-caupi

A deficiência hídrica tem sido apontada como um dos fatores mais limitantes para a obtenção de elevadas produtividades de grãos de feijão-caupi, sendo que, de maneira mais específica, a duração e a época de ocorrência do déficit hídrico, podem afetar em maior ou menor intensidade o rendimento dessa cultura (SOUSA, 2013b).

Apesar de ser considerada uma cultura tolerante à seca, pesquisas têm mostrado que a ocorrência de déficit hídrico no feijão-caupi, principalmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos, pode provocar severas reduções na produtividade de grãos (NASCIMENTO; PEDROSA; TAVARES SOBRINHO, 2004). Por outro lado, sua capacidade de adaptação varia dentro da espécie (SUMMERFIELD et al., 1985). Portanto, para o manejo adequado desta cultura, visando produtividade, é importante conhecer a capacidade de resposta aos níveis de déficit hídrico, bem como a relação entre consumo de água e produtividade. Com base neste conhecimento, o agricultor pode selecionar cultivares apropriadas à situação.

Bezerra et al. (2003) avaliando o comportamento do cultivar de feijão-caupi Epace-11, quanto à produtividade, número de vagem por planta, comprimento de vagem, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos, sob regime de déficit hídrico, em diferentes estádios fenológicos, constatou que o estágio de enchimento de grãos foi o mais sensível ao déficit hídrico quando este foi aplicado em apenas um estágio, reduzindo a produtividade em 26,2% em relação à testemunha (sem déficit hídrico). O déficit hídrico ainda reduziu em 59% a produção de grãos, além de afetar o número médio de vagens por

planta e o número de grãos por vagem. No entanto, o tamanho médio das vagens e o peso de 100 grãos não foram afetados pelo déficit hídrico imposto.

A adaptação à falta de água é considerada uma característica multigênica, e existem diferenças na tolerância ao déficit hídrico entre genótipos de feijão-caupi (ISMAIL; HALL; BRAY, 1994). De acordo com Subbarao et al. (1995) os principais mecanismos morfológicos e fisiológicos de adaptação no feijão-caupi são o desenvolvimento do sistema radicular e alta condutividade hidráulica das raízes, para maximizar a captação de água; o controle da abertura estomática e a redução da área foliar, para minimizar as perdas de água.

Segundo Blanco et al. (2011), o manejo da irrigação das culturas, geralmente, é feito para atender plenamente à demanda de água pelas plantas, com vistas à maximização da produção. Entretanto, a pesquisa tem demonstrado que o manejo deve ser baseado em metas econômicas e não de máxima produtividade fisiológica. Em muitos casos, a quantidade de água aplicada para se alcançar a máxima lucratividade é menor do que a necessária para compensar totalmente a evapotranspiração, ou seja, aplica-se um déficit hídrico controlado, para reduzir os custos com a irrigação e, ainda que haja certa redução da produção, a irrigação com déficit torna-se mais econômica (ENGLISH; NUSS, 1982). Para o sucesso no manejo da irrigação com déficit hídrico, é necessário conhecer a resposta da cultura à água; só assim é possível planejar, projetar e manejar sistemas para irrigação com déficit (ENGLISH, 2002).

Leite e Virgens Filho (2004) acrescentam a importância do conhecimento do crescimento da cultura do feijão-caupi em função da água disponível no solo, instrumento fundamental para explicar perdas de produção em condições de déficit hídrico. A baixa produtividade desta cultura na região Nordeste do país, atribuída em parte à sua adaptação ecológica, mostra a necessidade do conhecimento do aproveitamento hídrico das cultivares usadas na região, visando melhor aproveitamento da água disponível no solo em combinação com a distribuição de chuvas.

Em experimento realizado por Locatelli et al. (2014), avaliando os componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba, BRS Novaera e BRS Pajeú) em lâminas de irrigação (30, 60, 90, 120 e 150% da evapotranspiração de referência - ETo) no cerrado de Roraima, concluíram que os cultivares BRS Guariba e BRS Novaera obtiveram a máxima produtividade de grãos, 1.275,19 e 1.504,98 kg ha⁻¹, com as respectivas lâminas 74,3 e 94,02% da ETo. A máxima eficiência da irrigação foi obtida com uma lâmina de 30% da ETo para os três cultivares. Os autores destacam ainda que, a disponibilidade de água é fator relevante a ser considerado quando se

pretendem ganhos na produtividade de grãos do feijão-caupi o que pode ser obtido com um manejo adequado que proporcione a maximização da eficiência do uso da água.

3.1.5 Tolerância de cultivares de feijão-caupi à salinidade e déficit hídrico

Devido a grande expansão no cultivo do feijão-caupi, novos mercados e perspectivas de comercialização foram alcançadas para essa cultura, exigindo assim de seus produtores, a aplicação de manejo mais adequado para a garantia de um produto de qualidade e mais competitivo no mercado brasileiro. Segundo Assís Júnior et al. (2007), a prática da irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos. No caso do Nordeste, com o uso dessa tecnologia, as produtividades obtidas têm sido muito boas. No entanto, o uso inadequado dessa técnica vem provocando a salinização dos solos, principalmente, nas condições ambientais do Nordeste (MURTAZA; GHAFOOR; QADIR, 2006).

Diante dessa situação, Brito et al. (2008) relatam que a viabilização do uso de água de baixa qualidade e de solos salinos é possível por meio do cultivo de genótipos de elevada tolerância a esse fator abiótico. No entanto, isso depende do desenvolvimento de cultivares mais tolerantes à salinidade, fato que exige o desenvolvimento de estudos para avaliação do efeito da salinidade sobre aspectos da fisiologia, crescimento e produção da planta, visando identificar genótipos que melhor se adequem a tais fatores.

Freire Filho et al. (2005) citam que a utilização de cultivares melhoradas geneticamente com o objetivo de aumentar a produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade da produção, como também aumentar a resistência a altas temperaturas e estresses hídricos, tem sido muito comum, mas não se sabe ao certo até que ponto os novos genótipos são resistentes.

Já Imran et al. (2012) destacam que muitas cultivares de feijão-caupi são adaptadas às regiões semiáridas do nordeste brasileiro, com produção de grãos em cultivos de sequeiros. Mesmo com essa adaptabilidade, o feijão-caupi é uma cultura moderadamente tolerante à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999).

O desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a períodos de deficiência hídrica no solo, tal como o desenvolvimento de mecanismos que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de seca, será essencial na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial (NEPOMUCENO et al., 2001). As diferentes reações de cada genótipo a essas variações permitem que ele possa tolerá-las quando em níveis críticos mantendo, ainda assim,

taxas adequadas de fotossíntese (RIBEIRO et al., 2004). Diante da importância do feijão-caupi para o Nordeste do Brasil, torna-se imprescindível a realização de estudos visando avaliar o desempenho de cultivares desenvolvidas para o cultivo em regime de sequeiro, frente às limitações hídricas impostas que ocorrem ao longo do ciclo da cultura (NASCIMENTO et al., 2011).

Em pesquisa realizada para identificar a variabilidade genética entre genótipos de feijão-caupi quanto ao nível de tolerância à salinidade da água de irrigação, Fernandes et al. (2013), utilizando 10 genótipos de feijão-caupi (CE-09, CE-11, CE-31, CE-67, CE-70, CE-88, CE-104, CE-182, CE-250 e CE-551), pertencentes ao Banco de Germoplasma de feijão-caupi (BAGCaupi) do CCA/UFC, constataram que os genótipos, CE-182, e CE-551 foram tolerantes à salinidade da água de irrigação provocada pela mistura de sais NaCl, CaCl₂ e MgCl₂ nos níveis 2,5, 5,0 e 7,5 dS m⁻¹ e os genótipos CE-9, CE-88 e CE-250 foram tolerantes apenas nos níveis de 2,5 e 5,0 dS m⁻¹ e moderadamente tolerante a condutividade elétrica de 7,5 dS m⁻¹.

Dutra et al. (2013) avaliando o crescimento inicial de genótipos de feijão-caupi (BRS Aracé; BR17 Gurgéia; BRS Marataoã) submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica (40, 60, 80 e 100 % da ETo) no semiárido Paraibano, verificaram por meio da análise das variáveis diâmetro caulinar, altura de planta, área foliar, fitomassa seca do caule e da parte aérea, que apenas o genótipo BRS Aracé mostrou-se mais resistente à redução da disponibilidade hídrica no solo.

3.2 Breve histórico e a problemática da salinidade no Brasil e no mundo

Os solos salinizados, comumente chamados de solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são solos desenvolvidos pela influência dominante de um fator local, no caso, o excesso de sais solúveis. Estão relacionados, portanto, com condições imperfeitas de drenagem, em regiões áridas ou semiáridas, onde a baixa precipitação pluvial, a presença de camadas impermeáveis e a elevada evapotranspiração contribuem para o aumento da concentração de sais solúveis na solução do solo (salinidade) e/ou o aumento da percentagem de sódio trocável (sodicidade), interferindo no desenvolvimento normal das plantas (BARROS et al., 2004; RIBEIRO, 2010; PEDROTTI et al., 2015).

Os efeitos nocivos da salinidade e da sodicidade no solo e no crescimento das plantas são conhecidos pelo homem há milênios. Pelo menos dois relatos nas escrituras Sagradas, um no livro de Deuteronômio e outro em Juízes, escritos acerca de 1405 a. C. e em

1043 a. C., respectivamente, narram sobre os danos causados pelos sais e de sua simbologia como uma sentença de esterilidade permanente (BÍBLIA SAGRADA, 2010). Em outro relato, Brady e Weil (2008), citam como os sais foram usados como instrumento de guerra pelos Romanos que, após a vitória sobre os Cartagineses, incorporaram cloreto de sódio nos solos dos arredores da destruída cidade de Cartago, com o intuito de torná-los improdutivos e impedir o ressurgimento da cidade.

Atualmente, estima-se que ocorra uma perda de cerca de 1,5 milhões de hectares de terras aráveis a cada ano devido ao acúmulo de sais. Dessa forma, a salinização tem sido identificada como o principal processo de degradação dos solos (OLIVEIRA, GOMES FILHO; ENÉAS FILHO, 2010). Segundo informações da FAO (2006), estima-se que dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo, aproximadamente 50% já apresentem problemas de salinização e que, a cada ano, 10 milhões de hectares sejam abandonados, em virtude desse problema. Em regiões áridas e semiáridas a salinização dos solos é mais evidente, atingindo cerca de 25% das áreas irrigadas.

Segundo dados da Central Soil Salinity Research Institute (2004), os Estados Unidos possuem maior área cultivada no mundo (189,91 milhões de hectares), dos quais 18,1 milhões de hectares são irrigados, sendo que deste total, 23% (4,16 milhões de hectares) são afetados por sais. A Índia vem logo atrás com 168,99 milhões de hectares de área cultivada, dos quais 42,1 milhões de hectares são irrigados, sendo que 16,6% (7 milhões de hectares) são salinizados. A China fica em terceiro lugar com um total de 96,97 milhões de hectares de área cultivada, dos quais 44,83 milhões de hectares são irrigados e deste total 15% (6,7 milhões de hectares) sofrem com problemas de salinização.

No Brasil, embora a informação sobre as áreas salinas não esteja bem definida, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas enfrentem problemas de salinização (FAO, 2006). Rio Grande do Sul, Pantanal Mato-grossense e no semiárido nordestino, são os principais locais onde há ocorrência de solos salinos e sódicos.

Este problema é mais conspícuo na região Nordeste, a qual possui uma área de 155 milhões de hectares, sendo que 52% dessa superfície é semiárida. Considerando que a prática da irrigação constitui a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança no semiárido e que a implantação dos projetos de irrigação tem sido incrementada nas últimas décadas, configura-se como de grande importância para a produção agrícola nessa região o desenvolvimento de pesquisas que venham a possibilitar um melhor manejo do solo e da água, face às projeções futuras de aumento da população e da demanda por alimentos (HOLANDA et al., 2010).

Ribeiro (2010) relata que aproximadamente 91.000 km² das áreas cultivadas da região Nordeste sofrem com problemas da salinização. A maior área afetada está localizada no estado da Bahia (44% do total), seguido pelo estado do Ceará, com 25% da área total. Os efeitos negativos da salinidade para a agricultura são preocupantes, por afetarem o crescimento, desenvolvimento e o rendimento das culturas. Ao prejudicar, também, a própria estrutura edáfica, pode resultar em grandes áreas abandonadas, por serem onerosos e demorados os processos de recuperação de solos, em geral, principalmente quando em avançado grau de salinidade, requerendo tecnologias mais sofisticadas. Assim, prevenir é a melhor alternativa para assegurar o uso do solo pela agricultura de forma sustentável (GHEYI; DIAS; LACERDA, 2010).

Neves (2012) salienta que dentre as causas da salinização nas áreas irrigadas da região nordestina destacam-se o manejo inadequado da irrigação, a deficiência ou inexistência de sistema de drenagem e também da qualidade da água de irrigação. A autora enfatiza ainda que a expansão das áreas irrigadas em terras marginais, o uso de águas salinas na irrigação e o manejo inadequado da água e do solo em conjunto com a ausência de drenagem, levam a grandes prejuízos para a economia regional e abandono destas áreas.

Os efeitos negativos da salinidade podem ser observados no “stand” da cultura, no crescimento das plantas e em rendimentos, sendo que em casos extremos pode haver até perda total da cultura (RICHARDS, 1954). Portanto, o manejo de água nas áreas irrigadas, associada ao manejo do solo e das culturas é fundamental para manter a atividade da agricultura irrigada por várias gerações.

3.3 Origem da salinidade em áreas irrigadas

De acordo com Medeiros, Nascimento e Gheyi (2010), a expansão das áreas agricultáveis em todo mundo, impulsionadas pelo uso da irrigação, ocorreram para atender o acelerado crescimento populacional mundial, surgindo assim, a cada dia, a necessidade de maior produção de alimento. O Brasil possui uma área irrigada correspondente a três milhões de hectares, ocupando o 18º lugar em termos de área irrigada no mundo. Levando-se em consideração a relação entre sua área irrigada com a área total cultivada, o Brasil encontra-se no 23º lugar, com 5% da área total cultivada (HOFFMAN; EVANS, 2007), produzindo mais de 17% da produção total. Portanto, a tendência atual é de um crescimento acelerado das áreas irrigadas, exatamente por essa capacidade produtiva e maior necessidade de se produzir por unidade de área.

A salinização do solo tem sido, portanto, um dos grandes problemas ocasionados pela expansão das áreas irrigadas, pois se sabe que todas as águas utilizadas na irrigação contêm sais, que se concentram no solo à medida que as plantas retiram a água do mesmo. Considerando uma lâmina de 100 mm mesmo com, relativamente, baixo teor de sais (condutividade elétrica de $0,50 \text{ dS m}^{-1}$ ou 320 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos totais), pode incorporar no solo cerca de 320 kg ha^{-1} de sais, sendo que cada irrigação ou lâmina adicional provocaria um aumento progressivo se estes sais não forem lixiviados ou sofrerem qualquer outra transformação - precipitação ou retirada pelas plantas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

Ayers e Westcot (1999) consideram a salinização como subproduto da irrigação e citam como as principais causas da salinização nas áreas irrigadas os sais provenientes da água de irrigação e/ou, do lençol freático, quando este se eleva até próximo à superfície do solo. Na presença do lençol freático alto, a água ascende por capilaridade na zona radicular à medida que esta é evapotranspirada. A rapidez deste processo, segundo os autores, depende do manejo da irrigação, da concentração de sais na água do lençol, da profundidade do lençol freático, do tipo de solo e do clima.

Na agricultura irrigada, a utilização indiscriminada de águas com concentração elevadas de sais pode salinizar os solos, comprometendo a produção das culturas (MEDEIROS; NASCIMENTO; GHEYI, 2010). Portanto, em áreas irrigadas, a existência de lixiviação e drenagem natural ou artificial torna-se requerimento essencial para o controle da salinidade, garantindo que o fluxo de água com sal abaixo da zona radicular das culturas não eleve o lençol freático acima de certos limites (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000).

Bernardo, Soares e Mantovani (2008) apresentam estimativa onde aproximadamente 30% da área dos perímetros irrigados do Nordeste brasileiro são afetados por sais. Em contrapartida a percentagem apresentada por esses autores, Cordeiro, Barreto e Garri (1988), em um levantamento detalhado realizado no projeto de irrigação em São Gonçalo, Paraíba, mostraram que 24% da área é afetada por sais, isto sem considerar as áreas já abandonadas. Tais estimativas nos levam a crer que, possivelmente, exista uma subestimação da real quantidade das áreas irrigáveis da região Nordeste do Brasil que apresentem problemas de salinidade.

A lixiviação é a chave da irrigação bem-sucedida onde a salinidade é excessiva, e também é considerada como o único meio pelo qual a salinidade do solo pode ser mantida em níveis aceitáveis sem riscos para as culturas, uma vez que aplicação de uma lâmina de água de irrigação superior àquela requerida pela cultura, permitirá que uma fração da água aplicada

percole abaixo da zona radicular, lixiviando parte dos sais acumulados. Outra forma bastante eficaz de se controlar a salinidade é mediante um sistema de drenagem que permita rebaixar o nível das águas e mantê-lo estável, em áreas que possuam lençóis freáticos pouco profundos. Deve-se aplicar a drenagem sempre que se explorar terras novas e é essencial para assegurar o êxito, a longo prazo, de todos os projetos de irrigação. Tem-se que prever os problemas de drenagem e formular sua solução imediata ou futura por antecipação. Uma vez estabelecida a drenagem adequada, os problemas de salinidade podem ser controlados por meio de manejo eficiente de irrigação (LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010).

3.4 Qualidade da água de irrigação

Atualmente, a situação da água é preocupante tanto em termos quantitativos dos recursos hídricos disponíveis, quanto em termos qualitativos. Os desequilíbrios regionais estão cada vez mais acentuados no mundo, no que diz respeito às disponibilidades de água de qualidade nas distintas regiões do globo. Dentre as causas podemos citar: o aumento da população e sua concentração nos grandes centros urbanos; o elevado grau de desmatamento e deterioração de bosques resultando em um menor aproveitamento das precipitações; os efeitos negativos da exploração excessiva dos aquíferos (salinização e aumento dos custos de exploração); o crescente dano por contaminação da qualidade das águas superficiais, entre outros (ALMEIDA, 2010).

Tal situação se torna ainda mais agravada nas regiões áridas e semiáridas, onde as condições climáticas estabelecem uma escassez de recursos hídricos. O uso da água para utilização doméstica é prioritário, seguidas pelas aplicações industriais e agrícolas, onde em muitos poucos lugares das zonas áridas e semiáridas, a água disponível é suficiente para irrigar os terrenos cultiváveis. Essa escassez de água para a agricultura, associada à necessidade de aumentar a produção de alimento, torna maior a necessidade de utilização de águas de inferior qualidade, que vão limitando a produtividade agrícola e produzindo a degradação dos solos (MEDEIROS; LISBOA; OLIVEIRA, 2003).

Na agricultura irrigada, a qualidade da água deve ser questionada antes do início do cultivo, pois se trata de um dos fatores que tem limitado ou impossibilitado a expansão da produção agrícola nas regiões áridas e semiáridas do mundo. Além disso, a alta taxa de evapotranspiração e a baixa pluviosidade contribuem para a salinização dos solos irrigados. Embora as águas salinas tenham sido consideradas inadequadas para a irrigação existem

amplas evidências em todo mundo, que seu uso pode ser viabilizado, desde que adotem técnicas de manejo adequadas e culturas tolerantes a salinidade (STEPPUNH, 2001).

Três aspectos devem ser levados em consideração quanto às águas que se destinam a irrigação: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons. Estas variáveis são fundamentais na determinação da qualidade agronômica das mesmas. O critério de salinidade avalia o risco de que o uso da água ocasione altas concentrações de sais, com o correspondente efeito osmótico e diminuição de rendimentos dos cultivos. Já a sodicidade analisa o risco de que se induza uma elevada Percentagem de Sódio Trocável (PST), com deterioração da estrutura do solo. E por fim, a toxicidade estuda os problemas que podem criar determinados íons acumulados nos tecidos das plantas (HOLANDA et al., 2010; ALMEIDA, 2010).

Um dos parâmetros mais utilizados para se medir concentração de sais solúveis na água é a condutividade elétrica (CE). Devido à facilidade de sua determinação, é um parâmetro utilizado para se mensurar a sua potencialidade de salinizar um solo. A condutividade elétrica da água de irrigação (CE_{ai}) basicamente considera a quantidade de sais presentes na água sem especificá-los. Devido à variabilidade da condutividade elétrica com a temperatura ambiente, seu valor é medido a uma temperatura de 25 °C, considerada como de referência. Quanto maior o conteúdo salino de uma solução maior será a CE da mesma. Portanto, a medida da CE é um indicador do perigo da salinidade do solo (AMORIM; CRUZ; RESENDE, 2010; LIMA; FRANÇA; LOIOLA, 2014).

Outra forma de expressar a salinidade de uma água é mediante a quantidade Total de Sais Dissolvidos (TSD), cujo valor se determina somando as concentrações de cada um dos íons analisados em uma amostra de água, expressados em mg L⁻¹ ou g L⁻¹. Ainda que a salinidade da água possa ser expressa indistintamente pela CE ou pelo TSD, suas unidades de medida não são estritamente equivalentes. A CE de uma água depende do número e tipo de íons presentes, sendo maior a capacidade condutora dos íons de maior carga iônica, que os de menor carga. Assim, duas águas podem apresentar valores iguais de CE e possuir diferentes TSD (SILVA et al., 2011).

A sodicidade também é utilizada como parâmetro de qualidade da água de irrigação devido a seu efeito sobre a permeabilidade do solo, e sobre a nutrição e toxicidade das plantas. A porcentagem de sódio foi o primeiro parâmetro utilizado nas primeiras classificações de qualidade de água, que se limitava a estabelecer a relação entre o cátion sódio frente ao total de cátions. No entanto, este parâmetro foi deixado de lado a partir da classificação sugerida pelos pesquisadores do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos,

que emprega pela primeira vez a relação de adsorção de sódio (RAS). Este índice denota a proporção relativa em que se encontra o Na^+ em relação com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , cátions divalentes que competem com o sódio pelos lugares de intercâmbio do solo. Esta consideração é de grande importância do íon sódio, que induzirá trocas de íons cálcio e magnésio pelo sódio nos solos, o que pode conduzir à degradação do mesmo, com a consequente perda de sua estrutura e permeabilidade (PIMENTA; AMARAL; FERREIRA, 2012).

Está amplamente comprovado que valores altos da PST, especialmente sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas com redução na condutividade hidráulica do solo. A razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação é o parâmetro de melhor correlação com a PST do solo. Richards (1954) foi o primeiro a introduzir esse conceito num sistema de classificação de águas para irrigação que passou a ser usado e conhecido internacionalmente.

A toxicidade, diferente da salinidade, que é um problema externo à planta e que dificulta a absorção da água, é um problema interno que se produz quando determinados íons, absorvidos principalmente pelas raízes, se acumulam nas folhas mediante a transpiração, chegando a alcançar concentrações nocivas. Algumas espécies iônicas constituem parâmetros de importância pela toxicidade que podem causar às plantas. Os íons cloreto, sódio e boro, quando presentes em concentrações elevadas na água, podem causar danos às culturas reduzindo a produção. A magnitude do dano depende, além da concentração do íon, do tempo de exposição, da sensibilidade das plantas, do uso da água pelas culturas, do tipo de irrigação, etc. (MAAS, 1985; ALMEIDA, 2010; HOLANDA et al., 2010).

No Brasil, a classificação mais utilizada para as águas destinadas à irrigação foi proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América. De acordo com Richards (1954), baseia-se geralmente na condutividade elétrica (CE), que indica o risco de salinidade e na razão de adsorção de sódio (RAS) como indicador de sodicidade. As águas se dividem em quatro classes, de acordo com a concentração total de sais solúveis (C1, C2, C3 e C4), cada qual representando condutividades elétricas de 0-0,25; 0,25-0,75; 0,75-2,25; 2,25-4,00 dS m^{-1} , respectivamente. Quanto à sodicidade, as águas são classificadas também em quatro classes (S1, S2, S3 e S4), cada uma separada em função da RAS e da CE, da seguinte forma: S1: $\text{RAS} < 18,87 - 4,44.\log \text{CE}$; S2: $18,87 - 4,44.\log \text{CE} < \text{RAS} < 31,31 - 6,66.\log \text{CE}$; S3: $31,31 - 6,66.\log \text{CE} < \text{RAS} < 43,75 - 8,87.\log \text{CE}$ e S4: $\text{RAS} > 43,75 - 8,87.\log \text{CE}$.

Ayers e Westcot (1999) apresentam os riscos das concentrações dos íons (sódio, cloro e boro) quanto à toxicidade às plantas, que podem ser divididos em três classes, a saber,

T1: não possui risco de toxicidade ($< 3 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ para os íons sódio ou cloreto em irrigação por aspersão ou superfície; e $< 0,7 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ para o íon boro); T2: risco moderado de toxicidade (com concentrações de sódio ou cloreto variando de $3 - 9 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ em irrigação por superfície e $> 3 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ em irrigação por aspersão e com concentração de $0,7 - 3,0 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ para o íon boro); e T3: risco severo de toxicidade ($> 9 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ para os íons sódio ou cloreto em irrigação por superfície e $> 3 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ para o íon boro).

Considerando que as variáveis fundamentais para avaliação da qualidade das águas de irrigação compreendem: salinidade, sodicidade e toxicidade iônica, se sugere aos laboratórios de análises que, para a classificação sejam mantidas as letras de costume C e S com acréscimo da letra T, correspondendo aos riscos de salinidade, sodicidade e toxicidade, respectivamente. Todas as letras devem ser acompanhadas de um número subscrito (1,2,3 ou 4) designando a intensidade do problema apresentado. Assim, por exemplo, C₁S₂T₁ seria a interpretação de uma água de baixa salinidade, média sodicidade e sem problemas de toxicidade; conseqüentemente o seu uso em irrigação não traria nenhum risco de salinidade para o solo, poderia provocar problemas moderados de infiltração e não apresentaria nenhum risco de toxidez para as plantas (HOLANDA et al., 2010).

3.5 Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura irrigada

Algumas estratégias podem ser usadas para minimizar os impactos negativos do aproveitamento de água salina na irrigação, entre elas: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de diversas outras práticas visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (LACERDA et al., 2009; MORAIS et al., 2011).

Garcia et al. (2010) avaliaram e compararam o efeito da salinidade da solução do solo sobre a resposta de 30 genótipos de feijoeiro e constataram que a salinidade afetou significativamente o crescimento de todos os genótipos estudados, sendo que o genótipo Serrano se destacou em relação aos demais genótipos, por apresentar maiores valores de matéria seca da parte aérea, área foliar total, taxas de crescimento relativo e razão de área foliar. Segundo os autores, este genótipo demonstrou maior tolerância ao estresse salino.

Amer (2010) estudando a resposta da cultura do milho sob diferentes lâminas de irrigação e diferentes níveis de salinidade, observaram influência significativa destes fatores

em estudo sobre o acúmulo de sais no solo, a infiltração de água no solo, a temperatura da folha, a taxa de transpiração e a resistência estomática.

Assis Júnior et al. (2007) avaliaram o acúmulo de sais no perfil do solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. Os autores verificaram que nos tratamentos com frações de lixiviação de 0,14 e 0,28, ocorreu distribuição mais uniforme dos sais no perfil do solo, enquanto no tratamento sem fração de lixiviação ocorreu maior acúmulo de sais e de sódio nas camadas superiores, bem como a maior percentagem de sódio trocável na profundidade de 0 a 30 cm. Isto pode ser explicado por conta desse tratamento ter sido irrigado com uma água de CE alta ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$) sem nenhuma fração de lixiviação.

Silva et al. (2013) avaliando os efeitos da aplicação de biofertilizante bovino e da salinidade da água de irrigação, sobre as trocas gasosas e produtividade do feijão-de-corda, verificaram que a salinidade da água de irrigação reduziu as trocas gasosas (condutância estomática, fotossíntese e concentração interna de CO_2) e a produtividade do feijão-de-corda. Os autores também observaram que a aplicação do biofertilizante via foliar interferiu positivamente nos valores de transpiração, peso de grãos e produtividade na cultura do feijão-de-corda sob estresse salino. Diante desses resultados, os autores destacam a importância no uso de águas salinas na irrigação do feijão-de-corda, no entanto, advertem que sua utilização pode provocar acúmulo de sais no solo e reduzir o crescimento vegetativo e a produção de grãos, sugerindo que a utilização de água salina na irrigação depende de algumas estratégias de manejo que garantam a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas.

Terceiro Neto et al. (2013) realizando um estudo com o objetivo de verificar os efeitos do uso de água com baixa e alta concentração salina na cultura do melão, aplicada de forma alternada, por fase de desenvolvimento da cultura ou misturadas, sobre as propriedades químicas do solo e no crescimento, rendimento e nutrição mineral das cultivares Sancho e Medellín. Verificaram que o manejo adotado não influenciou as características de crescimento da cv. Sancho; a produção comercial e total das duas cultivares não foi influenciada pelo uso de água com baixa e alta concentração salina, aplicada sob diferentes formas de manejo; o manejo com água salina na irrigação do meloeiro foi economicamente viável, proporcionando uma economia de cerca de 33% de água de baixa salinidade; os valores de salinidade do extrato de saturação do solo foram inferior aos da salinidade da água de irrigação de alta concentração salina.

Embora existam diversas estratégias que podem ser utilizadas no manejo da salinidade em cultivos irrigados, Lacerda et al. (2010) advertem que os estudos desenvolvidos

no Brasil ainda são escassos, e normalmente avaliadas estratégias isoladas sem uma visão de longo prazo da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Arelado a isso, verifica-se uma complexidade das condições de salinidade em situações de campo, o que muitas vezes limita o uso de determinadas estratégias de manejo. Diante do exposto, os autores supracitados sugerem uma nova abordagem nas pesquisas que busquem uma avaliação conjunta de diferentes estratégias, de preferência em estudos de longo prazo, que possam resultar no melhor aproveitamento da terra e dos recursos salinos (solo e água). Esses estudos devem contribuir para o alcance dos seguintes objetivos: reduzir os impactos da salinidade sobre a planta, prevenindo também a degradação do solo, reduzir o uso de fertilizantes químicos em plantas sob estresse salino, permitir o uso de águas salinas na irrigação, substituindo parcialmente o uso de água de boa qualidade e aumentar a eficiência do uso da terra e a sustentabilidade de sistemas agrícolas sob condições de salinidade.

3.6 Efeitos dos sais no solo e na planta

Independente da fonte em que foi obtida, todas as águas utilizadas na irrigação apresentam determinadas concentrações de sais; assim, a falta de um manejo eficiente do uso destes recursos hídricos em áreas sob irrigação acarreta no acúmulo desses sais no solo. No entanto, nem todos os sais introduzidos na área irrigada ficam acumulados no perfil do solo, parte desses sais é absorvida pelas plantas, parte é lixiviada, e o restante se acumula na camada de solo agricultável. A quantidade de sais acumulados no solo vai depender diretamente da concentração de íons na água de irrigação, ocorrendo aumento da salinidade do extrato de saturação em decorrência do aumento da salinidade da água utilizada na irrigação (SILVA et al., 2008; PEREIRA, 2010).

Solos de regiões áridas e semiáridas podem apresentar acúmulo de sais e sódio trocável em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, devido a processos naturais e antrópicos de salinização e sodificação, em consequência do manejo inadequado da irrigação. Em virtude de elevadas taxas de evaporação e de transpiração há, nessas regiões, tendência de ocorrer balanço positivo no teor de sais nesses solos, visto que, devido às reduzidas precipitações, não ocorre lixiviação dos sais e, desta forma, essas regiões apresentam maior risco de salinização em comparação com outras áreas de características climáticas, que apresentam menor taxa de evapotranspiração (MEDEIROS; GHEYI; NASCIMENTO, 2012).

De acordo com Medeiros, Dias e Barros (2008), o acúmulo de sais solúveis e, especificamente, de sódio no solo, além de reduzir o potencial osmótico da solução do solo

produz alteração no pH, desbalanceamento nutricional e desestruturação de seus agregados. O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre basicamente pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e sua contração, quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se a expansão for exagerada poderá ocorrer a fragmentação das partículas causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo. Em geral, os solos sódicos, ou seja, com excesso de sódio trocável, apresentam problemas de permeabilidade e qualquer excesso de água causará encharcamento na superfície do solo afetando a germinação das sementes e o crescimento das plantas, por deficiência de oxigênio.

Para Medeiros e Gheyi (1997), o nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas. Assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo nas áreas irrigadas. Essas águas nem sempre são adequadas para irrigação, contribuindo para o aparecimento de problemas de salinidade e, conseqüentemente, problemas nutricionais do cultivo, resultando em prejuízos para os agricultores. A água de irrigação, mesmo de baixa salinidade, pode tornar-se um fator de salinização do solo, caso não seja manejada corretamente (AYERS; WESTCOT, 1999).

No que diz respeito ao efeito dos sais na planta, sabe-se que as plantas retiram a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças com que a água é retida no solo. Contudo, a presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito osmótico e, portanto, a magnitude do problema de escassez de água na planta. Desta forma, o aumento da pressão osmótica causado pelo excesso de sais solúveis poderá atingir um nível em que as plantas não apresentarão forças de sucção suficiente para superar essa pressão osmótica e, em consequência, a planta não irá absorver água, mesmo de um solo aparentemente úmido, fenômeno este conhecido como seca fisiológica. Dependendo do grau de salinidade, a planta, em vez de absorver, poderá até perder a água que se encontra no seu interior. Esta ação é denominada plasmólise e ocorre quando uma solução altamente concentrada é posta em contato com a célula vegetal. Tal fenômeno é devido ao movimento da água, que passa das células para a solução mais concentrada (DIAS; BLANCO, 2010).

Moura (2000) e Dias, Gheyi e Duarte (2003) afirmam que além das plantas em ambientes com alta concentração de sais sofrerem estresse em razão da baixa disponibilidade de água no solo, como consequência da diminuição do potencial osmótico na zona radicular, devido a grandes quantidades de sais na solução do solo, também sofrem com o efeito tóxico

de altas concentrações de íons específicos, que acarreta no efeito indireto de ordem nutricional.

Maas (1986) demonstra que os efeitos da salinidade podem variar em função do estágio fenológico da cultura e acumulação diferenciada de sódio, cloreto, boro, potássio e outros íons, e até causar toxidez ou desbalanço nutricional.

A salinidade do solo reduz a disponibilidade da água no solo; no entanto, nem todas as culturas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade, pois algumas são mais tolerantes que outras e podem extrair água com mais facilidade. Com base na resposta aos sais, as plantas são classificadas em glicófitas e halófitas. As glicófitas representam o grupo das plantas cultivadas e, na sua maioria, são as menos tolerantes à ação dos sais, enquanto as halófitas compõem o grupo de plantas que adquirem condições fisiológicas; portanto, ajustam-se osmoticamente e sobrevivem em meio altamente salino (WILLADINO et al. 2011).

A tolerância à salinidade é variável entre espécies e, mesmo em uma espécie, entre estádios de desenvolvimento, em cada fase a tolerância a salinidade é controlada por mais de um gene e altamente influenciada por fatores ambientais (FLOWERS; FLOWERS, 2005); entretanto, os efeitos dependem, ainda, de outros fatores, como espécie, cultivar, estágio fenológico, tipo de sais, intensidade e duração do estresse salino, manejo cultural e da irrigação e condições edafoclimáticas (TESTER; DAVÉNPORT, 2003; MUNNS, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Almeida et al. (2012) realizaram experimento com o objetivo de avaliar por meio de caracteres morfológicos a variabilidade genética entre genótipos de feijão-caupi quanto ao nível de tolerância à salinidade da água de irrigação e identificar aqueles tolerantes ao estresse salino no estágio de crescimento vegetativo. Os resultados encontrados pelos autores constataam diferenças significativas com o aumento da salinidade entre os genótipos estudados. Ainda segundo os autores os genótipos, CE-182, e CE-551 são tolerantes à salinidade da água de irrigação provocada pela mistura de sais NaCl, CaCl₂ e MgCl₂ nos níveis 2,5, 5,0 e 7,5dS m⁻¹ e os genótipos CE-9, CE-88 e CE-250 são tolerantes apenas nos níveis de 2,5 e 5,0 dS m⁻¹ e moderadamente tolerante a condutividade elétrica de 7,5 dS m⁻¹.

O grau de tolerância do feijão-caupi ao estresse salino varia entre os diferentes genótipos (DANTAS et al., 2002). Murillo-Amador et al. (2006) verificaram, trabalhando com diferentes genótipos de feijão-caupi, comportamento diferente entre os genótipos, principalmente entre materiais de distintas procedências.

De acordo com Shalhevet, Morris e Schroeder (1995), resultados de experimentos conduzidos em casa de vegetação mostram que o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], o trigo (*Triticum aestivum* L.) e o caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] são mais sensíveis à salinidade durante o estágio vegetativo e no início da fase reprodutiva, menos sensíveis no estágio de floração e insensíveis durante o enchimento de grãos. Nessas culturas, portanto, a seleção para tolerância à salinidade deve ser feita no estágio mais sensível. É interessante, também, irrigar essas culturas com água salina durante o estágio de menor sensibilidade e usar água com baixa salinidade durante o estágio mais sensível. Trabalho realizado por Grattan et al. (1987) mostraram que a irrigação com água de 8 dS m⁻¹, do início da floração até a colheita, não afetou significativamente a produção de melão (*Cucumis melo* L.) e tomate (*Solanum lycopersicum* L. var. *lycopersicum*), em comparação com a água de irrigação com salinidade de 0,2 dS m⁻¹.

3.7 Efeitos da salinidade no crescimento e desenvolvimento

Prisco e Gomes Filho (2010) afirmam que a salinidade altera, inicialmente, a absorção de água, de nutrientes e a permeabilidade das membranas. Essas alterações refletem no balanço hídrico e nutricional da planta e provocam mudanças no metabolismo, no balanço hormonal, nas trocas gasosas e na produção de EROs. Todas essas mudanças comprometem a expansão e divisão das células, o crescimento vegetativo e reprodutivo e a aceleração da senescência das folhas, que resultam na eventual morte da planta.

As adaptações morfológicas e anatômicas das plantas submetidas a condições salinas podem variar em natureza, grau ou eficácia, dependendo da espécie e, também, do habitat. Há certo grau de plasticidade no efeito da salinidade sobre as plantas, em diferentes condições ambientais, dependendo da severidade do estresse (KHAN; WEBER, 2006). Uma das adaptações de ordem morfológica é a redução de área foliar, quer pela formação de um menor número de folhas, quer pela redução de seu tamanho ou por abscisão foliar (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Benincasa (2003) a análise de crescimento é o método mais acessível e preciso para avaliar o crescimento de plantas e inferir a contribuição dos diversos processos fisiológicos sobre o comportamento das mesmas. O estado fenológico e os níveis de salinidade aplicados durante o crescimento e desenvolvimento dos genótipos sob avaliação são de fundamental importância no processo de geração de cultivares tolerantes (FAGERIA; SOARES FILHO; GHEYI, 2010).

Sousa et al. (2012) afirma que uma das respostas das plantas ao estresse hídrico, ocasionado pela alta concentração de sais da água de irrigação, é a redução na condutância estomática, causando uma diminuição na fotossíntese líquida. Assim, apesar de reduzir a perda de água através da transpiração, a curto prazo, o fechamento dos estômatos é o principal fator limitante da fotossíntese (GREENWAY; MUNNS, 1980; DAVIES; ZHANG, 1991). A longo prazo, o excesso de íons tóxicos no mesófilo inibe a fotossíntese por meio de mecanismos não-estomáticos, reduzindo o conteúdo total de clorofila, o transporte de elétrons nos cloroplastos e, conseqüentemente, causando um decréscimo na eficiência do fotossistema II (PARIDA; DAS; MITTRA, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O efeito do estresse salino sobre a eficiência fotoquímica do fotossistema II (FS II) tem sido extensivamente investigado, no entanto, os dados sobre os efeitos desse estresse sobre a fase fotoquímica são bastante conflitantes. O fotossistema (ou centro de reação fotossintético) utiliza a luz para reduzir moléculas, produzindo a energia para a cadeia transportadora de elétrons. Moléculas de clorofila, aceptores de elétrons, pigmentos acessórios e enzimas que participam da fotossíntese encontram-se organizadas nas membranas dos cloroplastos, formando unidades funcionais chamadas fotossistemas. Alguns estudos têm demonstrado que o estresse salino inibe a atividade do FS II, onde outros têm indicado o contrário, ou seja, que o estresse salino não afeta o FS II (LU et al., 2002).

O uso dos parâmetros de fluorescência tem sido difundido por se tratar de um método que, além de não destrutivo, permite uma análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo FSII e possíveis relações com a capacidade fotossintética (MOUGET; TREMBLIN, 2002; TORRES NETTO et al., 2005).

Quando expostas a estresse ambiental ou abiótico, alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência os quais podem ser quantificados nas folhas através da técnica de determinação, *in vivo*, da fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m), terminal (F_t) e variável (F_v) da clorofila *a*, além da eficiência fotoquímica (E_f) (BAKER; ROSENQVST, 2004).

Percival e Fraser (2001) e Percival, Fraser e Gillian (2003) utilizaram este método como ferramenta para identificação de plantas tolerantes a salinidade e também na seleção genética de tolerância à seca, ao calor e à poluição.

Em pesquisa realizada com o objetivo de analisar as variáveis de crescimento e produção e as características de emissão de fluorescência da clorofila *a* em dois materiais genéticos de amendoim irrigados com águas de diferentes salinidades, Correia et al. (2009) constataram que os níveis de salinidade da água de irrigação não influenciaram os parâmetros

associados à emissão da fluorescência da clorofila *a*. Os autores ressaltam ainda que o fato dos parâmetros associados à emissão da fluorescência (F_o , F_m , F_v e F_v/F_m) não terem diferido entre as cultivares, pode indicar que os materiais testados são geneticamente muito próximos em relação à atividade fotoquímica.

3.8 Efeitos do déficit hídrico nos processos morfofisiológicos das plantas

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, a deficiência hídrica merece destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis, ocasionando mudanças na partição dos carboidratos no interior da planta e, condicionando as plantas a desenvolver mecanismos de adaptação e resistência (NOGUEIRA et al., 2001).

Os efeitos do ambiente no crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal são essenciais à avaliação dos efeitos desses fatores nos diversos processos fisiológicos do crescimento das espécies de importância econômica e ecológica, visto que a deficiência hídrica aumenta a resistência difusiva ao vapor d'água, mediante fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e a abscisão das folhas, reduzindo o rendimento da transpiração, o suprimento de CO_2 para a fotossíntese, a expansão celular (área foliar) e a condutância estomática e, conseqüentemente na acumulação de matéria seca (SOUZA; SOARES; REGINA, 2001; CABRAL; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004; PIMENTEL, 2004), acentua o crescimento de raízes, aumenta a resistência ao fluxo de água e a disposição de cera na folha, e altera a dissipação de energia das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico (ARAÚJO FILHO et al., 2013). A redução no incremento do índice de área foliar está associada, usualmente, ao desenvolvimento foliar das plantas, em situações de déficit hídrico, podendo estar relacionada com a pequena redução no tamanho das folhas individuais ou com a menor produção de folhas; porém, plantas com déficit hídrico podem alterar a interceptação da radiação solar, através de modificações na exposição e duração da área foliar (PETRY et al., 2007).

A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação do CO_2 e a senescência das folhas são também indicadores do efeito do déficit hídrico de uma cultura (FAVER; GERIK; THAXTON, 1996). Begg e Turner (1976) demonstraram que os efeitos causados pelo déficit hídrico nos tecidos mais jovens da planta são maiores que nos tecidos

adultos; porém, quando se interrompe o déficit o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens.

Oliveira et al. (2014) avaliando os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão-fava em ambiente protegido, concluíram que o déficit hídrico afetou o desenvolvimento do feijão-fava, diminuindo o índice de área foliar, índice de clorofila, e aumentando o abortamento de flores e vagens. Pelos resultados apresentados pelos autores, o feijão-fava foi mais sensível ao estresse hídrico quando o mesmo deu-se em mais de uma fase de desenvolvimento.

De acordo com Cerqueira et al. (2004), genótipos que apresentem diversidade na resposta ao estresse hídrico constituem excelentes materiais para serem utilizados em programas de melhoramento genético. Vários caracteres fisiológicos podem ser empregados na avaliação das respostas das espécies vegetais ao estresse hídrico, destacando-se entre eles o potencial hídrico foliar, a condutância estomática e a transpiração.

3.9. Efeitos de solutos orgânicos e inorgânicos nas plantas

Para manter a absorção de água em condições de estresse osmótico, muitas plantas acumulam solutos orgânicos no citosol e/ou íons inorgânicos no vacúolo, os quais baixam o potencial osmótico, num mecanismo conhecido como ajustamento osmótico (WILLADINO; CAMARA, 2004).

O acúmulo de solutos orgânicos é um processo comum em plantas submetidas a estresses ambientais, tais como hídrico e o salino (MUNNS, 2002). Estes compostos compartilham a propriedade de permanecerem invariáveis em pH neutro e serem altamente solúveis em água (HASEGAWA et al., 2000). Ao contrário dos solutos inorgânicos, que inibem as atividades de muitas enzimas citosólicas, os solutos orgânicos, mesmo em altas concentrações, não interferem no metabolismo celular normal, sendo por isso também chamados de solutos compatíveis (SAIRAM; TYAGI, 2004). Além do seu papel na osmorregulação, acredita-se também que possam contribuir para a estabilidade das proteínas e das membranas celulares, além de exercerem efeitos protetores contra espécies reativas de oxigênio (ASHRAF; FOOLAD, 2007; GREENWAY; MUNNS 1980; BOHNERT; SHEN 1999).

Entre os N-aminossolúveis que se acumulam em resposta ao estresse osmótico, a prolina é indiscutivelmente a mais relatada. No entanto, há autores que sugerem que o acúmulo de prolina é apenas uma consequência do estresse e não uma resposta adaptativa. Liu

e Zhu (1997), utilizando mutantes *sos1* de *Arabidopsis thaliana* sensíveis ao estresse salino, observaram que estes acumulavam mais prolina que os tipos selvagens (tolerantes). O fato é que, além de não se ter uma visão clara das plantas que se ajustam osmoticamente produzindo solutos orgânicos, também pouco se conhece sobre que tipo específico de soluto é acumulado por uma determinada espécie.

A manutenção da concentração iônica intracelular é imprescindível para manter os processos metabólicos que controlam o crescimento e o desenvolvimento das plantas em ambientes salinos (ABREU, 2012). No entanto, a absorção elevada de íons Na^+ em condições de salinidade pode gerar toxicidade e impedir a aquisição de alguns nutrientes, gerando desbalanço iônico (BRESSAN; BOHNERT, HASEGAWA, 2008; ZHU, 2003). O sódio é, em geral, o elemento mais abundante nos solos salinos (BORGES; OLIVEIRA, 2000). O aumento da concentração de íon Na^+ é acompanhado, na maioria das vezes, de redução na absorção de K^+ nos tecidos vegetais (BOHRA; DOERFFLING, 1993; KHATUN; FLOWERS, 1995). Este efeito antagônico entre os elementos minerais interfere diretamente na capacidade produtiva da maioria das glicófitas.

A elevação do teor de íon Na^+ nos tecidos das plantas sob estresse salino proporciona aumentos excessivos das relações Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ (ROGERS; NOBLE, 1992; ULLAH et al., 2003; ARAÚJO, 1994), conduzindo a distúrbios na homeostase iônica (BOHNERT; NELSON; JENSEN, 1995). A relação Na^+/K^+ no tecido é usada como um índice que permite estimar a toxidez de Na^+ , uma vez que esse cátion inibe a atividade das enzimas dependentes de íon K^+ (JESCHKE, 1984). A habilidade para manter uma relação Na^+/K^+ relativamente baixa no citoplasma e transportar o Na^+ e o Cl^- para longe dos sítios do metabolismo primário são duas das condições críticas para que ocorra o crescimento da planta em condições salinas (ROGERS; NOBLE, 1992; ARAÚJO, 1994; ULLAH et al., 2003).

O potássio é considerado o principal nutriente inorgânico catiônico desempenhando diversas funções na planta como a manutenção do potencial de membrana; o balanceamento de cargas no citoplasma, que estabiliza o excesso de cargas negativas das proteínas e dos ácidos nucléicos; servindo como cofator para a ativação de reações enzimáticas e contribuindo para a pressão osmótica do vacúolo mantendo assim, a turgescência celular (MAATHUIS; AMTMANN, 1999).

Em plantas cultivadas em solos salinos, o cloreto (Cl^-) desempenha um papel importantíssimo, sendo um dos solutos que contribui para reduzir o potencial osmótico celular e facilitar a absorção de água (CHIESA, 1993). O cloro é absorvido pelas raízes e folhas na

forma de cloreto e apresenta grande mobilidade na planta. O acúmulo excessivo desse ânion, entretanto, provoca clorose e necrose das folhas, ocasionando queda de produção (MARSCHNER, 1990).

A compartimentalização vacuolar do cloreto é uma adaptação essencial para a tolerância ao estresse salino (NIU et al., 1995). Outros autores sugerem que a compartimentalização do Cl^- no vacúolo pode ser alcançada através de canais, sendo o gradiente de pH gerado pelo bombeamento de prótons através do tonoplasto a principal força termodinâmica para o transporte. Alternativamente, a compartimentalização do Cl^- no vacúolo poderia ocorrer ativamente por um transportador H / ânion do tipo antiporte (REA; SANDERS, 1987; FAÇANHA; MEIS, 1998).

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. E. B. de. **Análise fisiológica, bioquímica e proteômica de respostas ao estresse salino em plantas de feijão de corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]**. 2012. 151 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p.
- ALMEIDA, W. S. de; FERNADES, F. R. B.; BERTINI, C. H. C. de M.; PINHEIRO, M. de S.; TEÓFILO, E. M. Emergência e vigor de plântulas de genótipos de feijão-caupi sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1047–1054, 2012.
- AMORIM, J. R. A.; CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S. Qualidade da água subterrânea para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Piauí, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.804-811, 2010.
- AMER, K. H. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. **Agricultural Water Management**, 97, p. 1553–1563, 2010.
- ANDRADE, J. R.; NASCIMENTO, R. do.; MAIA JÚNIOR, S. O.; SILVA, F. V. da.; BARBOSA, J. W. da S. Teores de pigmentos fotossintéticos em caupi inoculado com rizóbio e em condições salinas. **Revista Verde**, v. 7, n.3, p. 10-13, 2012.
- ARAÚJO, C. A. S. **Avaliação de feijoeiros quanto à tolerância à salinidade em solução nutritiva**. 1994. 87f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.
- ARAÚJO FILHO, J. T. de.; PAES, R. de A.; AMORIM, P. L. de.; COMASSETTO, F. F.; SILVA, S. C. da. Características morfológicas e produtivas da maniçoba cultivada sob lâminas hídricas e doses de nitrogênio. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, v.14, n.4, p.609-623 2013.
- ARAÚJO, J. P. P. de; SANTOS, A. A. dos; CARDOSO, M. J.; WATT, E. E. Nota sobre a ocorrência de uma inflorescência ramificada em caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Subsp no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v.12, n.1/2, p.187-193, 1981.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. **Environ. Exp. Bot.**, 59: 206-216, 2007.
- ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F. de; SILVA, F. B. da; SILVA, F. L. B. da; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia agrícola**, v.27, n.3, p.702-713, 2007.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F; Damasceno, F. A. V. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29.

- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. V. H.; RUIZ, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.59-64, 2004.
- BARROSO, A. de A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. de O.; PALÁCIO, H. A. de Q.; LIMA, C. A. de. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.588–593, 2011.
- BEGG, J. E.; TURNER, N. C Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v.28, p.161-217, 1976.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.
- BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. dos. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 34, n.1, p.5-10, 2003.
- BÍBLIA SAGRADA. **Bíblia de Estudo MacArthur**. Barueri, SP. Sociedade Bíblica do Brasil, 2010. 2048 p.
- BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. da C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. da S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.5, p.524-530, 2011.
- BOHNERT, H. J.; NELSON, D. E.; JENSEN, R. G. Adaptations to environmental stresses. **The Plant Cell**, v.7, p.1099-1111, 1995.
- BOHNERT H. J.; SHEN, B. Transformation and compatible solutes. **Scientia Horticulturae**, 78, p. 237–260, 1999.
- BOHRA, J. S.; DOERFFLING, K. Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. **Plant and Soil**, 152, p. 299-303, 1993.
- BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G. **Nutrição, calagem e adubação**. In: CORDEIRO, Z. J. M. Banana produção: aspectos técnicos. Brasília: EMBRAPA, 2000.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 975p.

- BRESSAN, R. A.; BOHNERT, H. J.; HASEGAWA, P. M. Genetic engineering for salinity stress tolerance. **Advances in Plant Biochemistry and Molecular Biology**, v.1, p. 347-384, 2008.
- BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; CARDOSO, J. A. F.; SOARES FILHO, W. S. Sensibilidade de variedades e híbridos de citrange à salinidade na formação de porta-enxertos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.343-353, 2008.
- CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. de A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Beth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2004.
- CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da; ROCHA, de M. R. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v.5, n.2, p.110-116, 2000.
- CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; LIMA, M. G. Clima e aspectos de plantio. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no meio-norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p.49-88.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamento entre linhas e densidade de plantas sob regime de sequeiro. **Ciência Agrônômica**, v. 37, p. 102-105, 2006.
- CENTRAL SOIL SALINITY RESEARCH INSTITUTE. Use of poor quality water. In: _____. **Reclamation and management of salt-affected soils**. – Karnal (Haryana) Índia, 2004. p.91-121.
- CERQUEIRA, E. C.; CASTRO NETO, M. T. de.; PEIXOTO, C. P.; SOARES FILHO, W. dos S.; LEDO, C. A. da S.; OLIVEIRA, J. G. de. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 26, n. 3, p. 515-519, 2004.
- CHIESA, A. Tolerancia a la salinidad de cultivares de tomatera durante la germinación. **Investigation Agronomy: Production Vegetal**, v.8, p.341-349, 1993.
- CORDEIRO, G. G.; BARRETO, A. N.; GARRI, A. C. R. C. **Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do projeto de irrigação de São Gonçalo (2ª parte)**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 1988. 57p.
- CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. da S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila *a* em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 4, p. 514-521, 2009.
- DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. S. N.; ANDRADE, S. I. O.; SALES, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DAVIES, W. J, ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 42, p. 55–76, 1991.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 129-141.

DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; DUARTE, S. N. **Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 2003. 118p. Série Didática, 13.

DUTRA, W. F.; OLIVEIRA, I. M. de; DUTRA, A. F.; SANTOS, E. E. S.; MELO, A. S. de. Crescimento inicial de genótipos de feijão-caupi cultivados sob estresse hídrico. *In*: III CONAC, Congresso Nacional de Feijão-caupi, 2013, Recife. Feijão-caupi como alternativa sustentável dos sistemas produtivos familiares e empresariais - **Anais...** Recife: Instituto Agrônomico de Pernambuco, 2013. CD-ROM.

EHLERS, J.D.; HALL, A.E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Field Crops Research**, n.53, p.187-204, 1997.

EMBRAPA. **Feijão-Caupi – Biologia floral**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2007. (Embrapa Meio Norte. Folder).

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2014): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2015. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

ENGLISH, M. Irrigation advisory services for optimum use of limited water. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ON IRRIGATION ADVISORY SERVICES AND PARTICIPATORY EXTENSION IN IRRIGATION MANAGEMENT, 2002, Montreal. **Anais**. Montreal: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/docs/ias/paper23.pdf>>. Acesso em: 17 Jan. 2014.

ENGLISH, M.J.; NUSS, G.S. Designing for deficit irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.108, p.91-106, 1982.

FAÇANHA, A. R.; MEIS, L. de. Reversibility of H⁺ - ATPase and H⁺ - Pyrophosphatase in Tonoplast Vesicles from Maize Coleoptiles and Seeds. **Plant Physiol**, v. 116, p. 1487–1495, 1998.

FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W. dos S.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. *In*: GHEYI, H.R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicativos**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. Cap.13, p.205-218.

FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FARIS, D.G. The chromosomes of *Vigna sinensis* (L.) Savi. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, v.6, p.255-258, 1964.

FAVER, K. L.; GERIK, T. J.; THAXTON, P. M. et al. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, Madison, v.36, p.922-928, 1996.

FERNANDES, F. R. B.; ALMEIDA, W. S. de; PINHEIRO, M. S; SANTOS, E. O. dos; BERTINI, C. H. C. de. Avaliação de genótipos de feijão-caupi sobre estresse salino provocado pela mistura de sais durante a fase de crescimento vegetativo. In: III CONAC, Congresso Nacional de Feijão-caupi, 2013, Recife. Feijão-caupi como alternativa sustentável dos sistemas produtivos familiares e empresariais - **Anais...** Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2013. CD-ROM.

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

FREIRE FILHO, F. R. (Ed.). **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.

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

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 27-92

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, A. A. Cultivares de caupi para região Meio-Norte do Brasil. Teresina: Embrapa-CPAMN, 2000. p. 67-88. (Embrapa-CPAMN, Circular Técnica, 28).

FREITAS, R. M. O. de. **Crescimento e produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2012. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Área de Concentração: Agricultura tropical, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

FREITAS, V. S.; ALENCAR, N. L. M.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in physiological and biochemical indicators associated with salt tolerance in cotton, sorghum and cowpea. **African Journal of Biochemistry Research**, v.5, n.8, p.264-271, 2011.

FROTA, A. A. A.; PEREIRA, P. R. Caracterização do feijão-caupi na região meionorte do Brasil. CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no meio-norte do Brasil**. EMBRAPA Meio-Norte, 2000. 264p. (Circular Técnica, 28).

FROTA, K. de M. G; SOARES, R. A. M; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.

GARCIA, G. de O.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. **Engenharia na agricultura**, v.18, n.4, 330-338 p., 2010.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. 472 p.

GRATTAN, S. R.; SHENNAN, C.; MAY, D. M.; MITCHELL, J. P.; BURAU, R. G. Using drainage water for irrigation of melons and tomatoes. **California Agriculture**, v.41, p.27-28, 1987.

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

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, n.3, p.463-499, 2000.

HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G. Introduction. *In*: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R. L. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2007. cap.1, p.1-32. ASABE Monograph, 3

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C. Qualidade da água para irrigação. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 43-61.

IMRAN, M.; QAMAR, I. A.; MUHAMMAD, S.; MAHMOOD, I. A.; CHATHHA, M. R.; GUMANI, Z. A.; ANJUM, A. S.; SHAHID, M. N. Comparison of different cowpea varieties/lines for green fodder and grain yield under rainfed conditions of Islamabad. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 28, n. 1, p. 41-46, 2012.

ISMAIL, A. M.; HALL, A. E.; BRAY, E. A. Drought and pot size effects on transpiration efficiency and carbon isotope discrimination of a cowpea accessions and hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, n.1, p.23-35, 1994.

JESCHKE, W. D. K^+ - Na^+ exchanges in cellular membranes, intracellular compartmentation of cations, and salt tolerance. *In*: STAPLES, R. C.; TOENNIESSEN, G. H. eds, **Salinity Tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement**. John Wiley & Sons, New York., p. 37-66, 1984.

KHAN, M. A.; WEBER, D. J. **Ecophysiology of high salinity tolerant plants**. Amsterdam: Springer, 2006. 325p.

KHATUN, S.; FLOWERS, T. J. Effects of salinity on seed set in rice. **Plant Cell Environ**, 18, p. 61-67. 1995.

LACERDA, C. F. de; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA,

C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 303-317.

LACERDA, C. F. de; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B.; PRISCO, J. T., GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v.29, p.221-230, 2009.

LEITE, M. de L.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 10, n. 01, p. 43-51, 2004.

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

LIMA JÚNIOR, J. A. de; SILVA, A. L. P. da. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, p.1-21, 2010.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014.

LIU, J.; ZHU, J. K. An *Arabidopsis* mutant that requires increased calcium for potassium nutrition and salt tolerance. **Proc Natl Acad Sci, USA**, 94, p. 14960–14964. 1997.

LOCATELLI, V. da E. R.; MEDEIROS, R. D. de; SMIDERLE, O. J.; ALBUQUERQUE, J. de A. A. de; ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. S. de. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.574–580, 2014.

LU, C.; QIU, N.; LU, Q.; WANG, B.; KUANG, T. Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoor. **Plant Science**, v. 163, p. 1063-1068, 2002.

MAAS, E. V. Crop tolerance to saline sprinkling water. **Plant and Soil**, n.89, p.273-84, 1985.

MAAS, E. V. Salt tolerance in plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1986.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, n.2, p.115-134, 1977.

MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K⁺ Nutrition and Na⁺ Toxicity: Basis of Cellular K⁺/Na⁺ Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, p. 123-133, 1999.

MARECHAL, R.; MASCHERPA, J. M.; STAINIER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données

morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, n.28, p.1-273, 1978.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 4 ed. London: Academic Press, 1990. 674p.

MATOS FILHO, C. H. A.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. de A.; NUNES, J. A. R. Herança de caracteres relacionados à arquitetura da planta em feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.44, n.4, 2014.

MEDEIROS, J. F. de; DIAS, N. S.; BARROS, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, p.242-247, 2008.

MEDEIROS, J. F. de; GHEYI, H. R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de. (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 8, p. 239-284.

MEDEIROS, J. F. de; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, I. B. do. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p. 188-222.

MEDEIROS, J. F. de; LISBOA, R. de A.; OLIVEIRA, M. de. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.469-472, 2003.

MEDEIROS, J. F. de; NASCIMENTO, I. B. do; GHEYI, H. R. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 279-302.

MORAIS, F. A. de; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T. de; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011.

MOSTASSO, L.; MOSTASSO, F.L.; DIAS, B.G.; VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. Selection of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobial strains for the Brazilian Cerrados. **Field Crops Research**, 73:121-132, 2002.

MOUGET, J.; TREMBLIN, G. Suitability of the fluorescence monitoring system (FM, Hansatech) for measurement of photosynthetic characteristics in algae. **Aquatic Botany**, v. 74, n. 03, p. 219-231, 2002.

MOURA, R. F. de. **Efeitos das lâminas de lixiviação de recuperação do solo e da salinidade da água de irrigação sobre os componentes de produção e coeficiente de cultivo da beterraba**. Viçosa, 2000, 119p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell and Environment**, v.159, n.1, p.137-146, 2002.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bring them together. **New Phytologist**, v.143, p.645-663, 2005.
- MURILLO-AMADOR, B.; TROYO-DIEGUEZ, E.; GÁRCIA-HERNANDEZ, J. L.; LÓPEZ-AGULAR, R.; ÁVILA-SERRANO, N. Y.; ZAMORA-SALGADO, S.; RUEDA-PUENTE, E. O.; KAYA, C. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. **Revista Scientia Horticulturae**, v.108, p.423-431, 2006.
- MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. **Agricultural Water Management**, v.81, n.1, p.98-114, 2006.
- 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**, v.22, n.2, p.174-177, 2004.
- NASCIMENTO, R. do.; NASCIMENTO, D. A. M. do.; SILVA, D. A. da.; ALVES, A. G. Alterações nos teores de clorofilas em plantas de feijão-caupi cultivadas sob diferentes fontes de nitrogênio. **Revista Educação Agrícola Superior** - v.27, n.2, p.94-96, 2012.
- NASCIMENTO, S. P. do.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011.
- NEPOMUCENO, A. L. NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 4, n. 23, p. 12-18, 2001.
- NEVES, A. L. R. **Estratégias visando o uso sustentável de água salina em um ciclo de rotação cultural feijão-de-corda/girassol**. 2012. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- NG, N. Q.; MARECHAL, R. Cowpea taxonomy, origin germ plasm. In: SINCH, S. R.; RACHIE, K. O., eds. **Cowpea research, production and utilization**. Chichester: John Wiley, 1985. p.11-21.
- NIU, X.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M.; PARDO, J. M. Ion homeostasis in NaCl stress environments. **Plant Physiology**, v. 109, n. 3, p. 735-742, 1995.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V. de; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor nas folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, A. B. de; GOMES FILHO, E; ENÉAS FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11, 2010.

OLIVEIRA, A. E. S.; SIMEÃO, M.; MOUSINHO, F. E. P.; GOMES, R. L. F. Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **Holos**, ano 30, v. 1, 2014.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B .B.; MOHAN, R.; DASHIELL, K. E; JACKAI, L. E. N., eds. **Advances in Cowpea Research**. Tsukuba; IITA JIRCAS, 1997. p.1-12.

PARIDA, A. K., DAS, A. B., MITTRA, B., Effects of NaCl stress on the structure, pigment complex compoition and photosynthetic activity of mangrove *Bruguiera parviflora* chloroplasts. **Photosynthetica**, v. 41, p. 191–200, 2003.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. do N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PERCIVAL, G. C.; FRASER, G. A. Measurement of the salinity and freezing tolerance of *Crataegus* genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal Arboriculture**, v. 27, n. 05, p. 233-245, 2001.

PERCIVAL, G.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**. v. 29, n. 02, p. 61-65, 2003.

PEREIRA, F. A. de L. **Tolerância de cultivares de melão à salinidade**. Mossoró: UFERSA, 2010. 84p. (Dissertação Mestrado), 2010.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.31 n.3, p. 531-539, 2007.

PIMENTA, H. C. D.; AMARAL, X. S.; FERREIRA, D. de M. Diagnóstico do nível de qualidade de água e definição de critério de uso: um estudo de caso em uma lagoa natural em Natal-RN. **Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 320-337, 2012.

PIMENTEL, C. **A Relação da planta com a água**. Rio de Janeiro: UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 143-160.

REA, P. A, SANDERS, D. Tonoplast energization: two H⁺ pumps, one membrane. **Physiol Plant**, v. 71, p. 131–141, 1987.

- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 48).
- RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 12-19.
- 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**, v.39, p.615-623, 2004.
- RICHARDS, L. A. (ed.). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. USDA. **Agriculture Handbook**, 60
- ROCHA, M. de M.; CARVALHO, K. J. M. de; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. da S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 03, p. 270-275, 2009.
- ROGERS, M.E.; NOBLE, C.L. Variation in growth and ion accumulation between two selected populations of *Trifolium repens* L. differing in salt tolerance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.146, p.131-136, 1992.
- SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, n. 03, p. 407-421, 2004.
- SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, C. H. de.; SANTOS, M. do C. C. A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião cariri paraibano. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 214-222, 2009.
- SHALHEVET, J.; MORRIS, G. H.; SCROEDER, B. P. Root and shoot growth response to salinity in maize and soybean. **Agronomy Journal**, v.87, n.3, p.512-516, 1995.
- SILVA, F. L. B. da.; LACERDA, C. F. de.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G. de.; SOUSA, C. H. C. de.; FEERIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 304-317, 2013.
- SILVA, Í. N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B. de; OLIVEIRA, A. C. de. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.07, n. 03, p. 1 – 15, 2011.
- SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.29-36, 2011.
- SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. dos S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; SOUSA, C. E. S.; GÓES, G. B. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.593-605, 2008.

- SOUSA, A. E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; GHEYI, H. R.; LIMA NETO, M. C.; LACERDA, C. F. de.; SOARES, F. A. L. Trocas gasosas e conteúdo de carboidratos e compostos nitrogenados em pinhão-mansão irrigado com águas residuária e salina. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1428-1435, 2012.
- SOUSA, A. R. R. C. **Transformação genética de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) visando à introdução de genes de resistência a viroses**. 2013, 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013a.
- SOUSA, C. C. M. de. **Influência do estresse hídrico e da compactação do solo na associação nematoide, rizobactérias e fungos micorrízicos arbusculares**. 2013. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013b.
- SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidos à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.
- STEELE, W. M.; MEHRA, K. L. Structure, evolution and adaptation to farming system and environment in *Vigna*. In: SUMMERFIELD, D.R; BUNTING, A.H., eds. **Advances in Legume Science**. England: Royol Botanic Gardens, 1980. p.459-468.
- STEPPUHN, H. **Pre-irrigation of a severely-saline soil with in situ water to establish dry land oranges**. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, v.44, p.1543-1551, 2001.
- SUBBARAO, G. V.; JOHANSEN, C.; SLINKARD, A. E.; RAO, R. C. N.; SAXENA, N. P.; CHAUHA, Y. S. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Reviews in Plant Science**, v.14, p.469-529, 1995.
- SUMMERFIELD, R. J.; PATE, J. S.; ROBERTS, E. H.; WIEN, H. C. The physiology cowpea. In: SINGH, S.R.; RACHIE, K.O. (Eds.). **Cowpea research**, production and utilization. Chichester: John Wiley, 1985. p.66-101.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TÁVORA, F. J. A. F.; NOGUEIRA, S. L.; PINHO, J. L. N. de. Arranjo e população de plantas em cultivares de feijão-de-corda com diferentes características de copa. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 32, p. 69-77, 2001.
- TEÓFILO, E. M.; ALVES, A. U.; ALBUQUERQUE, I. C.; BRUNO, G. B. Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, p.443-448, 2008.
- TEÓFILO, E. M.; PAIVA, J. B.; MEDEIROS FILHO, S. Polinização artificial em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.25 n.1, p.220-223, 2001.

- TERCEIRO NETO, C. P. C.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de.; DIAS, N. da S.; CAMPOS, M. de S. Produtividade e qualidade de melão sob manejo com água de salinidade crescente. - **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 43, n. 4, p. 354-362, 2013.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, Oxford, v.91, p.503-527, 2003.
- TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G. de; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 02, p. 199-209, 2005.
- ULLAH, H.; CHEN, J. G.; TEMPLE, B.; BOYES, D. C.; ALONSO, J.M.; DAVIS, K.R.; ECKER, J. R.; JONES, A. M. The b-subunit of the Arabidopsis G protein negatively regulates auxin-induced cell division and affects multiple developmental processes. **Plant Cell**, 15, p. 393-409, 2003.
- WANDER, A. E. Produção e participação brasileira no mercado internacional de feijão-caupi. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2013, Recife. **Resumos...** Recife: III CONAC, 2013. Disponível em: < <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/206a.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. *In*: Reigosa, M.J.; Pedrol, N.; Sánchez, A. (eds). **La Ecofisiología Vegetal – Una ciencia de síntesis**. Madrid. Thomson. 2004. cap. 10, p. 303-330
- WILLADINO, L.; GOMES, E. W. F.; SILVA, E. F. F.; MARTINS, L. S. S.; CAMARA, T. R. Efeito do estresse salino em genótipos tetraplóides de bananeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.53-59, 2011.
- ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, p.441-445, 2003.

CAPÍTULO 2

CRESCIMENTO VEGETATIVO DO FEIJÃO-CAUPI E ALTERAÇÃO QUÍMICA DO SOLO CULTIVADO SOB SALINIDADE E DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

Objetivou-se, analisar o crescimento vegetativo de duas cultivares de feijão-caupi e as alterações químicas de um solo irrigado com água de diferentes salinidade e déficit hídrico. O experimento foi conduzido em vasos, a céu aberto, na área experimental da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, sob um delineamento estatístico de blocos ao acaso em parcelas subdivididas. Os dois regimes hídricos (parcelas) foram baseados pela evapotranspiração potencial da cultura (100 e 50% da ET_{pc}). Já os níveis de salinidade da água de irrigação (0,95; 2,45; 3,95; 5,45 e 6,95 dS m⁻¹) foram distribuídos nas subparcelas enquanto as cultivares (Epace 10 e BRS Itaim) nas subsubparcelas. Avaliaram-se a altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, massa seca da parte aérea, condutividade elétrica do solo, pH, cálcio, magnésio, potássio e sódio. O aumento da concentração de sais na água de irrigação reduziu a altura das plantas, o número de folhas, a massa seca da parte aérea e o pH da solução do solo, exceto para a condutividade elétrica do solo. Devido a ausência de lixiviação, o tratamento irrigado com uma lâmina de 50% da ET_{pc} mantém valores superiores da condutividade elétrica do solo e os teores de potássio no solo, propiciando redução na área foliar. A interação entre os níveis de salinidade e as cultivares demonstrou que a cultivar Epace 10 é mais tolerante às condições de manejo imposta.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L. Irrigação. Morfologia. Condutividade elétrica do solo.

CHAPTER 2

VEGETATIVE GROWTH COWPEA AND AMENDMENTS SOIL CHEMISTRY CULTIVATED UNDER SALINITY AND WATER DEFICIT

ABSTRACT

This study aimed to analyze the vegetative growth of two cowpea cultivars and chemical changes of a soil irrigated with water of different salinity and drought. The experiment was conducted in pots the open air, in the experimental area of the weather station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil under an experimental design of randomized blocks in split plots. The two water regimes (plots) were based on the potential crop evapotranspiration (100 and 50% of ET_{pc}). Already irrigation water salinity levels (0.95; 2.45; 3.95; 5.45 and 6.95 dS m⁻¹) were distributed in the subplots as cultivars (Epace 10 and BRS Itaim) in subsubplots. Evaluations of plant height, leaf number, stem diameter, leaf area, shoot dry weight, soil electrical conductivity, pH, calcium, magnesium, potassium and sodium. The increased concentration of salts in irrigation water reduced the plant height, number of leaves, dry weight of shoot and the pH of the soil solution, except for the electrical conductivity of the soil. Due to the absence of leaching, the irrigated treatment with a blade 50% of ET_{PC} maintains higher values of soil electrical conductivity and potassium levels in the soil, providing reduction in leaf area. The interaction between salinity levels and cultivars showed that cultivate Epace 10 is more tolerant to handling imposed.

Key words: *Vigna unguiculata* L. Irrigation. Morphology. Electrical conductivity of the soil.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), dada a grande expansão de seu cultivo, tem alcançado novos mercados e perspectivas de comercialização, exigindo assim de seus produtores, a aplicação de um manejo mais adequado para a garantia de um produto de qualidade e mais competitivo no mercado brasileiro. Apesar de ser considerado uma cultura de subsistência, o uso da irrigação tem sido uma prática recorrente no cultivo do feijão-caupi (FURTADO et al., 2013).

De acordo com Mousinho et al. (2008), a prática da irrigação garante a viabilidade econômica do cultivo dessa leguminosa, principalmente em regiões onde há baixa disponibilidade hídrica. No caso do Nordeste, com o uso dessa tecnologia, as produtividades obtidas têm sido muito boas. Entretanto o uso de água de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-planta, e à deficiência do sistema de drenagem tem causado sérios problemas de salinidade em áreas irrigadas (ASSÍS JÚNIOR et al., 2007).

O caupi é considerado altamente sensível (FREITAS et al., 2011), moderadamente sensível (MAAS; HOFFMAN, 1977) até moderadamente tolerante à salinidade (ASSIS JÚNIOR et al., 2007). É importante destacar, no entanto, que o efeito depressivo do estresse salino nesta cultura, irá depender do estágio fenológico da planta, da intensidade e duração do estresse e do manejo da irrigação (GHEYI; CORREIA; FERNANDES, 2005), como também da espécie vegetal que se está avaliando, pois, de acordo com Dantas et al. (2002), há casos em que indivíduos de um mesmo genótipo respondem diferentemente à ação de níveis crescentes de uma mesma fonte salina.

A concentração elevada de sais no solo, condiciona um ambiente hostil à maioria das plantas, prejudicando o comportamento vegetativo, pela ação direta sobre o potencial osmótico e íons potencialmente tóxicos (FREIRE; SOUZA; FREIRE, 2010). Assim, a inconveniência da sensibilidade das culturas aos sais da água e do solo, evidencia a necessidade de pesquisas que tenham como meta a obtenção de tecnologias viáveis para os produtores e que possam minimizar os efeitos deletérios da salinidade às plantas, já que é quase inevitável a utilização de águas salinas na agricultura em regiões semiáridas (DIAS, et al., 2015).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento vegetativo de duas cultivares de feijão-caupi e as alterações químicas de um solo cultivado sob níveis de salinidade da água de irrigação associados a dois regimes hídricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), no município de Fortaleza, estado do Ceará, com coordenadas geográficas 03°45'S, 38°33'W, altitude média 19 m, no período de Agosto de 2014 a Dezembro de 2014 (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área experimental. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw', tropical chuvoso, com temperaturas elevadas e com estação chuvosa predominante no outono. Os valores médios mensais das variáveis climáticas durante a condução do experimento, entre Agosto e Dezembro de 2014, encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 - Condições climáticas médias observadas durante o experimento. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016

Mês	Temperatura	Umidade	Velocidade do	Precipitação
	Média do Ar (°C)	Relativa (%)	Vento (m s ⁻¹)	
Agosto	26,8	68	4,0	10,5
Setembro	26,9	71	4,5	6,7
Outubro	27,4	68	4,5	6,6
Novembro	27,2	71	4,3	17,7
Dezembro	27,5	70	4,1	53,5

2.2 Material vegetal

Foram utilizadas duas cultivares de feijoeiro (Epace 10 e BRS Itaim), produzidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará e Embrapa Meio Norte.

2.2.1 Epace 10

Lançada em 1988 pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará - EPACE, a cultivar Epace 10 foi resultado da linha CNCx166-8E obtido a partir do cruzamento Seridó x TVu 1888, realizado no CNPAF/EMBRAPA. Apresenta ciclo de 65 a 75 dias, porte semirramador, flores de cor violeta e sementes de cor marrom, com produtividade média de 1.000 kg ha⁻¹ (SILVA, 2008). Na figura 2, podem-se visualizar detalhes desta cultivar.

Figura 2 – Fotos da cultivar Epace 10, sementes, flores, caule, folhas e da cultura cultivada em vasos. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



2.2.2 BRS Itaim

A cultivar BRS Itaim corresponde a linhagem MNC04-786B-87-2, obtida do cruzamento MNC04-786, realizado na Embrapa Meio Norte em 2004. Apresenta ciclo de 60 a 65 dias, porte ereto, flores de cor branca com leve pigmentação roxa, sementes de cor branca e coloração do hilo preta, com média de produtividade de grãos de 1.618 kg ha^{-1} . Na figura 3, pode-se visualizar detalhes desta cultivar (EMBRAPA, 2009).

Figura 3 – Fotos da cultivar BRS Itaim, sementes, flores, caule, folhas e da cultura cultivada em vasos. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



2.3 Descrição da área experimental

A área útil total ocupada com o feijão-caupi foi de $24,0 \times 3,0 \text{ m} = 72,0 \text{ m}^2$, onde foram instalados os 180 vasos plásticos, que possuíam volume de 15 litros, cada, sendo distribuídos no espaço de acordo com a Figura 4. Cada parcela, individualmente, ocupava uma área útil de $12,0 \text{ m}^2$, sendo composta por 30 vasos, distribuídos em cinco linhas de plantio. Já as subparcelas ocuparam, isoladamente, uma área útil de $2,4 \text{ m}^2$, sendo composta de seis vasos distribuídos por linha de plantio. E as subsubparcelas, com três vasos cada, ocuparam uma área útil de $1,2 \text{ m}^2$.

Figura 4 – Vista geral da área experimental. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



2.4 Instalação e condução do experimento

Inicialmente, antes da deposição do solo utilizado como substrato para o cultivo das plantas, depositou-se, ao fundo dos vasos, uma camada de brita nº1, para facilitar a livre drenagem do excedente hídrico, a qual, sequencialmente, foi preenchido revestida por uma manta, para evitar possíveis perdas de solo. Os vasos de material plástico flexível, com capacidade volumétrica de 15 L, possuíam orifícios na extremidade inferior, que objetivavam promover a remoção dos eventuais excessos de água.

Como substrato para o cultivo das plantas, foi utilizado uma amostra de Argiloso Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006), oriunda de uma área com vegetação nativa, localizada próximo a área experimental da estação agrometeorológica, do Departamento de Engenharia Agrícola, no município de Fortaleza, coletadas na profundidade de 0 – 0,20 m, cujos resultados estão expressos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Atributos físico hídricos do solo utilizado como substrato para o cultivo das plantas no experimento. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016

Camada	Composição granulométrica			Classe textural	Densidade		Umidade	
	Areia	Silte	Argila		Solo	Partículas	33 Kpa	1.500 Kpa
(m)	(g kg ⁻¹)			(-)	(g cm ⁻³)		(g /100g)	
0,00 – 0,20	785	76	139	Franco arenoso	1,49	2,55	7,51	4,77

Tabela 3 - Atributos químicos do solo utilizado como substrato para o cultivo das plantas no experimento. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016¹

Camada (m)	pH (Água) (-)	CE (dS m ⁻¹)	Complexo sortivo					
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺
			(cmol _c kg ⁻¹)					
0,00 – 0,20	4,2	0,17	0,70	0,60	0,15	0,06	3,14	0,95
Camada (m)	S (cmol _c kg ⁻¹)	T (%)	V (%)	PST (%)	M.O. (g kg ⁻¹)	P _{Assimilável} (mg kg ⁻¹)		
0,00 – 0,20	1,5	4,6	33	1,0	9,41	3		

¹pH – potencial hidrogeniônico, CE – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; S – soma de bases; T – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases; PST – percentagem de sódio trocável; M.O. – matéria orgânica.

Na sequência, procedeu-se com o preenchimento dos vasos, com um composto orgânico de húmus de minhoca na proporção de 2:1 (Figura 5).

Figura 5 – Detalhe da distribuição dos vasos preenchidos na área experimental. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



2.5 Adubação, semeadura e desbaste.

A aplicação dos fertilizantes químicos da fundação foi realizada, baseados na análise de solo e exigências nutricionais da cultura obedecendo às prescrições de Aquino *et al.* (1993). As quantidades necessárias de macronutrientes foram às seguintes: 20,00 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 80,00 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 30,00 kg ha⁻¹ de potássio (K), sendo utilizados como fontes a ureia, o fosfato monoamônio (MAP) e o cloreto de potássio, respectivamente. No entanto, por ocasião do plantio, aplicaram-se em sua totalidade, o equivalente a 15 e 5 g vaso⁻¹, apenas as quantidades referentes ao fosfato monoamônio (MAP) e o cloreto de

potássio. A aplicação da fonte ureia foi fracionada igualmente, e aplicado aos 15 e 30 DAP em cobertura, sendo a quantidade correspondente a 5 g vaso⁻¹.

Com o intuito de corrigir e, ou, evitar possíveis deficiências de micronutrientes, aplicou-se ainda, por ocasião do plantio, o equivalente a 10 g da formulação comercial FTE BR 12 [Cálcio (Ca): 7,1%; Enxofre (S): 5,7%; Boro (B): 1,8%; Cobre (Cu): 0,8%; Manganês (Mn): 2,0%; Molibdênio (Mo): 0,1% e Zinco (Zn): 9,0%].

O plantio foi feito semeando-se em média de três a quatro sementes por vaso. Aos 7 dias após a semeadura (DAS), observou-se uma germinação de aproximadamente 90%. No desbaste, realizado, manualmente, aos 10 DAS às plantas foram arrancadas rente ao solo, deixando-se duas plantas por vaso, de forma a se obter o estande de plantas almejado pelo experimento (Figura 6).

Figura 6 – Detalhe das duas plantas deixadas por vaso por ocasião do desbaste. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



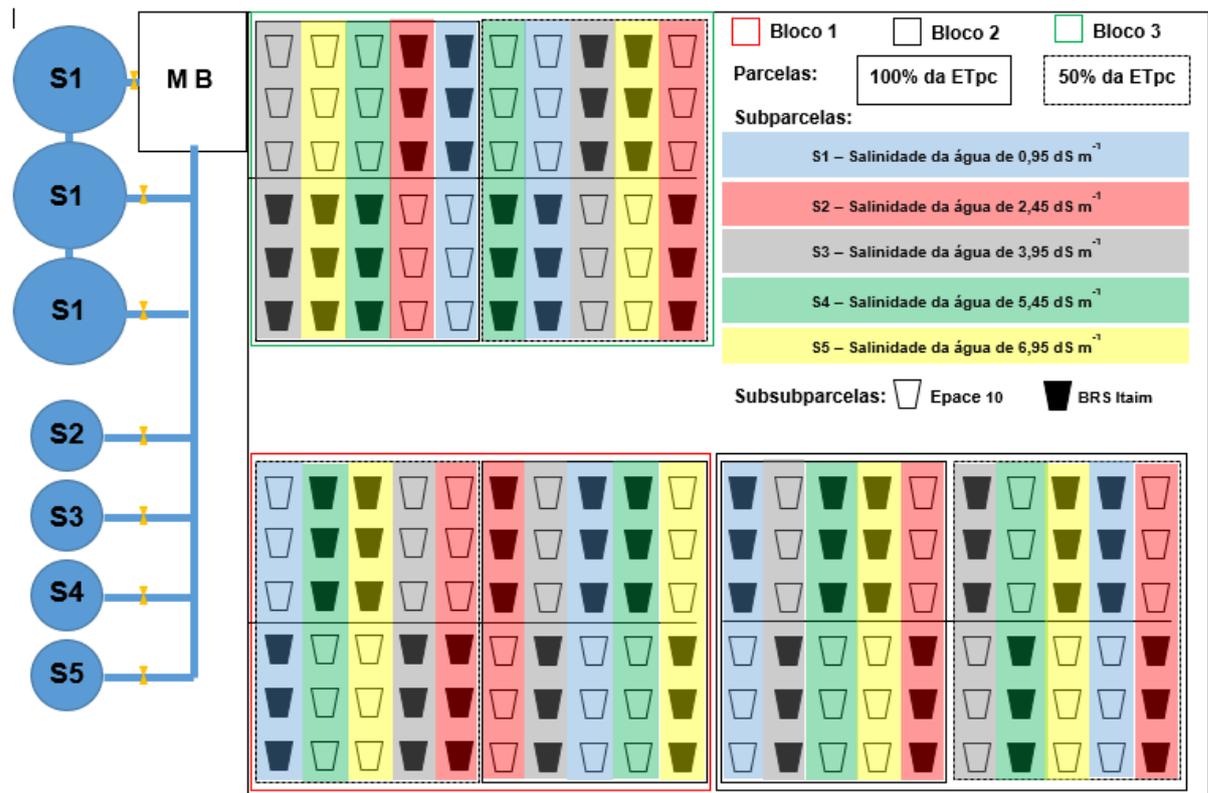
2.6 Delineamento experimental e composição dos tratamentos

O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso com parcelas subsubdivididas, onde os tratamentos de regime hídrico com 100 e 50% da ET_{pc} foram considerados as parcelas, já os níveis de salinidade ficaram distribuídos nas subparcelas, enquanto as cultivares alocaram-se nas subsubparcelas.

Os níveis de salinidade da água de irrigação definidos foram os correspondentes a: S1, nível de salinidade de $0,95 \text{ dS m}^{-1}$ (água proveniente de um poço freático, pertencente à Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará); S2, nível de salinidade de $2,45 \text{ dS m}^{-1}$; S3, nível de salinidade de $3,95 \text{ dS m}^{-1}$; S4, nível de salinidade de $5,45 \text{ dS m}^{-1}$; S5, nível de salinidade de $6,95 \text{ dS m}^{-1}$.

Cada parcela foi dividida em cinco subparcelas, onde foram distribuídos aleatoriamente os níveis de salinidade adotados acima. E dividindo-se as subparcelas, foram também distribuídos as cultivares (BRS Itaim e Epace 10) de acordo com o sorteio realizado, onde nos três primeiros vasos foram semeados uma das cultivares sorteada e nos outros três vasos restantes a outra cultivar. Na figura 7 pode ser visualizado o croqui da área experimental.

Figura 7 – Croqui da área experimental, destacando a disposição das unidades experimentais. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016



2.7 Sistema e manejo da irrigação

A água utilizada para abastecimento do sistema de irrigação era proveniente de um poço freático, pertencente à Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará. O resultado da análise da qualidade da água para fins de irrigação está apresentado na Tabela 4. Pelo resultado, constatou-se que a água em questão apresenta alta salinidade (C_3) e baixo conteúdo de sódio (S_1).

Tabela 4 – Resultados da análise de qualidade da água para fins de irrigação. Estação Agrometeorológica, Fortaleza, Ceará, 2016

Cátions ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)					Ânions ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)				
Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Σ	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Σ
1,3	3,1	4,5	0,4	9,3	5,2	-	4,3	-	9,5
CE (dS m^{-1})		RAS		pH		Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})		Classificação	
0,95		3,05		8,0		950		$C_3 S_1$	

Fonte: (SILVA, 2015).

Adotou-se o sistema de irrigação por gotejamento, utilizando-se emissores com vazão variável de até 10 L h^{-1} , os quais foram previamente avaliados em campo, sob condições normais de operação, conforme a metodologia descrita por Keller e Karmelli (1975). Na ocasião, o sistema de irrigação foi testado adotando-se uma vazão nominal de 2 L h^{-1} , cujo coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) apresentado foi de aproximadamente 90%.

O método de manejo de irrigação adotado foi via clima. Para a determinação da evapotranspiração potencial da cultura – ET_{pc} , adotou-se a metodologia proposta por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), onde, primeiramente, procedeu-se a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o).

Para a determinação da estimativa diária da evapotranspiração de referência – E_{to} foi utilizado um tanque evaporímetro do tipo Classe A, localizado nas imediações da área experimental, pertencente à estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, nos quais as leituras eram aferidas diariamente às 9 h.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada através da equação 1 (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006):

$$ET_o = ECA \cdot Kt \quad (1)$$

em que,

ET_o - Evapotranspiração de referência estimada através do Tanque Classe “A” (mm);
 ECA - Evaporação medida através do Tanque Classe “A” (mm);
 K_t - Coeficiente de ajuste do tanque (adimensional).

Para a obtenção do (k_p), foi utilizada a equação proposta por SNYDER (1992), apresentada abaixo:

$$K_t = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376U + 0,0045UR \quad (2)$$

em que:

F - Distância do centro do tanque ao limite da bordadura (tanque circundado por grama a 10 m);
 U - Velocidade média do vento a 2 m de altura (km dia⁻¹);
 UR - Umidade relativa média do ar (%).

Os dados climáticos necessários para o cálculo do (K_t) foram obtidos mediante a média aritmética dos últimos cinco anos, para os meses nos quais o experimento foi conduzido, sendo coletados em uma estação meteorológica automatizada, localizada nas imediações da área experimental.

A evapotranspiração potencial da cultura foi estimada (ET_{pc}), através da equação 3, mediante a multiplicação da evapotranspiração de referência e o coeficiente da cultura (K_c), segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006).

$$ET_{pc} = ET_o \cdot K_c \quad (3)$$

em que,

ET_{pc} - Evapotranspiração potencial da cultura (mm);
 ET_o – Evapotranspiração de referência estimada através do Tanque Classe “A” (mm);
 K_c - Coeficientes de cultivo.

Foi adotado os coeficientes de cultivo (K_c) igual a 0,70 (até 12 dias após o plantio, DAP); 0,81 (de 13 a 33 DAP); 1,2 (de 34 a 54 DAP) e 0,77 (de 55 DAP ao final do ciclo), conforme o proposto por Sousa, Bezerra e Teófilo (2005).

Já o tempo de irrigação, utilizado foi calculado a partir da equação 4:

$$T_1 = \frac{ETpc \cdot A_v}{CUD \cdot q_g} \quad (4)$$

em que,

T_1 - Tempo de irrigação (h);

ETpc - Evapotranspiração potencial da cultura (mm);

A_v - Área do vaso (m^2) (0, 0706 m^2);

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação (Valor obtido em avaliação, CUD = 0,90);

q_g - Vazão do gotejador, $L h^{-1}$ ($q_g = 2 L h^{-1}$);

Após o plantio das sementes de feijão-caupi, o experimento foi irrigado diariamente com uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração potencial da cultura – ETpc, a fim de garantir o estabelecimento inicial da cultura, até o início da diferenciação dos tratamentos, que se deu aos 10 dias após o plantio – DAP, mediante a variação dos níveis de salinidade da água de irrigação.

Após a imposição dos tratamentos de salinidade da água de irrigação o experimento passou a ser irrigado com uma frequência equivalente há dois dias consecutivos.

2.8 Concentrações de sais na água de irrigação

A água salina utilizada nas irrigações era proveniente de um poço freático, pertencente à Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, sendo armazenada em reservatórios com capacidade de 310 L. A quantidade dos sais NaCl, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, utilizadas no preparo das águas de irrigação foi determinada de forma a se obter a CEa desejada na proporção 7:2:1 obedecendo a relação entre CEa e sua concentração ($mmol_c L^{-1} = CE \times 10$), conforme (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000).

2.9 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Durante a realização do experimento, procederam-se com todos os tratamentos culturais e fitossanitários necessários. As espécies daninhas que eventualmente ocorreram nos vasos foram eliminadas manualmente, a fim de evitar a competição por água e nutrientes das

mesmas com as plantas de feijoeiro. Para o controle do pulgão, foi utilizado o defensivo Vertimec®, na proporção de 1,5 mL por Litro de água.

2.10 Variáveis analisadas

2.10.1 Variáveis de crescimento

Aos 45 dias após o plantio - DAP, a fim de mensurar os efeitos dos diferentes tratamentos sobre as características morfológicas das cultivares de feijão-caupi foram determinadas as seguintes variáveis: altura das plantas, considerada a distância entre o colo da planta e a emissão da folha mais nova, aferida por meio de trena graduada, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em cm; diâmetro do caule, obtido pela medição a uma distância de aproximadamente 3 centímetros do colo da planta, sendo aferido por meio de paquímetro digital, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em mm; número de folhas, obtido pela contagem manual a partir da folha nº 1 a partir do ápice, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em unidades; área foliar, obtido através da utilização de um integrador de área (LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA), sendo o valor correspondente a média aritmética de duas plantas amostradas, expresso em $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$. A produção de massa seca da parte aérea foi realizada por meio do arranquio das plantas, onde as folhas e caules foram acondicionadas em sacos de papel e, em seguida, colocadas para secar em estufa a 60 °C, até atingirem valor constante de matéria seca. O valor foi correspondente a média aritmética de duas plantas amostradas, sendo expresso em g planta^{-1} .

2.10.2 Atributos químicos do solo

Após o término do ciclo da cultura, foram coletadas amostras simples deformadas de solo, de cada unidade experimental. O material foi acondicionado em sacos de polietileno etiquetados e enviado para o Laboratório de Solos e Água para Irrigação pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *Campus* Sobral. Os atributos químicos do solo analisados foram: Condutividade elétrica do solo, pH da solução do solo e teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio no solo.

2.11 Análises estatísticas

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade.

Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se optar por aquele modelo matemático que melhor se ajustou aos dados do experimento, tendo em vista os coeficientes de determinação R^2 , o valor do teste F da análise de variância e os aspectos relacionados ao comportamento biológico dos processos, utilizando-se, para isso, o software para análises estatísticas Assistat 7.7 beta, auxiliado pelo software Microsoft Office Excel 2007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis de crescimento

Na Tabela 5 verifica-se que todas as variáveis de crescimento foram afetadas significativamente pelos fatores estudados (regime hídrico, salinidade e cultivares); para os tratamentos que não apresentaram significância entre as interações dos fatores analisados (altura das plantas e produção de massa seca da parte aérea), os resultados foram apresentados através da análise isolada dos fatores.

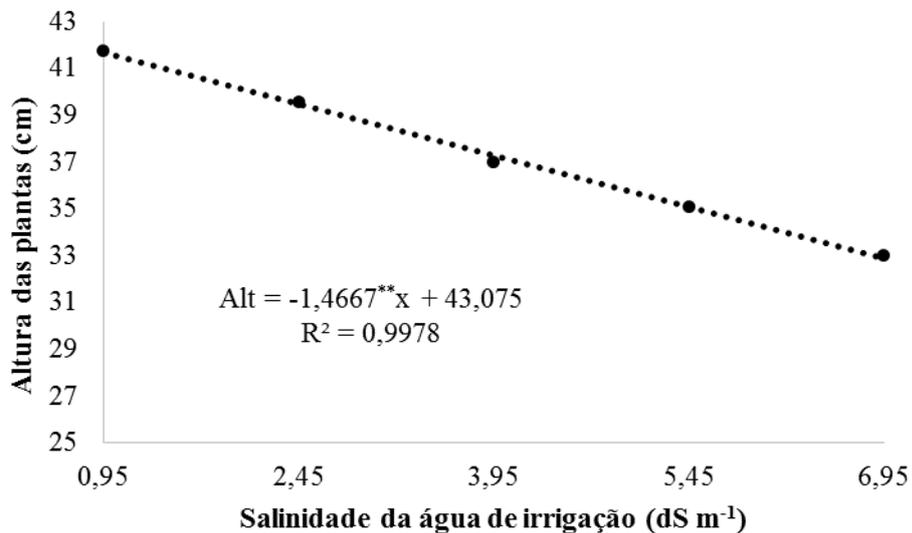
Tabela 5 - Resumo das análises das variâncias para os dados de altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar e massa seca da parte aérea do feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

FV	GL	Quadrados Médios				
		Alt	ϕ_c	N _f	A _F	MSPA
Blocos	2	14,46 ^{ns}	0,14 ^{ns}	5,55 ^{ns}	70375,6 ^{ns}	9,01 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	0,01 ^{ns}	6,52 [*]	8,06 ^{ns}	595845,2 [*]	87,8 ^{ns}
Resíduo - A	2	6,66	0,08	14,71	8150,5	25,0
Parcelas	5					
Salinidade (B)	4	145,5 ^{**}	21,7 ^{**}	149,8 ^{**}	3308411,1 ^{**}	351,9 ^{**}
Interação - A x B	4	4,64 ^{ns}	0,04 [*]	2,27 ^{ns}	11823,8 ^{ns}	3,29 ^{ns}
Resíduo - B	16	14,04	0,44	10,59	25227,1	8,95
Subparcelas	29					
Cultivares (C)	1	277,3 ^{**}	1,24 [*]	26,66 ^{**}	359335,7 ^{**}	82,1 [*]
Interação - A x C	1	36,81 ^{ns}	1,46 [*]	0,01 ^{**}	56088,0 ^{ns}	8,08 ^{ns}
Interação - B x C	4	5,97 ^{ns}	1,30 ^{**}	4,45 ^{ns}	62400,2 [*]	6,49 ^{ns}
Interação - A x B x C	4	3,19 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,54 ^{ns}	29357,8 ^{ns}	1,23 ^{ns}
Resíduo - C	20	11,58	0,25	2,66	21443,1	11,62
Total	59					
C.V - A (%)		6,93	3,40	39,55	9,97	14,63
C.V - B (%)		10,05	7,86	33,55	17,53	8,75
C.V - C (%)		9,13	5,98	16,83	16,17	9,97

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; Alt: Altura das plantas; ϕ_c : diâmetro de caule; N_f: número de folha; A_F: área foliar; MSPA: matéria seca da parte aérea; (*) Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ^{ns}: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

Na Figura 8, observa-se um decréscimo na altura das plantas mediante o aumento nos níveis de salinidade da água de irrigação, onde, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados desta variável foi do tipo linear ($R^2 = 0,9978$), revelando uma diferença percentual de 21,1% entre os tratamentos de menor salinidade ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior salinidade da água de irrigação ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$). Esses resultados estão em conformidade com os obtidos por Lima et al. (2007), os quais observaram diminuição na altura do feijoeiro *Vigna* em cerca de 42,8% nas plantas irrigadas com água contendo salinidade de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, em comparação com o tratamento testemunha.

Figura 8 – Altura das plantas de feijoeiro caupi em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016

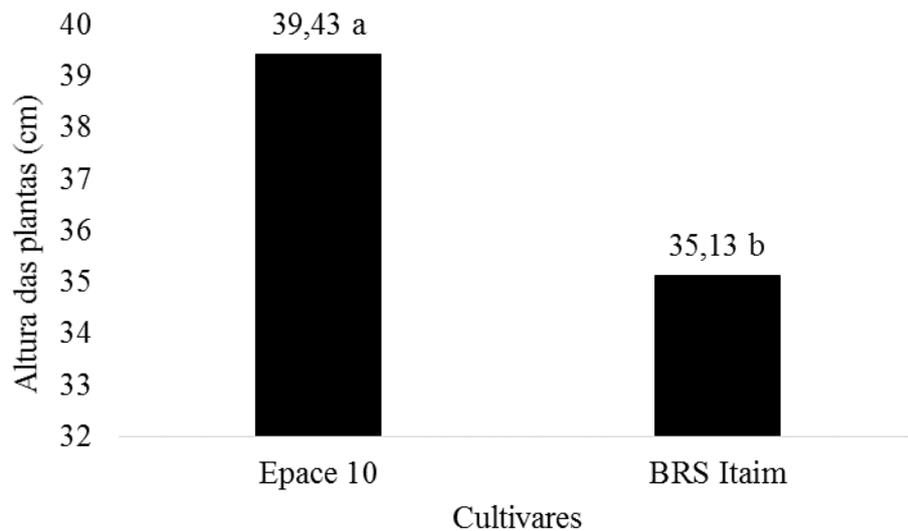


Para as cultivares, a maior altura do feijoeiro foi observada para a Epace 10 (39,43 cm), enquanto a cultivar BRS Itaim apresentou 35,13 cm de altura (Figura 9). Resultados semelhantes foram apresentados por Garcia et al. (2010), que avaliando as respostas de 30 genótipos de feijoeiro à salinidade, constataram que a salinidade afetou significativamente o crescimento de todos os genótipos estudados, sendo que o genótipo Serrano se destacou em relação aos demais genótipos, por apresentar maiores valores de altura das plantas. Já Dutra et al. (2013) avaliando a altura das plantas de três genótipos de feijão-caupi (BRS Aracé; BR17 Gurgéia; BRS Marataoã) sob quatro níveis de reposição hídrica (40, 60, 80 e 100 % da E_{To}), constatou influência significativa sobre esta variável.

É importante salientar que as diferenças observadas entre os resultados podem ser devidas ao nível de estresses (salino ou hídrico), à diversidade das condições edafoclimáticas

do local em que o estudo foi conduzido e à capacidade de adaptação as essas condições, intrínseca a cada cultivar.

Figura 9 – Altura das plantas de cultivares de feijão-caupi (Epace 10 e BRS Itaim), associadas ao manejo da irrigação com água de diferentes salinidades e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016



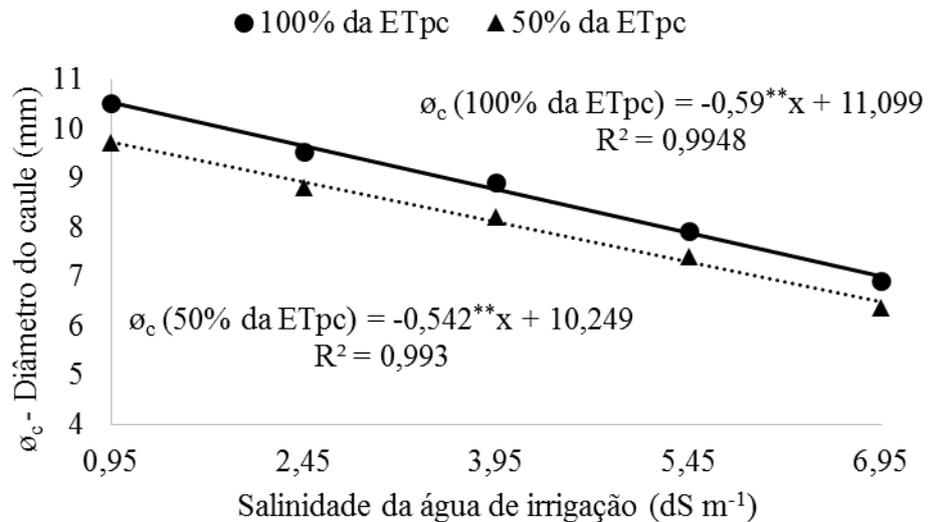
Os resultados discurridos na literatura quanto as respostas da variável altura de plantas são divergentes, sendo que, em algumas pesquisas os genótipos apresentaram redução da estatura de planta devido ao fato do estresse hídrico ou salino, reduzir o turgor das células e, conseqüentemente, o seu crescimento (COSTA; PINHO; PARRY, 2008), porém, em outros trabalho, ocorre um aumento, quando submetidos ao estresse hídrico ou salino, consequência do estiolamento das plantas quando submetidas a essas condições (AGUIAR et al., 2008), no entanto, aqueles genótipos que apresentaram redução na altura, possivelmente, não possuem atributos de tolerância ao estresse hídrico e/ou salino.

Na figura 10, observa-se um decréscimo no diâmetro do caule em função das diferentes concentrações de sais na água de irrigação, para os regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc}, sendo a equação que melhor representou a resposta das plantas foi do tipo linear ($R^2=0,9930$ e $R^2=0,9948$), respectivamente. Similarmente, Sousa et al. (2015) também constataram uma redução no diâmetro do caule nos mesmos regimes hídricos adotados nesta pesquisa.

A redução do diâmetro do caule das plantas nos dois regimes hídricos (50% e 100% da ET_{pc}), evidência uma resposta da cultura do feijoeiro ao estresse hídrico e salino, como forma de garantir a absorção de água do solo para manter, parcialmente, a atividade

fisiológica das plantas. Com a redução no diâmetro do caule a cultura procurou desenvolver um mecanismo de adaptação à situação adversa, permitindo mesmo que em baixas proporções a extração da água no solo (GARCIA et al., 2009).

Figura 10 – Diâmetro do caule (σ_c) de feijão-caupi em regimes hídricos de 50% da ETpc (\blacktriangle) e 100% da ETpc (\bullet), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Os valores médios de diâmetro do caule para as cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim, sob os regimes hídricos de 100% e 50% da ETpc, encontram-se expressos na Tabela 6. Observa-se que entre as cultivares estudadas, a maior média observada foi para a cultivar Epace 10 (9,07 mm) irrigada com uma lâmina de 100% da ETpc, superando em 7,08% a cultivar BRS Itaim (8,47 mm), neste mesmo regime hídrico. Corroborando com os resultados apresentados por Vale et al. (2012) que, avaliando a tolerância ao déficit hídrico em nove genótipos de feijão, constatou que a cultivar IPR Chopim apresentou maior valor médio de diâmetro do caule entre os genótipos avaliados. Os autores afirmam ainda que esta variável é de grande importância para a arquitetura da planta, visto que caules espessos e rígidos podem evitar o acamamento.

Tabela 6 – Valores médios do diâmetro do caule (ϕ_c) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016^a

Regime Hídrico	Cultivares	
	Epace 10	BRS Itaim
50% da ET _{pc}	8,10 bA	8,12 bA
100% da ET _{pc}	9,07 aA	8,47 aB

^bDMS coluna = 0,3162; DMS linha = 0,3847

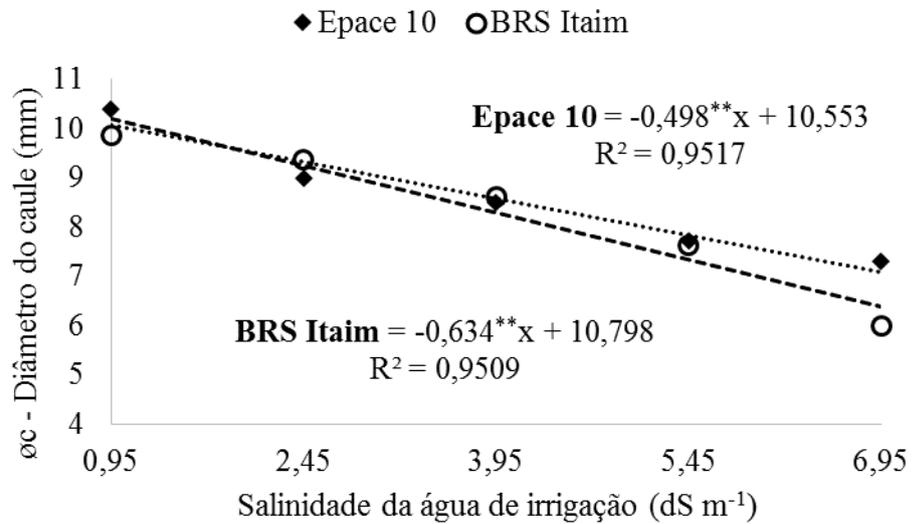
^a ϕ_c – Diâmetro do caule (mm); ^bDMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aguiar et al. (2008) afirmam que o feijoeiro não tem seu crescimento afetado quando a água disponível no solo é mantida acima de 50% da água disponível, já que mecanismos de escape e de tolerância são demandados para deficiências hídricas mais severas (JONGDEE et al., 2006). Além disso, Guimarães et al. (2011) afirmam que o melhor estado hídrico pode estar associado tanto a mecanismo de contenção excessiva de perda de água como ao de melhor eficiência de absorção de água.

Observa-se na Figura 11 que as cultivares Epace 10 e BRS Itaim proporcionaram um modelo linear decrescente para o diâmetro do caule (ϕ_c), com o aumento da salinidade da água de irrigação. Na cultivar Epace 10 a relação entre o menor (0,95 dS m⁻¹) e maior (6,95 dS m⁻¹) nível de salinidade, propiciou um decréscimo nesta variável de 29,66%, já para a cultivar BRS Itaim o decréscimo foi de 37,29%. Resultados semelhantes são apresentados por Silva et al. (2009) ao verificarem uma redução 34,69% do diâmetro do caule, cultivar ‘Quarentinha’.

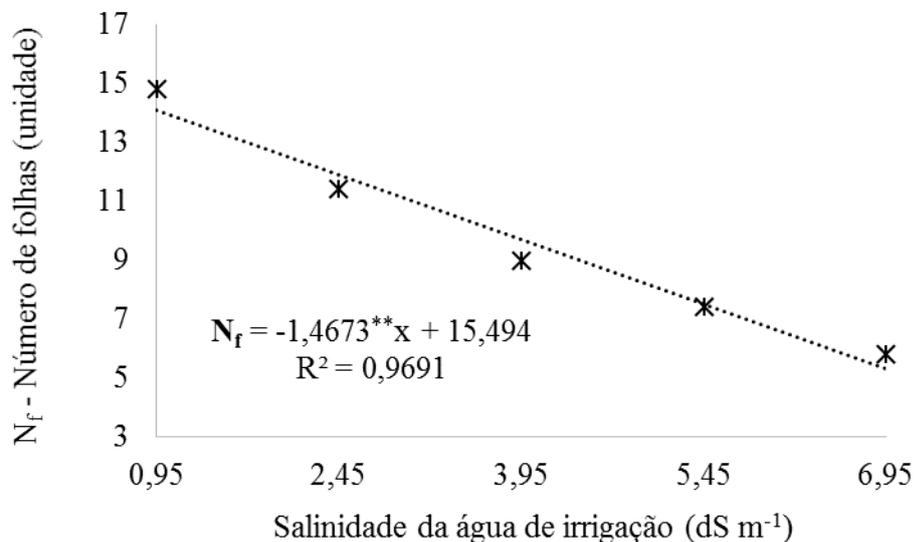
Andrade et al. (2013) trabalhando em casa de vegetação com a cultura do feijão-caupi (BRS-Potengi, BRS Pajeú e BRS-Guariba), verificaram decréscimos de 13,63; 22,46 e 16,62%, respectivamente, quando comparados os tratamentos de menor (0,6 dS m⁻¹) e maior (5,1 dS m⁻¹) nível salino.

Figura 11 – Diâmetro do caule (ϕ_c) do feijoeiro caupi, cultivar Epace 10 (◆) e BRS Itaim (○), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Analisando-se o efeito das diferentes concentrações de sais na água de irrigação, constatou-se redução no número de folhas (Figura 12), sendo a equação que melhor representou a resposta das plantas do tipo linear ($R^2=0,9691$). Comparando os níveis de maior e menor salinidade, constatou-se uma redução de 62,48%. Corroborando com os resultados de Lima et al. (2007) e Silva et al. (2009), ao constatarem, respectivamente, reduções de 48,7% e 41,95% com o aumento da concentração salina da água de irrigação no número de folhas do feijão-caupi.

Figura 12 – Número de folhas (N_f) do feijoeiro caupi em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



A diminuição no número de folhas no feijão caupi pode estar relacionada ao menor crescimento da planta devido à restrição no processo de absorção; como consequência, ocorre redução do fluxo de água no sentido solo-planta-atmosfera ocasionando alterações morfológicas e anatômicas na planta (COELHO et al., 2013).

Segundo Tester e Davenport (2003) este decréscimo, possivelmente, está relacionado com um dos mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino. A diminuição do número de folhas do feijão caupi sob condições de estresse salino é um mecanismo de extrema importância, para manutenção de elevado potencial hídrico na planta, obtido através da diminuição na transpiração.

Os valores médios do número de folhas para a interação entre as cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim e regimes hídricos de 100% e 50% da ETpc, encontram-se expressos na Tabela 7. Observa-se que entre as cultivares estudadas, a maior média observada foi para a cultivar Epace 10 (10,73 mm) irrigada com uma lâmina de 100% da ETpc, superando em 12,39% a cultivar BRS Itaim (9,40 mm), neste mesmo regime hídrico. Resultados semelhantes aos observados por Maia et al. (2013), que trabalhando com três cultivares de feijão-caupi (Seridó, Epace 10 e TVU-4552) submetidos à deficiência hídrica na fase vegetativa, em casa de vegetação, constataram que o genótipo Epace 10, apresentou o maior número de folhas por planta irrigadas sem estresse hídrico.

Tabela 7 – Valores médios do número de folhas (N_f) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016^a

Regime Hídrico	Cultivares	
	Epace 10	BRS Itaim
50% da ETpc	10,00 aA	8,67 aB
100% da ETpc	10,73 aA	9,40 aB

^bDMS coluna = 3,4255; DMS linha = 1,2438

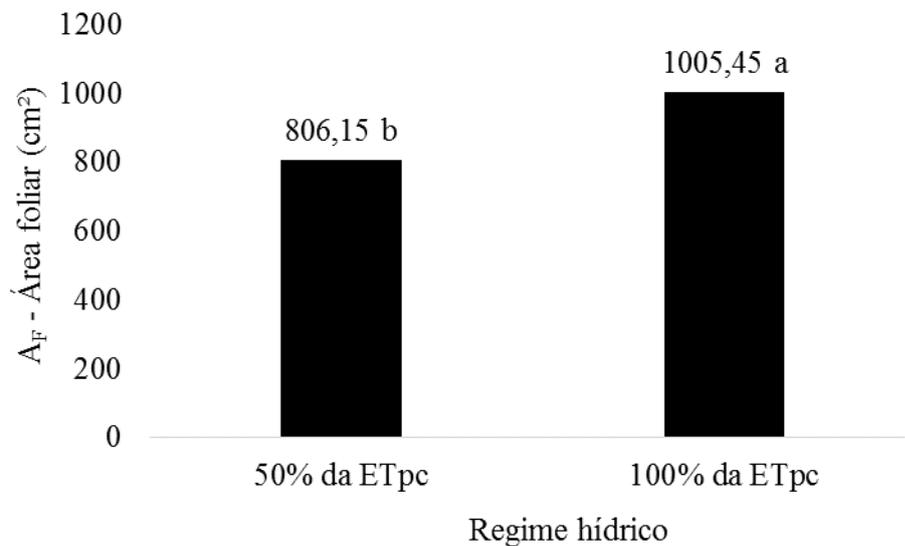
^a N_f – Número de folhas; ^bDMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A resposta da área foliar do feijoeiro caupi sob as lâminas de irrigação aplicadas de 50% e 100% da ETpc pode ser observada na Figura 13. O maior valor médio para a área foliar foi constatado sob um regime hídrico de 100% da ETpc, superando em 24,72% o valor encontrado sob um regime hídrico de 50% da ETpc. Resultados semelhantes ao apontados por Freitas et al. (2014), ao constatarem redução da área foliar da cultivar de feijão-caupi BRS

Guariba dada a paralisação da emissão de novas folhas nos tratamentos submetidos ao veranico.

Com número de folhas reduzidas, a planta transpira menos, conservando um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo, desta forma, a redução deste caractere pode ser considerado como uma linha de defesa contra o déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Figura 13 – Área foliar (A_F) do feijão-caupi irrigada sob regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc} . Fortaleza, Ceará, 2016

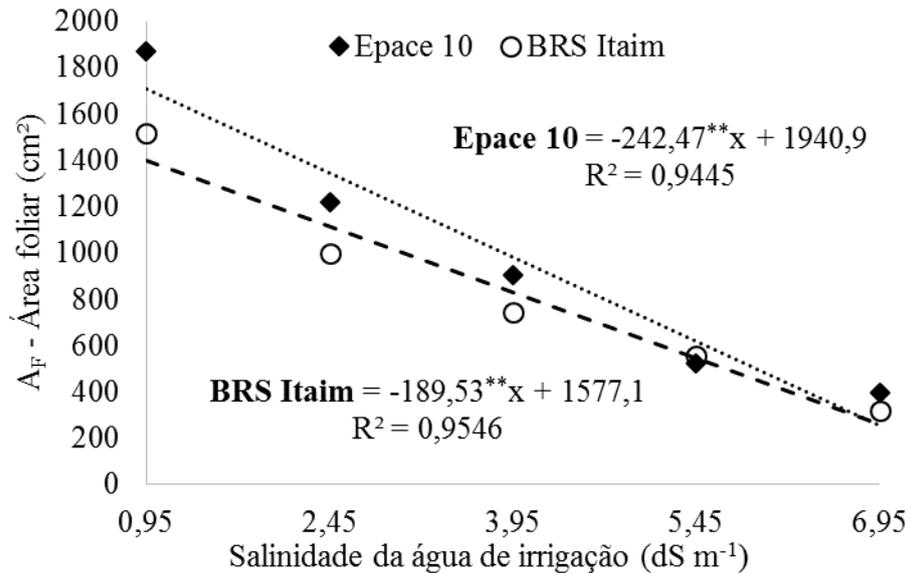


A relação entre as cultivares de feijão-caupi (Epace 10 e BRS Itaim) com o aumento da concentração de sais da água de irrigação proporcionaram um modelo linear decrescente para a área foliar desta cultura (Figura 14). Para a cultivar Epace 10 o decréscimo nesta variável foi de 85,05% na relação entre o maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) e menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) nível de salinidade, já a cultivar BRS Itaim o decréscimo foi da ordem de 81,39%. Resultados semelhantes são apresentados por Silva et al. (2009) ao verificarem uma redução 64,79% da área foliar, cultivar ‘Quarentinha’, entre as concentrações de sais na água de irrigação de $5,0$ e $0,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Provavelmente, a inibição da área foliar deve ter sido provocada, em maior parte, pelos efeitos tóxicos dos sais absorvidos pelas cultivares, pela baixa capacidade de ajustamento osmótico da cultura ou pela redução do potencial total da água provocado pelo aumento da concentração salina, gerando ainda um distúrbio fisiológico na planta e comprometendo a abertura dos estômatos (LARCHER, 2006). Confirmando essa informação,

Sousa et al. (2014), ao avaliar o estresse salino em feijoeiro, cultivar BRS Itaim, também constataram diminuição da área foliar.

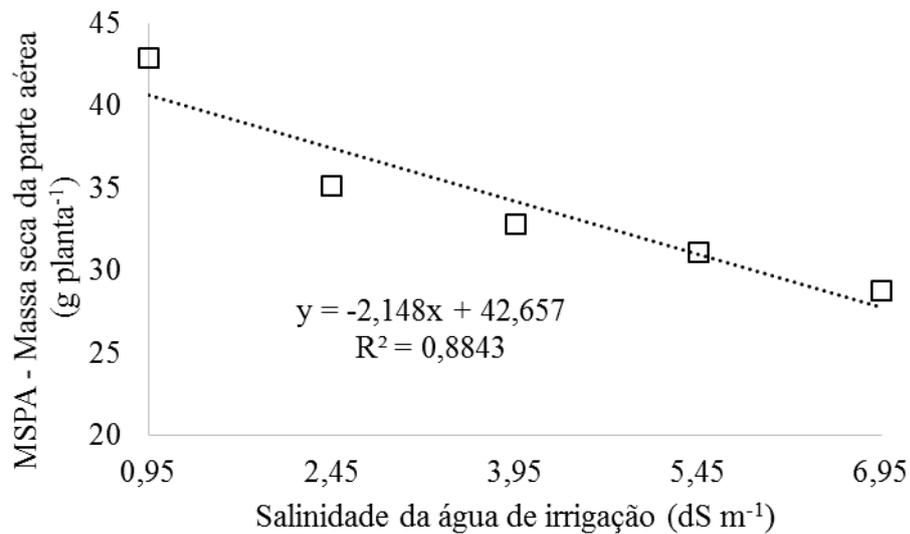
Figura 14 – Área foliar (A_F) do feijoeiro caupi, cultivar Epace 10 (◆) e BRS Itaim (○), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Analisando-se o efeito das diferentes concentrações de sais na água de irrigação, constatou-se redução na massa seca da parte aérea (Figura 15), sendo um modelo polinomial quadrático, a equação que melhor representou a resposta das plantas ($R^2=0,9661$). Esses resultados foram semelhantes aos evidenciados por Garcia et al. (2010), que também apresentaram um modelo do tipo quadrático nas respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade.

Na comparação entre o maior e menor nível de salinidade da água de irrigação, ocorreu em decréscimo da ordem de 30,49%. Para Lacerda et al. (2011), a redução da matéria seca da parte aérea em plantas de feijão-caupi irrigado com água salina está relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo; logo, a redução nos valores da matéria seca da parte aérea pode ser o reflexo do custo metabólico de energia.

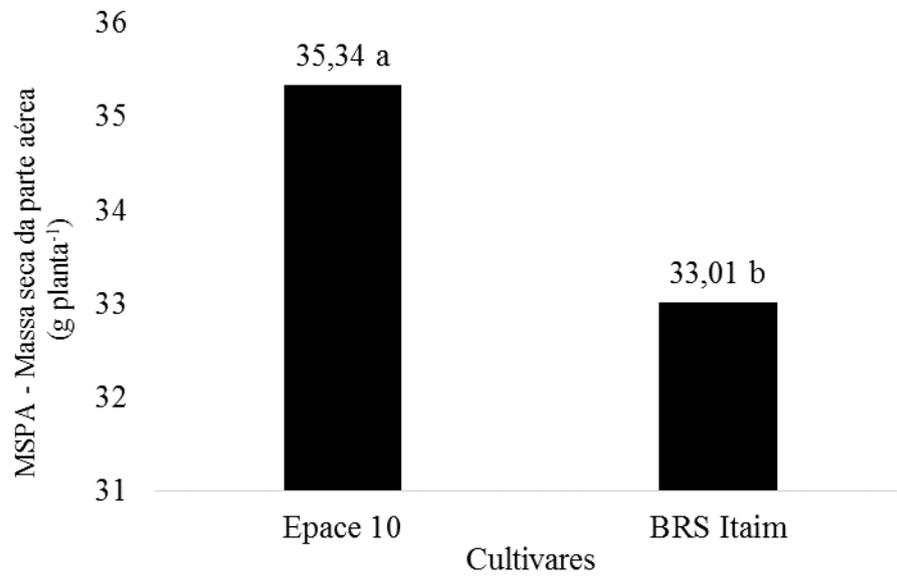
Figura 15 – Massa seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro caupi em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Na figura 16 pode-se observar os valores médios da massa seca da parte aérea das cultivares de feijão-caupi. A cultivar Epace 10 apresentou-se superior em 6,59% comparada a cultivar BRS Itaim. Garcia et al. (2010) avaliando a resposta de 30 genótipos de feijoeiro à salinidade também encontrou diferença na massa seca da parte aérea, onde os genótipos Serrano, Vagem riscada, Enxofre e Carioca apresentaram maiores valores em relação aos demais genótipos.

Os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito dos sais, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para avaliação do grau de estresse, bem como a capacidade da planta em tolerar o estresse salino (LARCHER, 2006). Portanto, as diferenças encontradas entre as cultivares na produção de matéria seca da parte aérea, provocadas pelo estresse salino e hídrico, são condizentes com o fato de que a salinidade e/ou déficit hídrico, além de reduzir a produção de biomassa total, pode também alterar a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (GREENWAY; MUNNS, 1980; SILVA et al., 2003). Os aumentos nas proporções fonte (folhas)/dreno (hastes) podem representar diferentes sensibilidades dos órgãos vegetativos ao estresse salino/hídrico ou os diferentes mecanismos de proteção que as plantas utilizam para as suas diferentes partes. Essas diferenças na partição de fotoassimilados podem também contribuir para a aclimação das plantas ao estresse, compensando a considerável redução na área foliar destinada à assimilação de C e aos aumentos no gasto metabólico necessário para ajustamento da planta ao estresse imposto (MUNNS, 2002).

Figura 16 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de cultivares de feijão-caupi (Epace 10 e BRS Itaim), associadas ao manejo da irrigação com água de diferentes salinidades e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016



3.2 Atributos químicos do solo

Verifica-se a partir da análise de variância que a condutividade elétrica do solo foi influenciada significativamente pelos fatores regime hídrico ($p \leq 0,05$), salinidade ($p \leq 0,01$) e cultivares ($p \leq 0,05$); já o pH, apresentou significância apenas para o fator salinidade ($p \leq 0,01$); o Potássio apresentou influência significativa para o fator regime hídrico ($p \leq 0,01$), enquanto o Cálcio, Magnésio, e Sódio não foram influenciados por nenhum dos fatores avaliados. Os atributos químicos do solo avaliados não apresentaram influência significativa na interação tripla entre os fatores estudados (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo das análises das variâncias para os dados de condutividade elétrica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio do solo cultivado com feijão-caupi sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

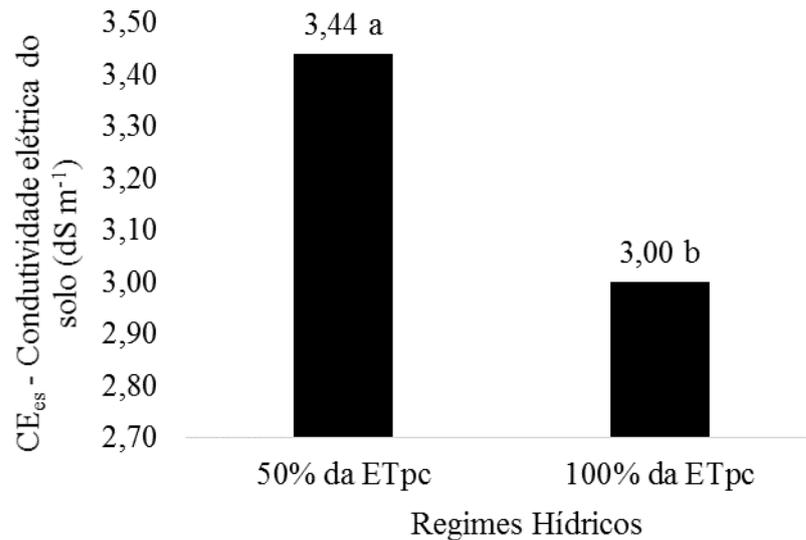
FV	GL	Quadrados Médios					
		CE _{es}	pH	Ca	Mg	K	Na
Blocos	2	1,88 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,81*	2445,3 ^{ns}	0,11 ^{ns}	67,96 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	2,91*	0,34 ^{ns}	1848,15 ^{ns}	6594,0 ^{ns}	1,22**	0,08 ^{ns}
Resíduo - A	2	0,11	0,05	523,95	1264,2	0,01	14,11
Parcelas	5						
Salinidade (B)	4	10,19**	0,44**	553,19 ^{ns}	611,5 ^{ns}	0,11 ^{ns}	50,38 ^{ns}
Inter. - A x B	4	0,51 ^{ns}	0,05 ^{ns}	308,02 ^{ns}	768,9 ^{ns}	0,15 ^{ns}	16,74 ^{ns}
Resíduo - B	16	0,94	0,06	186,01	715,4	0,08	18,16
Subparcelas	29						
Cultivares (C)	1	5,08*	0,06 ^{ns}	183,75 ^{ns}	252,1 ^{ns}	0,01 ^{ns}	4,09 ^{ns}
Inter. - A x C	1	0,38 ^{ns}	0,01 ^{ns}	114,82 ^{ns}	36,8 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,24 ^{ns}
Inter. - B x C	4	0,58 ^{ns}	0,17 ^{ns}	60,62 ^{ns}	152,8 ^{ns}	0,08 ^{ns}	21,32 ^{ns}
Inter. - A x B x C	4	1,52 ^{ns}	0,03 ^{ns}	87,52 ^{ns}	108,3 ^{ns}	0,07 ^{ns}	18,13 ^{ns}
Resíduo - C	20	0,71	0,09	196,31	418,6	0,08	9,97
Total	59						
C.V - A (%)		9,95	3,21	34,05	60,87	16,42	63,03
C.V - B (%)		30,25	3,41	20,29	45,79	57,46	71,49
C.V - C (%)		26,23	4,31	20,84	35,03	58,83	52,97

¹(*), significativo a 5% de probabilidade; (**), significativo a 1% de probabilidade, (^{ns}), não significativo pelo teste F.

Na figura 17 observa-se os valores médios da condutividade elétrica do solo sob os regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc}. O maior valor médio foi observado no

tratamento que recebeu uma lâmina de irrigação de 50% da ET_{pc}. Pode-se inferir que tal fato ocorreu devido à retenção dos sais da água de irrigação, uma vez que em tal condição, não foram observadas a lixiviação dos sais por meio da água percolada nos vasos. Resultados semelhantes são apresentados por Ferreira et al. (2006) ao constatarem aumento da condutividade elétrica do solo com a diminuição da fração de lixiviação.

Figura 17 – Condutividade elétrica do solo (CE_{es}) sob regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc}. Fortaleza, Ceará, 2016



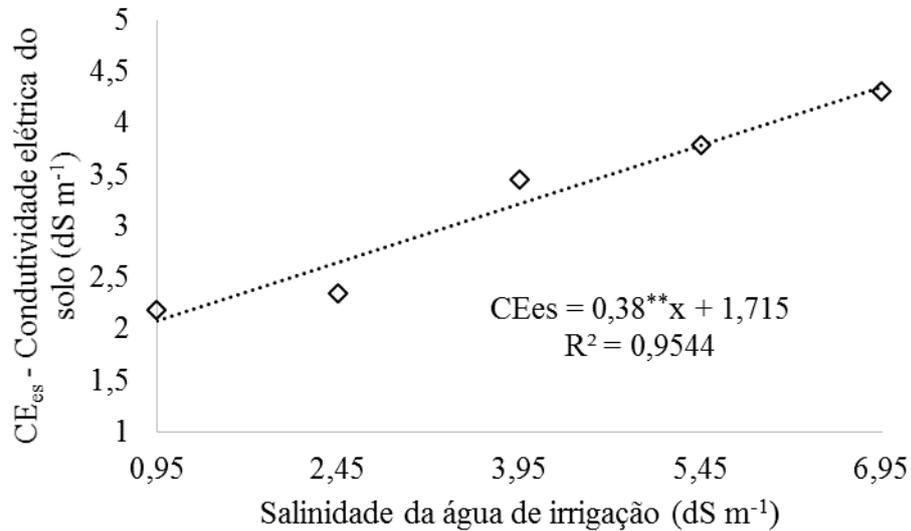
Holanda Filho et al. (2011) estudando os atributos químicos do solo, Latossolo Amarelo Eutrófico, irrigado com água salina em diferentes lâminas aplicadas (110, 120, 130, 140 e 150% da ET_{pc}), constataram aumento da salinidade na profundidade de 0-0,20 m, evidenciando que as lâminas de irrigação superiores à lâmina de evapotranspiração da cultura não foram suficientes para lixiviação dos sais.

Rhoades, Kandiah e Mashali (2000) alertam que a diminuição do potencial osmótico associada a frações de lixiviação pequenas e ao uso de águas de irrigação salinas, torna-se especialmente perigoso, porque o nível de “estresse crítico” do potencial total será alcançado mais rapidamente, principalmente para culturas sensíveis à salinidade.

O resultado obtido na lâmina de 100% da ET_{pc} deu-se, pelas maior lixiviação sobre o acúmulo de sais do solo. Pois, de acordo com Carvalho et al. (2012); Assis Júnior et al. (2007); Wilson et al. (2006), o excedente da água de irrigação lixivia o excesso de sais no perfil do solo, resultando em menor efeito da salinidade no ambiente radicular, o que favorece o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

A condutividade elétrica do solo aumentou significativamente com o teor salino da água de irrigação, sendo o modelo liner crescente o que melhor representou os dados desta variável ($R^2 = 0,9544$). Os valores estimados para a CE_{es} no tratamento de maior nível salino foi em média 2 vezes maior do que o valor encontrado no menor nível salino (Figura 18). Resultados semelhantes são apresentados por Silva et al. (2011), Gonçalves et al. (2011) e Garcia et al. (2008), ao verificarem resposta linear crescente da condutividade elétrica do solo com o aumento da concentração de sais na água de irrigação.

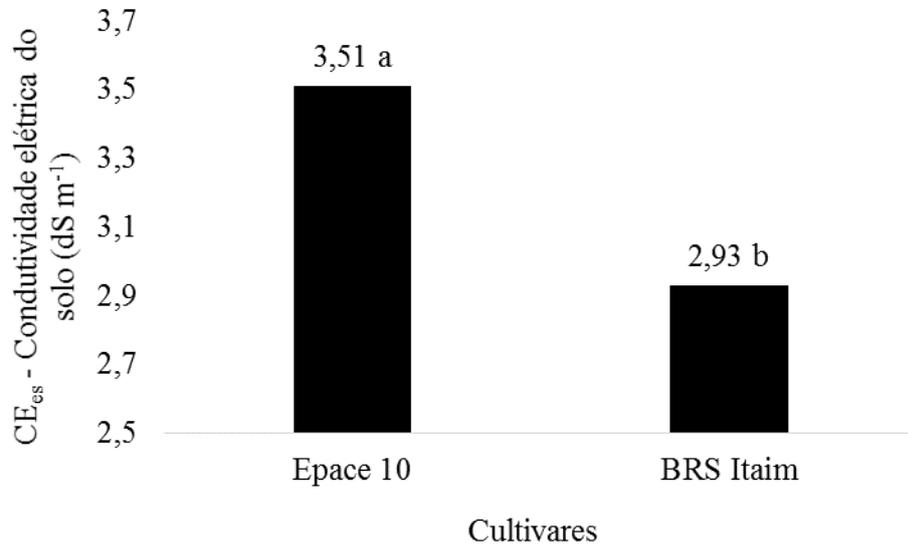
Figura 18 – Condutividade elétrica do solo (CE_{es}) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Vale ressaltar, que o acúmulo de sais no solo provoca a redução dos fatores morfológicos da planta, além de afetar o desenvolvimento das raízes da cultura como afirma Silva, Klar e Silva (2013), em estudos sobre o ajustamento osmótico da cultura da beterraba.

Entre as cultivares avaliadas, observa-se na Figura 19 que os valores da condutividade elétrica do solo, nos vasos cultivados com a Epace 10, apresentaram maiores valores desta variável. Sobre tal resultado pode-se inferir que a cultivar Epace 10, possivelmente, tolera a maior concentração de sais no solo do que a cultivar BRS Itaim, que demonstra assim ser mais sensível. Resultados semelhantes aos reportados por Pedrotti et al. (2015) ao mencionar que a sensibilidade à existência de maiores ou menores teores de sais no solo é uma característica peculiar até entre genótipos de uma mesma espécie.

Figura 19 – Condutividade elétrica do solo (CE_{es}) associado ao manejo da irrigação em diferentes níveis de salinidade e regimes hídricos das cultivares Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016

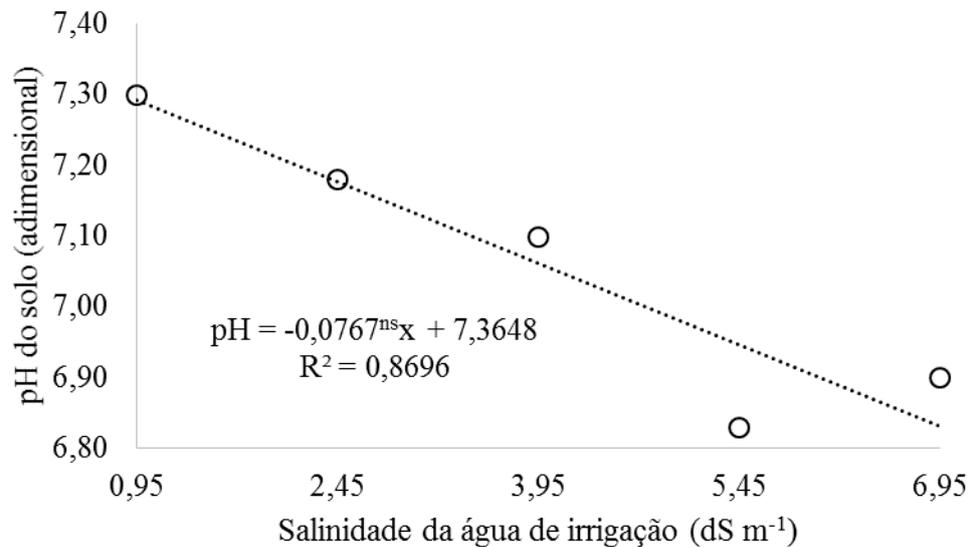


Algumas espécies vegetais apresentam mecanismos que lhes permitem sobreviver em ambientes altamente salinos. A sobrevivência nestes ambientes pode resultar em processos adaptativos que envolvem absorção, transporte e distribuição de íons em vários órgãos da planta (FARIAS et al., 2009). Uma das estratégias utilizadas pelas plantas é a extrusão do Na^+ para a solução do solo retirando o cátion da planta e a expulsão do Na^+ de alguns tecidos, especialmente o xilema, como forma de evitar o acúmulo do cátion no limbo foliar, minimizando os efeitos deletérios da salinidade sobre o metabolismo foliar, em especial sobre o processo fotossintético (MUNNS et al., 2002).

Na figura 20 observa-se que o potencial hidrogeniônico (pH) diminuiu com o teor salino da água de irrigação, sendo o modelo liner decrescente o que melhor representou os dados desta variável ($R^2 = 0,8696$). Resultados semelhantes são apresentados por Dias et al. (2015) e Garcia et al. (2008) ao verificarem resposta linear decrescente da condutividade elétrica do solo com o aumento da concentração de sais na água de irrigação.

Segundo Freitas et al. (2007) o aumento do conteúdo iônico da água de irrigação reduz o pH da solução do solo, provavelmente em função do incremento de cloreto de cálcio ($CaCl_2$), que induz à substituição de ânions como carbonatos e bicarbonatos e promove a elevação da concentração de H^+ na referida solução.

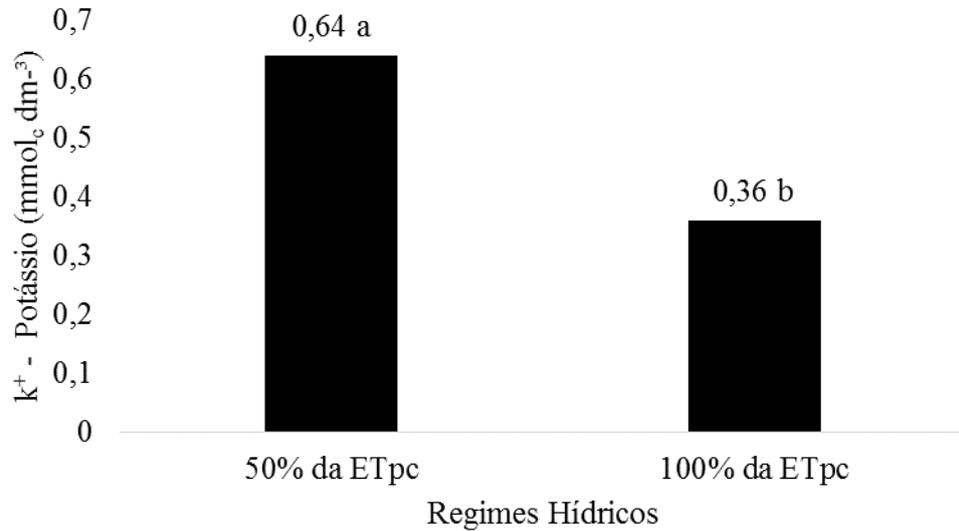
Figura 20 – Potencial hidrogeniônico do solo (pH) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



O teor de potássio apresentou maior média no tratamento sob lâmina de 50% da ETpc (Figura 21). Uma possível explicação para tal resultado deveu-se ao fato de nestes tratamentos não ter ocorrido a percolação de água e conseqüente lixiviação deste elemento, já que no tratamento onde foi aplicado a lâmina de 100% da ETpc foi observado menores teores de potássio, exatamente devido a percolação de água que ocorria nos momentos de irrigação, o que possivelmente explicaria o comportamento deste elemento presente no solo em menores quantidades.

Outro aspecto importante a se destacar dá-se pela aplicação da adubação em cobertura do Cloreto de potássio, o que possivelmente associado ao manejo da irrigação, em destaque acima descrito, condicionou o solo a manter os maiores teores de potássio nos tratamentos onde não fora obtido a drenagem da água, permitindo assim a lixiviação do potássio.

Figura 21 – Teores de Potássio (K) sob regimes hídricos de 50% e 100% da ETpc. Fortaleza, Ceará, 2016



4 CONCLUSÕES

O manejo da irrigação baseado em uma lâmina de 50% da ETpc, propiciou uma maior condutividade elétrica do solo e dos teores de potássio, ocasionando também uma redução na área foliar do feijoeiro.

O aumento da concentração de sais da água de irrigação promoveu reduções nas variáveis altura das plantas, número de folhas, massa seca da parte aérea e pH da solução do solo, com exceção da condutividade elétrica do solo, que obteve acréscimos com o aumento do nível salino na água.

A cultivar Epace 10, mostrou-se mais tolerante as condições de manejo imposta, apresentando valores superiores tanto em condições de maior disponibilidade hídrica (100% da ETpc) quanto sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R. T.; VIDAL, L. H. I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.
- ANDRADE; J. R.; MAIA JUNIOR, S. O.; SILVA, P. F.; BARBOSA, J. W. S.; NASCIMENTO, R.; SOUSA, J. S. Crescimento inicial de genótipos de feijão caupi submetidos a diferentes níveis de água salina. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 9, n. 4, p. 38- 43, 2013.
- AQUINO, A. B. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 247p.
- ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F. de; SILVA, F. B. da; SILVA, F. L. B. da; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia agrícola**, v.27, n.3, p.702-713, 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.
- CARVALHO, J. F. de; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F de F. e; MEDEIROS, P. R. F. de; SANTOS, M. H. V. dos; SANTOS, A. N dos. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.368–374, 2012.
- COELHO, J. B. M.; BARROS, M. de F. C.; BEZERRA NETO, E.; CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.379–385, 2013.
- COSTA, J. R.; PINHO, J. L. M.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.
- DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. S. N.; ANDRADE, S. I. O.; SALES, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 425-430, 2002.
- DIAS, T. J.; FREIRE, J. L. de O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, E. S. do; DANTAS, L. A.; DANTAS, M. M. de M. Atributos químicos do solo irrigado com águas salinas e uso de mitigadores do estresse salino no maracujazeiro amarelo. **Revista principia**, v. 1, n. 27, p. 19-29, 2015.
- DUTRA, W. F.; OLIVEIRA, I. M. de; DUTRA, A. F.; SANTOS, E. E. S.; MELO, A. S. de. Crescimento inicial de genótipos de feijão-caupi cultivados sob estresse hídrico. In: III CONAC, Congresso Nacional de Feijão-caupi, 2013, Recife. Feijão-caupi como alternativa sustentável dos sistemas produtivos familiares e empresariais - **Anais...** Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2013. CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **BRS Itaim – Cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2009. (Embrapa Meio Norte. Folder).

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricídia (Gliricidia sepium (Jacq.) Kunt ex Steud)* em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F. de; SANTOS, D. B. dos; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. de. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.570–578, 2006.

FREIRE, M. G. S.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Fitorremediação de solos afetados por sais. **In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C.F. Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472 p.

FREITAS, E. V. S.; FERNANDES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; FREIRE, M. B. G. dos S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 21-28, 2007.

FREITAS, R. M. O. de; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L. de; NOGUEIRA, N. W. PINTO, J. R. de S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Biosci. J.**, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.

FREITAS, V. S.; ALENCAR, N. L. M.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in physiological and biochemical indicators associated with salt tolerance in cotton, sorghum and cowpea. **African Journal of Biochemistry Research**, v.5, n.8, p.264-271, 2011.

FURTADO, G. de F.; SOARES, L. A. dos A.; SOUSA, J. R. M. de; ANDRADE, E. M. G. de; GUERRA, H. O. C. Alterações fisiológicas em feijão-caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. **Revista Verde**, v. 8, n. 3, p. 175-181, 2013.

GARCIA, G. de O.; MARTINS FILHO, S.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Estresse hídrico e salino na produção relativa e potencial de água na folha do feijoeiro. **Irriga**, v. 14, n. 4, p. 470-480, 2009.

GARCIA, G de O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F. dos; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. de A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Rev. Ciên. Agron.**, v. 39, n. 01, p. 7-18, 2008.

GARCIA, G de O.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. **Engenharia na agricultura**, v.18, n.4, p. 330-338, 2010.

- GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D. Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOGUEIRA, R. J. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005, p. 138 -148.
- GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. dos S.; SANTOS, M. A. dos; SANTOS, E. R. dos; FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 589-596, 2011.
- GREENWAY, H. MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, 31, p.149–190, 1980.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; PELOSO, M. J. D.; OLIVEIRA, J. P. de. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.649-656, 2011.
- HOLANDA FILHO, R. S. F. de; SANTOS, D. B. dos; AZEVEDO, C. A. V. de; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. A. de. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandioqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.60–66, 2011.
- JONGDEE, B.; PANTUWAN, G.; FUKAI, S.; FISCHER, K. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand. **Agricultural Water Management**, v.80, p.225-240, 2006.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trikler irrigation desing**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 182 p.
- LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.4, p.663-675, 2011.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2006. 550p.
- LIMA, C. J. G. de S.; OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**. v.2, n.2, p. 79-86, 2007.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, n.2, p.115-134, 1977.
- MAIA, A. J.; PEREIRA, P. S.; ROCHA, D. G. da F.; TÁVORA, F. J. F.; BARROS, L. M. Efeito do estresse hídrico no crescimento de plantas de feijão de corda. **Enciclopédia biosfera**, v.9, n.17; p.876-886, 2013.
- MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.1, p.139-145, 2008.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, n.2, p.239–250. 2002.

MUNNS, R.; HUSAIN, S.; RIVELLI, A. R.; JAMES, R. A.; CONDON, A. G.; LINDSAY, M. P.; LAGUDAH, E. S.; SCHACHTMAN, D. P.; HARE, R. A. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. **Plant and Soil**, v. 247, p. 93-105, 2002.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. do N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

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

SILVA, A. O. da; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. de F. e. Produção da cultura da beterraba irrigada com água salina. **Engenharia na agricultura**, v.21, n.3, p. 271-279, 2013.

SILVA, A. R. A. da. **Respostas e adaptações de plantas de coqueiro “anão verde” às interações entre deficiência hídrica e salinidade do solo**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2015.

SILVA, F. E. O. da; MARACAJÁ, P. B.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. de A.; OLIVEIRA, M. K. T. de. Desenvolvimento vegetativo do feijão caupi irrigado com água salina em casa de vegetação. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 156-159, 2009.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p.383-389, 2011.

SILVA, J. F. da. **Resistência de genótipos de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. à *craccivora* Koch e *Crinoceris sanctus* Fabricius**. 2008. Dissertação de mestrado (Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2008.

SNYDER RL. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.118, p. 977-980, 1992.

SOUSA, C. C. M. de; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; SOUZA, M. A. L. M. de; PEREIRA FILHO, J. V. Crescimento e respostas enzimáticas do feijoeiro caupi sob estresse hídrico e nematoide de galhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.113–118, 2015.

SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; LACERDA, C. F. de; AZEVEDO, B. M. de; SILVA, G. L. da; COSTA, F. R. B. Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 3, p. 359-367, 2014.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, v. 10, n. 03, p. 241-248, 2005.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, p.503-527, 2003.

VALE, N. M. do.; BARILI, L. D.; ROZZETO, D. S.; STINGHIN, J. C.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; KÖOP, M. M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, v.25 n.3, p.135-144, 2012.

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

CAPÍTULO 3

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDAS A SALINIDADE E DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RESUMO

Avaliou-se no presente trabalho a resposta fisiológica de duas cultivares de feijão-caupi sob a influência de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação associados a dois regimes hídricos, 50% e 100% da ET_{pc}. O experimento foi conduzido em vasos, a céu aberto, na área experimental da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, sob um delineamento estatístico de blocos ao acaso em parcelas subdivididas. Os dois regimes hídricos (parcelas) foram baseados pela evapotranspiração potencial da cultura (100 e 50% da ET_{pc}). Já os níveis de salinidade da água de irrigação (0,95; 2,45; 3,95; 5,45 e 6,95 dS m⁻¹) foram distribuídos nas subparcelas enquanto as cultivares (Epace 10 e BRS Itaim) nas subsubparcelas. Avaliaram-se a clorofila a, b e total; carotenoides; taxa de fotossíntese, condutância estomática, transpiração e emissão de fluorescência da clorofila “a” (F_o, F_m, F_v, F_v/F_m). Os teores dos pigmentos da clorofila a, b e total, além dos teores de carotenoides são reduzidos com o aumento da concentração de sais na água de irrigação. Sob um regime hídrico de 50% da ET_{pc}, a cultivar Epace 10 apresentou valores superiores nos teores de pigmentos fotossintéticos. Não se verificou alteração significativa nos parâmetros associados à emissão da fluorescência, devida ao estresse salino e hídrico. De maneira geral, foi possível observar reduções nas respostas das trocas gasosas sob o aumento dos níveis de salinidade, reforçando assim, a interdependência entre as variáveis analisadas.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L. Clorofila. Fotossistema II. Trocas gasosas.

CHAPTER 3

PHYSIOLOGICAL RESPONSES IN COWPEA CULTIVARS UNDER SALINITY AND WATER DEFICIT

ABSTRACT

This study evaluated the physiological responses of two cowpea cultivars under the influence of different levels of irrigation water salinity associated with two water regimes, 50% and 100% of ET_{pc}. The experiment was conducted in pots the open air, in the experimental area of the weather station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil under an experimental design of randomized blocks in split plots. The two water regimes (plots) were based on the potential crop evapotranspiration (100 and 50% of ET_{pc}). Already irrigation water salinity levels (0.95; 2.45; 3.95; 5.45 and 6.95 dS m⁻¹) were distributed in the subplots as cultivars (Epace 10 and BRS Itaim) in subsubplots. Evaluations of chlorophyll a, b, and total; carotenoids; photosynthesis, stomatal conductance and transpiration emission fluorescence of chlorophyll "a" (F_o, F_m, F_v, F_v/F_m). The levels of chlorophyll pigments a, b, total and carotenoid contents of the well are reduced by increasing the salt concentration in the irrigation water. Under a water system 50% of ET_{pc} to cultivate Epace 10 was higher for the content of photosynthetic pigments. There was no significant change in parameters associated with the emission of fluorescence due to salt and water stress. In general, we observed reductions in the behavior of gas exchange under the rise in salinity levels, thereby enhancing the interdependence between the variables analyzed.

Key words: *Vigna unguiculata* L. Chlorophyll. Photosystem II. Gas exchange.

1 INTRODUÇÃO

A salinidade tem sido apontada como um dos principais estresses ambientais, por seus efeitos negativos sobre o crescimento e o metabolismo vegetal, além de ser um dos fatores responsáveis pelo decréscimo da produtividade de culturas nas regiões áridas e semiáridas. A redução do crescimento sob salinidade tem sido atribuída ao estresse osmótico, provocado pela redução do potencial hídrico externo, e ao efeito iônico causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais (MUNNS; TESTER, 2008).

Ferraz et al. (2012) ressaltam que a variabilidade genética com respeito à tolerância à salinidade ocorre em diversas espécies, inclusive no feijão-caupi, desta forma, os programas de melhoramento clássico são conduzidos para selecionar genótipos mais tolerantes baseados nas respostas da produção. No entanto, visto que a seleção com base na produção pode ser dispendiosa e demandar um maior espaço de tempo, o uso de parâmetros indiretos baseados nas respostas fisiológicas das plantas à salinidade pode ser mais rápido para a seleção (AZEVEDO NETO et al., 2011).

Cerca de 90% da produção biológica das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética (FLOSS, 2004). O aumento na resistência difusiva estomática pode ocasionar diminuição na fotossíntese líquida (AMARAL et al. 2006). Assim, a verificação das trocas gasosas constitui-se em importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, isto porque a redução no crescimento (e a consequente diminuição na produtividade) das plantas pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (CARON et al., 2014; FERRAZ et al., 2012; PAIVA et al., 2005; PEIXOTO; MATTA; CAMBRAIA, 2002).

Outra ferramenta que tem sido bastante difundida é o uso de parâmetros de fluorescência no estudo de fotossíntese, pois, além de não destrutivo, permite analisar qualitativa e quantitativamente a absorção e o aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e as possíveis relações com a capacidade fotossintética (ZANANDREA et al., 2006; TORRES NETTO et al., 2005; MOUGET; TREMBLIN, 2002). A determinação indireta do teor de clorofila em folhas pode ser usada como ferramenta para diagnosticar a integridade do aparelho fotossintético, quando as plantas estão sujeitas às adversidades ambientais (BASTOS et al., 2012).

Objetivou-se com este trabalho avaliar as respostas fisiológicas de duas cultivares de feijão-caupi cultivadas em vasos a céu aberto submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação associados a dois regimes hídricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Vide capítulo 2

2.2 Material vegetal

Vide capítulo 2

2.3 Descrição da área experimental

Vide capítulo 2

2.4 Instalação e condução do experimento

Vide capítulo 2

2.5 Adubação, semeadura e desbaste.

Vide capítulo 2

2.6 Delineamento experimental e composição dos tratamentos

Vide capítulo 2

2.7 Sistema e manejo da irrigação

Vide capítulo 2

2.8 Concentrações de sais na água de irrigação

Vide capítulo 2

2.9 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Vide capítulo 2

2.10 Variáveis analisadas

2.10.1 Determinação dos pigmentos foliares

Para a determinação dos pigmentos foliares [clorofilas (“a”, “b” e “total”)], foram coletados, aos 45 DAP, três discos foliares, a partir da terceira folha contada a partir do ápice.

Os discos foliares foram incubados em 5 mL de solução de dimetilsulfóxido (DMSO), por um período de quarenta e oito horas em solução saturada com carbonato de cálcio (CaCO_3), em vidros hermeticamente fechados e revestidos com papel alumínio, para proteção contra a radiação. Após o período de incubação, determinou-se a absorvância das amostras, utilizando cubeta de quartzo de 10 mm de caminho ótico, em espectrofotômetro. As leituras foram realizadas em 665, 649 e 480 nm e as equações para os cálculos dos teores de clorofilas e de carotenoides foram baseadas na metodologia descrita por Wellburn (1994).

2.10.2 Fluorescência da clorofila

Também realizada aos 50 DAP, a medição de emissão da fluorescência da clorofila a foi realizada, utilizando-se o instrumento PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments LTD, Norfolk, England), segundo metodologia descrita por Matta et al., (1997). Antes das medições as folhas foram mantidas no escuro durante 30 minutos, sendo determinados os seguintes parâmetros: fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e eficiência quântica (F_v/F_m).

2.10.3 Determinação das trocas gasosas

Aos 50 dias após o plantio - DAP, foram determinadas as seguintes variáveis: as taxas de fotossíntese líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s), utilizando o analisador de gás por radiação infravermelha [Infra red gas analyser (IRGA), Mod. Li-COR® 6400 XT]. As medidas foram realizadas durante o período das 08:00 as 11:00 h, sob condições de umidade relativa do ar, temperatura e radiação do ambiente.

2.11 Análises estatísticas

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade.

Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se optar por aquele modelo matemático que melhor se ajustou aos dados do experimento, tendo em vista os coeficientes de determinação R^2 , o valor do teste F da análise de variância e os aspectos relacionados as respostas biológicas dos processos, utilizando-se, para isso, o software para análises estatísticas Assistat 7.7 beta, auxiliado pelo software Microsoft Office Excel 2007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teores de clorofilas (a, b e total) e de carotenóides

O resumo das análises das variâncias apresentados na Tabela 1 revelam que os teores de clorofila “a”, “b” e “total” foram influenciados significativamente pelo fator salinidade ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$) e pela interação entre os fatores regime hídrico x cultivares ($p \leq 0,05$), exceto a variável Clf_b; Por outro lado, os teores de carotenóides sofreram influência significativa pelo fator salinidade e cultivares ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente) e pela interação regime hídrico x cultivares ($p \leq 0,05$).

Tabela 1 - Resumo das análises das variâncias para os teores de clorofila “a”, clorofila “b”, clorofila “total” e de carotenóides em folhas de feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

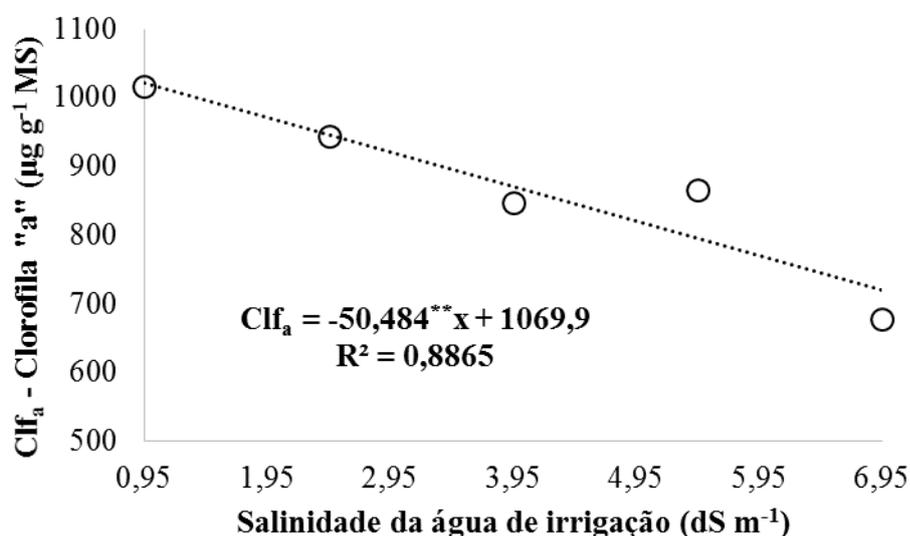
FV	GL	Quadrados Médios			
		Clf _a	Clf _b	Clf _{total}	Crtn
Blocos	2	6748,75 ^{ns}	136120,32 ^{ns}	168325,60 ^{ns}	690,20 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	5,05*	4126,83 ^{ns}	3055,99 ^{ns}	147,78 ^{ns}
Resíduo - A	2	56818,67	85615,28	259479,96	1649,49
Parcelas	5				
Salinidade (B)	4	194068,03 ^{**}	275646,27*	797242,54 ^{**}	7083,85 ^{**}
Interação – A x B	4	43900,02 ^{ns}	52220,87 ^{ns}	126487,32 ^{ns}	864,84 ^{ns}
Resíduo - B	16	39821,37	69071,08	144789,48	1188,88
Subparcelas	29				
Cultivares (C)	1	145791,63*	10670,79 ^{ns}	240207,57 ^{ns}	5106,95*
Interação – A x C	1	223386,28*	292698,47 ^{ns}	955031,32*	6395,36*
Interação – B x C	4	8680,68 ^{ns}	41945,96 ^{ns}	72128,47 ^{ns}	925,21 ^{ns}
Interação – A x B x C	4	33159,38 ^{ns}	37238,44 ^{ns}	109504,56 ^{ns}	1977,13 ^{ns}
Resíduo - C	20	32756,78	57721,12	128089,27	1050,53
Total	59				
C.V – A (%)		27,38	38,57	32,11	29,24
C.V – B (%)		22,93	34,64	23,98	24,83
C.V – C (%)		20,79	31,67	22,56	23,34

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; Clf_a: Clorofila a; Clf_b: Clorofila b; Clf_{total}: Clorofila total; (*); Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ^{ns}: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

A clorofila a (Clf_a) está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese oxigênica, sendo o pigmento utilizado para realizar a fotoquímica (o primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Na figura 1 observa-se que o teor de clorofila “a” (Clf_a) diminuiu com o incremento de sais na água de irrigação, sendo o modelo liner decrescente o que melhor se ajustou aos dados em função da salinidade da água de irrigação ($R^2 = 0,8865$), sugerindo que a elevação dos teores de sais na água de irrigação afetou a formação de clorofila. Entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) concentração de sais na água de irrigação houve um decréscimo de 29,64% no teor de clorofila a presente nas folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Jamil et al. (2007) e Mendonça et al. (2010) ao concluírem que os teores de pigmentos fotossintéticos nas plantas são reduzidos pela salinidade da água.

Figura 1 – Teores de clorofila “a” (Clf_a) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Na Tabela 2 encontra-se exposto os valores médios dos teores de clorofila a (Clf_a) das cultivares de feijão caupi (Epace 10 e BRS Itaim) sob as condições de regime hídrico a 50 e 100% da ET_{pc} . Sob condições de déficit hídrico (50% da ET_{pc}) a cultivar Epace 10 apresentou valores no teor de clorofila a superiores ao da cultivar BRS Itaim, indicando uma maior sensibilidade desta última sobre tal condição de disponibilidade hídrica.

Tabela 2 – Valores médios dos teores de clorofila “a” (Clf_a) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016^a

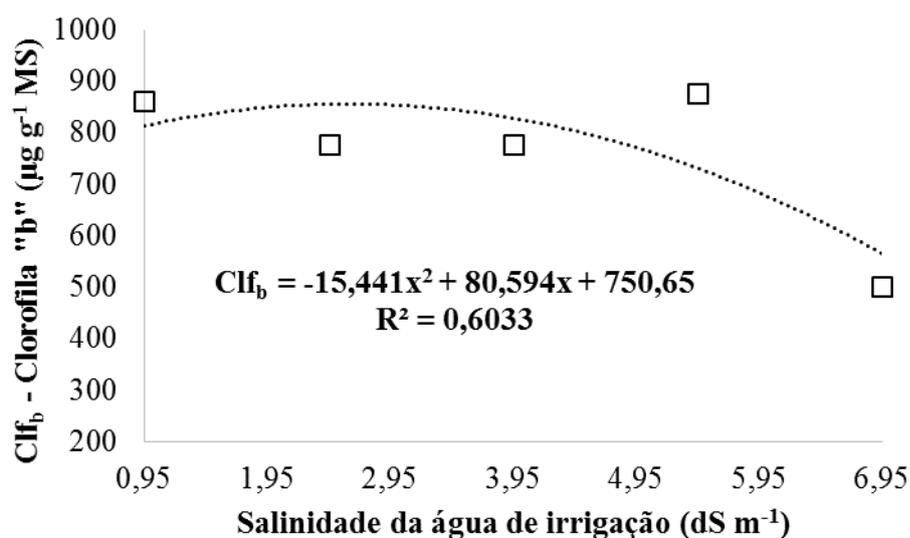
Regime Hídrico	Cultivares	
	Epace 10	BRS Itaim
50% da ET _{pc}	980,47aA	759,85 aB
100% da ET _{pc}	859,01 aA	882,46 aA

^bDMS coluna = 197,26; DMS linha = 137,85

^aClf_a – Teores de clorofila “a”; ^bDMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na figura 2, conforme a equação de regressão referente ao teor de clorofila “b” (Clf_b), verifica-se que o modelo o qual os dados melhor se ajustaram em função da salinidade da água de irrigação, foi o quadrático ($R^2 = 0,6033$), onde se observa resposta positiva respectivamente até o nível de salinidade da água de 5,22 dS m⁻¹, obtendo-se nesse o máximo teor de Clf_b (750,65 µg g⁻¹ MS). Resultados semelhantes foram obtidos por Furtado et al. (2014) os quais também observaram resposta quadrática do teor de clorofila b, com o incremento da condutividade elétrica da água de irrigação em feijão vigna (BRS Pajeú).

Figura 2 – Teores de clorofila “b” (Clf_b) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



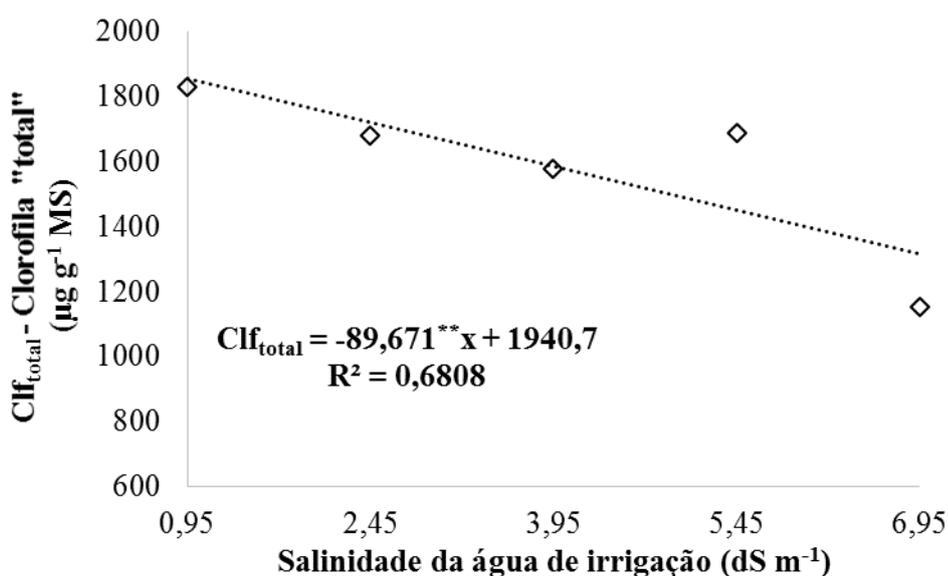
A diminuição significativa nos teores de clorofila a e b nos tratamentos de maior concentração salina na água de irrigação (6,95 dS m⁻¹) nos leva a crer que, em ambientes de altas concentrações salinas, a planta não conseguiu manter a integridade do seu maquinário

fotossintético. O estresse pode inibir a síntese do ácido 5-aminolevulínico, molécula precursora da clorofila, ou aumentar a atividade da enzima clorofilase que degrada a clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Fang et al. (1998), o teor de clorofila b é mais afetado pelo estresse salino que o teor de clorofila a, implicando em um aumento da relação clorofila a/clorofila b. Adicionalmente, o aumento desta relação pode ser justificado pelo fato de que o primeiro passo na degradação da clorofila b é a sua conversão em clorofila a (SACRAMENTO et al., 2014).

Na figura 3 também observa-se que o teor de clorofila “total” (Clf_{total}) diminuiu com o incremento de sais na água de irrigação, sendo o modelo liner decrescente o que melhor se ajustou aos dados em função da salinidade da água de irrigação ($R^2 = 0,6808$). Na comparação entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) níveis de sais na água de irrigação ocorreu decréscimo de 28,99% no teor de clorofila total presente nas folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento et al. (2012) ao constatarem decréscimo de 27,16 % para os teores de clorofila total nas plantas de feijão caupi irrigadas com água salina.

Figura 3 – Teores de clorofila “total” (Clf_{total}) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Os declínios nos teores de clorofila, conforme Cavalcante et al., (2011) e Munns e Tester (2008), são resultados dos desequilíbrios nas atividades fisiológicas e bioquímicas promovidas pelo teor de sais, além do tolerado pelas culturas. Para os respectivos autores, o

excesso de sais estimula a atividade enzimática da clorofilase que degrada as moléculas do pigmento fotossintetizante e induz a destruição estrutural dos cloroplastos, provocando também o desbalanceamento e perda de atividade das proteínas de pigmentação.

Segundo Silveira et al. (2010) a redução na biossíntese de clorofilas pode ser uma resposta aclimatativa ao estresse salino proporcionando economia de energia pela menor captação de energia luminosa e consequentemente redução do estresse foto-oxidativo.

Na Tabela 3 estão expostos os valores médios do teor de clorofila total (Clf_{total}) sob os regimes hídricos de 50 e 100% da ET_{pc}, onde observa-se que sob condições de irrigação plena (100% da ET_{pc}) não foram constatadas diferenças entre as cultivares analisadas. Já sob as condições de regime hídrico a 50% da ET_{pc}, a cultivar Epace 10 apresentou valor superior no teor de clorofila total ($1783,09 \mu\text{g g}^{-1} \text{MS}$) ao da BRS Itaim ($1404,22 \mu\text{g g}^{-1} \text{MS}$).

Embora, a degradação de pigmentos fotossintéticos devido a dano oxidativo seja um sintoma comum em plantas expostas a estresse hídrico, as plantas podem, segundo Egert e Tevini (2002) e Mafakheri et al., (2010), proteger-se sintetizando moléculas antioxidantes (carotenóides, glutathione, flavonóides) ou, ainda, aumentando a síntese de enzimas antioxidantes (peroxidases, superóxido dismutase, catalases). Mediante o exposto, o incremento observado no teor de clorofila total no cultivar Epace 10, pode ter sido devido à desaceleração do crescimento em relação a síntese de clorofila, associada a presença de um mecanismo antioxidante eficiente sob restrição hídrica.

Tabela 3 – Valores médios dos teores de clorofila “total” (Clf_{total}) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016^a

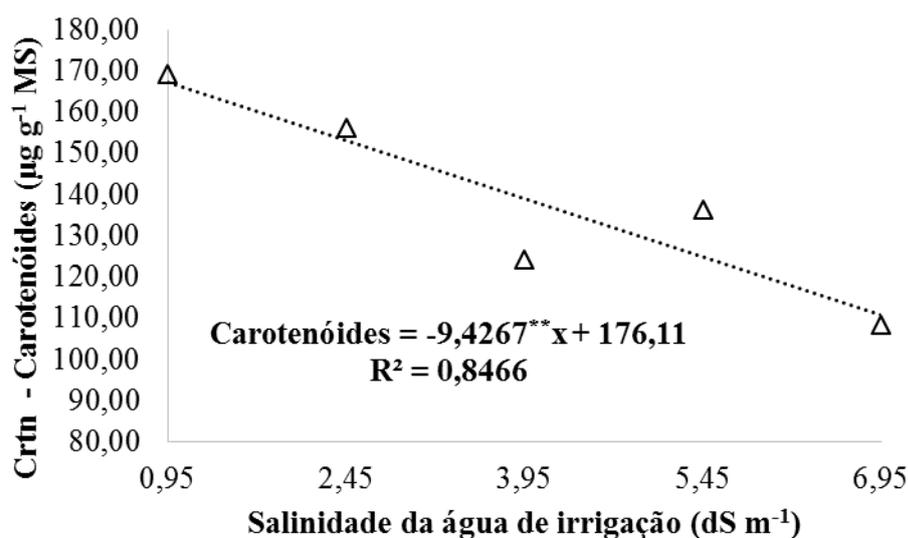
Regime Hídrico	Cultivares	
	Epace 10	BRS Itaim
50% da ET _{pc}	1783,09 aA	1404,22 aB
100% da ET _{pc}	1516,49 aA	1642,27 aA
^b DMS coluna = 446,69; DMS linha = 272,60		

^a Clf_{total} – Teores de clorofila “total”; ^bDMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de carotenóides (Figura 4), em vista do aumento da concentração de sais, apresentou uma tendência similar ao das clorofilas. O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados em função da salinidade da água de irrigação foi o do tipo linear decrescente ($R^2 = 0,8466$), onde observa-se na comparação entre os tratamentos de menor

(0,95 dS m⁻¹) e maior (6,95 dS m⁻¹) salinidade da água de irrigação uma redução da ordem de 33,84%.

Figura 4 – Teores de carotenóides (Crtn) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Os carotenóides são pigmentos acessórios na absorção e transferência de energia radiante, e protetores da clorofila no tocante à fotooxidação. Possivelmente, a degradação ou inibição da síntese de carotenóides implicou degradação das clorofilas nas folhas da cultura do feijoeiro caupi a medida que a concentração de sais da água de irrigação foi aumentada. Em plantas submetidas à salinidade, decréscimos na concentração de clorofila podem ser atribuídos ao aumento da atividade da enzima clorofilase que degrada a clorofila. O estresse salino induz a degradação de β-caroteno e a redução na formação de zeaxantina, produzindo diminuição no teor de carotenóides, pigmentos aparentemente envolvidos na proteção contra a fotoinibição (SHARMA; HALL, 1991; LIMA et al., 2004).

Na Tabela 4 encontra-se exposto os valores médios do teor de carotenóides das cultivares de feijão-caupi (Epace 10 e BRS Itaim) sob condições de regimes hídricos a 50 e 100% da ET_{pc}. Sob regime hídrico de 100% da ET_{pc} não houve diferença significativa entre as cultivares estudadas, no entanto, no regime hídrico de 50% da ET_{pc}, a cultivar Epace 10 apresentou maior valor médio do teor de carotenóides (159,99 µg g⁻¹ MS), evidenciando assim, maior resistência desta cultivar à condição de menor disponibilidade hídrica.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), os carotenóides desempenham papel essencial na fotoproteção, protegendo o aparelho fotossintético contra o oxigênio singlete ($^1\text{O}_2^*$), extremamente reativo, que danifica muitos componentes celulares, como lipídeos. Portanto, esses pigmentos são importantes na prevenção da indução de danos oxidativo causados pelo estresse (WAHID, 2007). Evidenciando neste estudo que a cultivar Epace 10 manteve maiores quantidades desses pigmentos durante a deficiência hídrica, proporcionando assim, uma maior proteção contra a foto-oxidação, enquanto a degradação de carotenóides significou maiores danos nas membranas fotossintéticas na cultivar BRS Itaim, demonstrando que tal cultivar é sensível ao aumento da concentração de sais na água de irrigação.

Tabela 4 – Valores médios dos teores de carotenóides ($\mu\text{g g}^{-1}$ MS) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016

Regime Hídrico	Cultivares	
	Epace 10	BRS Itaim
50% da ET _{pc}	159,99 aA	120,89 aB
100% da ET _{pc}	136,21 aA	138,40 aA

^aDMS coluna = 34,24; DMS linha = 24,68

^aDMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2 Fluorescência inicial (F_o), máxima (F_m), variável (F_v) e eficiência quântica (F_v/F_m)

Com base na análise de variância (Tabela 5), observou-se que nenhuma das variáveis analisadas, que avaliam a eficiência do aparelho fotossintético do feijoeiro caupi, foi afetada pelos fatores estudados (regime hídrico, níveis de sais da água de irrigação e cultivares). Resultados semelhantes são reportados por Portes e Magalhães (1993) onde, trabalhando com 12 genótipos de feijão submetidos a estresse salino, não observaram diferenças significativas para a atividade fotoquímica entre os materiais vegetais testados.

Tabela 5 - Resumo das análises das variâncias para os dados da fluorescência inicial (F_o), máxima (F_m), variável (F_v) e eficiência quântica (F_v/F_m) em plantas de feijão-caupi cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

FV	GL	Quadrados Médios			
		F_o	F_m	F_v	F_v/F_m
Blocos	2	24522,05 ^{ns}	171217,52 ^{ns}	169828,85 ^{ns}	0,0058 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	3658,20 ^{ns}	33299,70 ^{ns}	10706,70 ^{ns}	0,0008 ^{ns}
Resíduo - A	2	4498,71	87998,67	96005,71	0,0017
Parcelas	5				
Salinidade (B)	4	7258,38 ^{ns}	188390,21 ^{ns}	180855,78 ^{ns}	0,0015 ^{ns}
Interação – A x B	4	5014,86 ^{ns}	197150,53 ^{ns}	180872,01 ^{ns}	0,0017 ^{ns}
Resíduo - B	16	6173,83	118025,85	150604,22	0,0027
Subparcelas	29				
Cultivares (C)	1	3088,83 ^{ns}	429006,70 ^{ns}	366836,20 ^{ns}	0,0011 ^{ns}
Interação – A x C	1	11,70 ^{ns}	239717,60 ^{ns}	294910,70 ^{ns}	0,0020 ^{ns}
Interação – B x C	4	14645,63 ^{ns}	15440,74 ^{ns}	8041,95 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Interação – A x B x C	4	18639,90 ^{ns}	345120,72 ^{ns}	237808,14 ^{ns}	0,0012 ^{ns}
Resíduo - C	20	6454,92	103486,13	110703,36	0,0018
Total	59				
C.V – A (%)		8,55	8,87	12,11	5,50
C.V – B (%)		10,01	10,27	15,17	6,95
C.V – C (%)		10,24	9,62	13,00	5,62

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; (*) Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ^{ns}: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

Correia et al. (2009) avaliando as características de emissão de fluorescência da clorofila a em dois materiais genéticos de amendoim irrigados com águas de diferentes

salinidades também não verificou alteração significativa nos parâmetros associados à emissão da fluorescência.

Freire et al. (2014) destacam que quando submetidas a estresses abióticos ou ambientais, as plantas demonstram sintomas de alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos, que provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência, quantificados nas folhas pela fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m) e variável (F_v) da clorofila a, além do rendimento quântico potencial (F_v/F_m) (CHAUM; KIRMANEE, 2011; SILVA et al., 2011).

Presume-se que a fluorescência inicial (F_0) é a emissão, que ocorre dentro do estágio rápido da fluorescência, quando a Q_A (quinona receptora primária de elétrons do PS2) está totalmente oxidada e o centro de reação do PS2 está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas (MOUGET; TREMBLIN, 2002). Dessa forma, F_0 é independente dos eventos fotoquímicos e alterações em seus valores pode ser consequência de danos no centro de reação do PS2 ou da redução da capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação (BAKER; ROSENQVST, 2004; BAKER, 2008).

Já a fluorescência máxima (F_m), também se encontra situada dentro do estágio rápido da fluorescência. Ocorre mais lentamente que F_0 e representa a energia liberada ou perdida pelos elétrons que, ejetados dos seus átomos, podem alcançar o extintor Q_A , mas, pela presença de algum bloqueador do fluxo eletrônico, ou falta de demanda na produção de NADPH ou ATP ou Frd, retornam às suas moléculas de origem (MATHIS; PALLOTIN, 1981).

A resposta mais importante da planta, em se tratando de fluorescência de folhas adaptadas ao escuro, por pelo menos 30 minutos, é a F_v . Quanto maior a F_v maior a capacidade da planta em transferir a energia dos elétrons ejetados das moléculas dos pigmentos para a formação do redutor NADPH, ATP e Fdr e, conseqüentemente, maior a capacidade de assimilação do CO_2 na fase bioquímica da fotossíntese (ROHÁČEK, 2002; BAKER, 2008).

A razão F_v/F_m é uma estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do PS2, quando todos os centros de reação do PS2 estão abertos (BAKER; ROSENQVST, 2004). Essa relação tem sido utilizada para detectar perturbações no sistema fotossintético causada pelo estresse salino, visto que sua diminuição indica um declínio na eficiência fotoquímica do PS2 e um distúrbio ou dano no aparato fotossintético (BELKHODJA et al., 1994; GLYNN; FRASER; GILLIAN, 2003; PERCIVAL; FRASER, 2001).

Uma possível explicação para o fato dos parâmetros associados à emissão da fluorescência (F_o , F_m , F_v e F_v/F_m) não terem diferido entre as cultivares avaliadas, pode indicar que os materiais testados são geneticamente muito próximos em relação à atividade fotoquímica.

A sensibilidade das culturas aos sais da água e do solo evidencia a necessidade de pesquisas que tenham como meta a obtenção de tecnologias viáveis para os produtores e que possam minimizar os efeitos deletérios da salinidade às plantas, já que é quase obrigatória, a utilização de águas salinas na agricultura em regiões semiáridas (SOUSA et al., 2012). Por esse motivo, é extremamente importante que se realizem pesquisas com maior número cultivares e com tempo de aplicação maior, o que permitirá maior expressão dos mecanismos de adaptação das cultivares, para que se possa avaliar detalhadamente os efeitos desse tipo de estresse sobre as plantas.

3.3 Condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida

Os resultados expressos na Tabela 6 revelam que para a transpiração (E) das plantas de feijão caupi foi encontrada significância pelos fatores regime hídrico, salinidade e cultivares ($p \leq 0,01$) e pela interação entre os fatores salinidade x cultivares ($p \leq 0,05$). Por outro lado, a condutância estomática (g_s) sofreu influência significativa no fator salinidade e na interação entre os fatores regime hídrico x salinidade ($p \leq 0,01$) e na interação entre salinidade x cultivares ($p \leq 0,05$). Para a fotossíntese líquida (A) os resultados apontaram efeito significativo para o fator regime hídrico ($p \leq 0,05$) e para a interação entre os fatores salinidade x cultivares ($p \leq 0,01$). Não foi observada influência significativa para a interação tripla (regime hídrico x salinidade x cultivares).

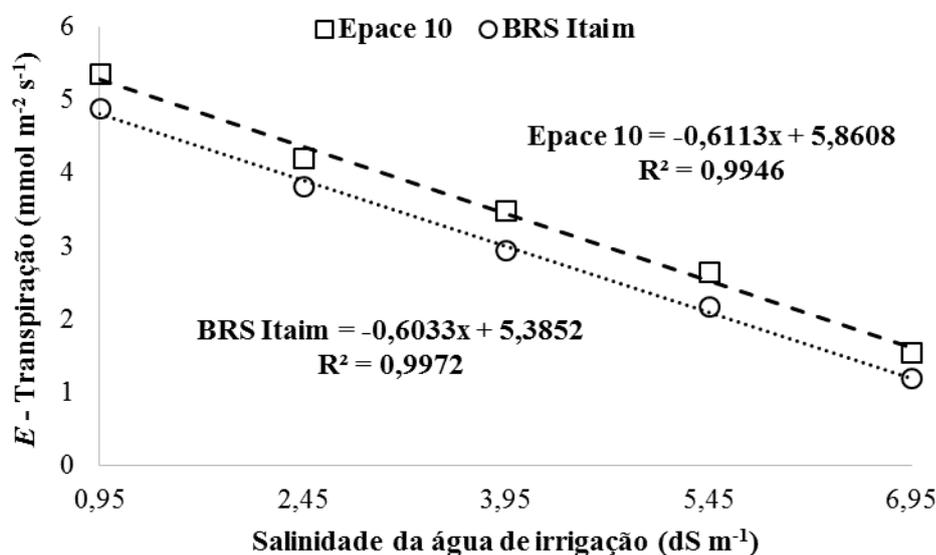
Tabela 6 - Resumo da análise de variância para os dados de transpiração (E), condutância estomática (g_s) e fotossíntese líquida (A) do feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

FV	GL	Quadrados Médios		
		E	g_s	A
Blocos	2	0,11 ^{ns}	0,038 ^{ns}	1,87 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	4,44 ^{**}	0,008 ^{ns}	180,50 [*]
Resíduo – A	2	0,02	0,010	4,96
Parcelas	5			
Salinidade (B)	4	24,94 ^{**}	0,296 ^{**}	244,41 ^{**}
Interação – A x B	4	0,29 ^{ns}	0,001 ^{**}	6,20 ^{ns}
Resíduo – B	16	0,30	0,018	4,98
Subparcelas	29			
Cultivares (C)	1	2,97 ^{**}	0,017 ^{ns}	30,65 ^{ns}
Interação – A x C	1	0,01 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Interação – B x C	4	0,01 [*]	0,001 [*]	0,08 ^{**}
Interação – A x B x C	4	0,07 ^{ns}	0,021 ^{ns}	1,23 ^{ns}
Resíduo – C	20	0,19	0,006	13,46
Total	59			
C.V – A (%)		5,35	55,54	18,45
C.V – B (%)		16,98	74,58	18,49
C.V – C (%)		13,71	44,22	30,38

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; E : Transpiração; g_s : Condutância estomática; A : Fotossíntese líquida; (*) Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ns: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

De acordo com a Figura 5, os efeitos dos sais presentes na água de irrigação provocaram redução linear decrescente nos valores de transpiração das cultivares Epace 10 e BRS Itaim. Confirmando esse resultado, Neves et al. (2009) e Sousa et al. (2014), ao avaliarem as trocas gasosas na cultura do feijão-caupi sob diferentes concentrações de sais na água de irrigação, também verificaram efeito negativo sob valores de transpiração das plantas. A superioridade da Epace 10 sobre a cultivar BRS Itaim para os valores de transpiração pode estar relacionada ao melhor ajustamento osmótico por essas plantas (SILVA et al., 2011).

Figura 5 – Transpiração (E) das cultivares Epace 10 (\square) e BRS Itaim (\circ) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



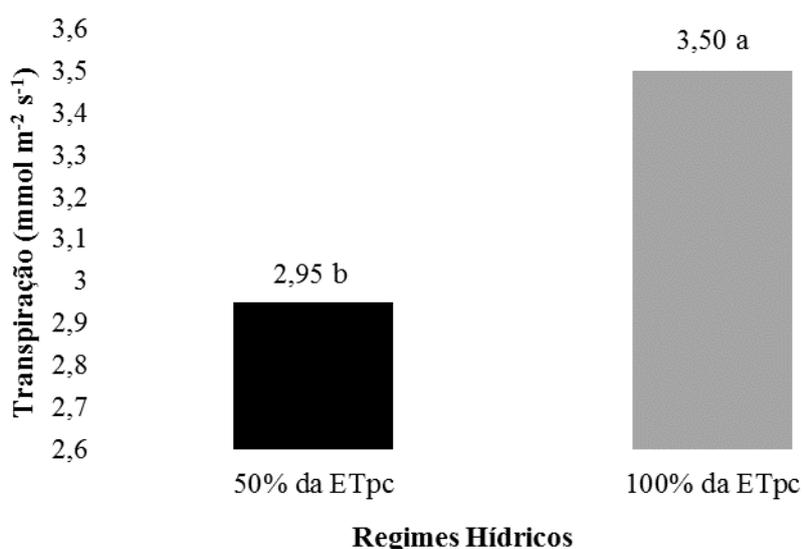
A redução nos valores de transpiração entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) salinidade para as cultivares Epace 10 e BRS Itaim foi de 69,46 e 75,21%, respectivamente, onde possivelmente, em maior parte, podem ter sido provocados pelos efeitos tóxicos dos sais absorvidos pelas plantas e pela redução do potencial total da água provocado pelo aumento da concentração salina (LACERDA et al., 2006; SILVA et al., 2011). Vale ressaltar que, Willadino e Câmara (2010) acrescenta que o estresse salino pode reduzir a quantidade de água transpirada, podendo contribuir para redução na absorção e carregamento de íons Na^+ e Cl^- para o interior das plantas.

Segundo Silva et al. (2013), os solutos dissolvidos na zona das raízes geram um potencial osmótico mais baixo, o que diminui o potencial total do solo; assim, o desenvolvimento das plantas é prejudicado, sendo necessária uma energia maior por parte da planta (ajuste osmótico) para gerar potenciais mais negativos que o encontrado nos solos para absorção de água. Tais gastos de energia envolvem uma transpiração maior por parte da planta quanto maior é a salinidade do solo.

Na figura 6 observa-se que a transpiração das plantas de feijão caupi é reduzida sob o regime hídrico de 50% da ET_{pc} , onde percebe-se que, sob menor disponibilidade hídrica, a planta começa a reduzir sua taxa transpiratória para a diminuição da perda de água e economia da água disponível no solo. Resultados semelhantes são apresentados por Fernandes et al. (2015) ao constatar reduções na taxa de transpiração do feijão caupi, cultivar Setentão, em relação à baixa disponibilidade de água no solo.

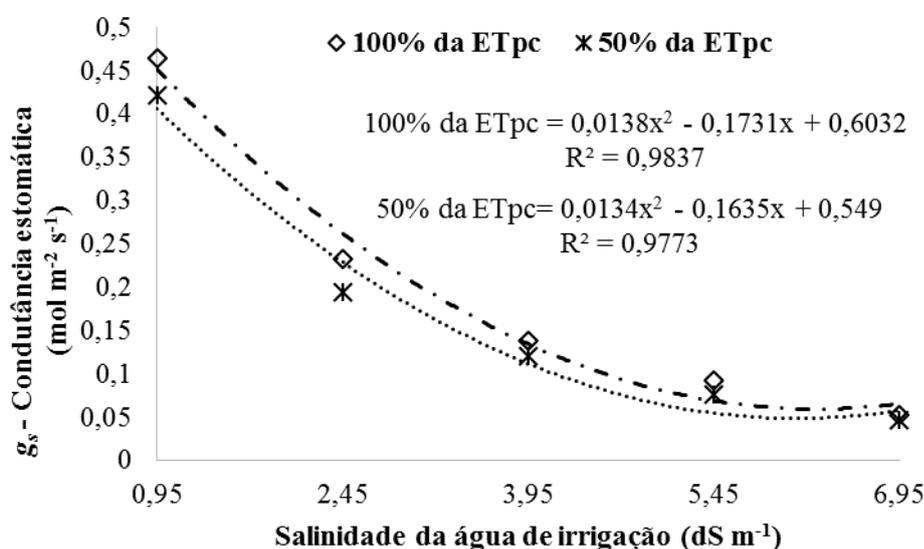
O resultado apresentado sob o regime hídrico de 100% da ET_{pc} (3,50 mmol m⁻² s⁻¹) demonstra que a transpiração pode ser usada como parâmetro para o estudo das relações hídricas do feijoeiro, haja vista que a transpiração é um bom indicador da disponibilidade de água na planta. Em uma situação de boa disponibilidade de água, as plantas cultivadas geralmente apresentam altas taxas de transpiração (CASTRO NETO, 2003).

Figura 6 – Taxa de transpiração (*E*) do feijão caupi submetido aos regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc}. Fortaleza, Ceará, 2016



Na Figura 7, observa-se um decréscimo na condutância estomática das plantas de feijão caupi com o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação quando cultivadas sob os regimes hídricos de 100 e 50% da ET_{pc}, sendo melhor representada por um modelo polinomial quadrático em ambos os regimes hídricos estudados ($R^2 = 0,9837$ e $0,9773$, respectivamente). Silveira et al. (2010) afirmam que a salinidade elevada da água de irrigação exerce efeito prejudicial no processo de abertura estomática, por aumentar a resistência à difusão de CO₂. Sousa et al. (2014), estudando a condutância estomática em plantas de feijão caupi submetidas a estresse salino e uso de biofertilizantes, também verificaram redução nos valores de transpiração.

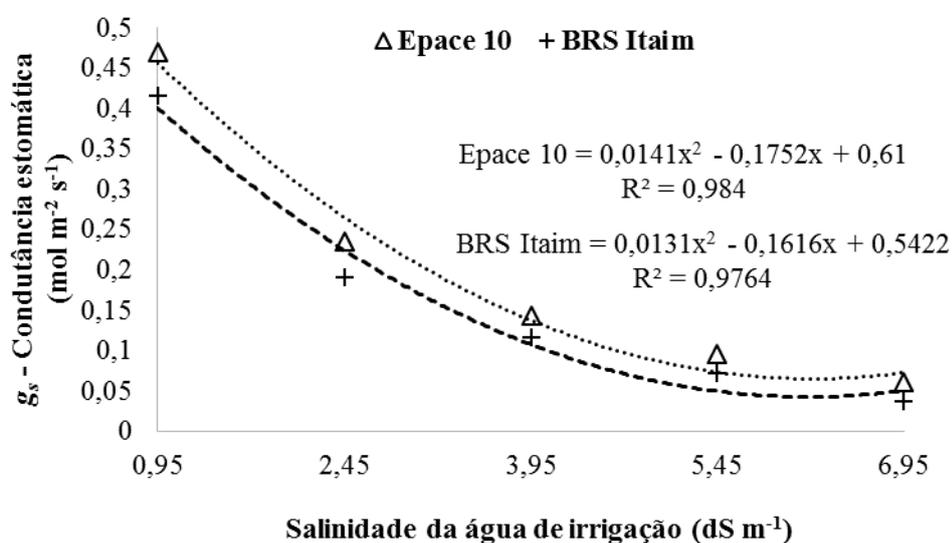
Figura 7 – Condutância estomática (g_s) nos regimes hídricos de 100% da ET_{pc} (◇) e 50% da ET_{pc} (*) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Segundo Neves et al. (2009), a redução na condutância estomática pode ser decorrente do efeito osmótico, associado ao acúmulo de sais no solo, e também da redução da condutividade hidráulica do sistema radicular, em função do aumento da suberização e lignificação dos tecidos vasculares das raízes de plantas sob estresse salino. Além disso, a diminuição da condutância estomática pode restringir a taxa de fixação de CO₂, com a consequente diminuição de sua concentração nas cavidades subestomáticas e nos espaços intercelulares (DALEY et al., 1989).

Na interação entre os fatores salinidade x cultivares, a cultivar Epace 10 apresentou maiores valores de g_s em relação a cultivar BRS Itaim, sob condições de salinidade da água de irrigação (Figura 8), demonstrando eficiência no controle estomático, passível de permitir uma alta atividade fotossintética, o que é desejável para genótipos mais tolerantes à salinidade, segundo Kramer e Boyer (1995). O modelo que melhor se ajustou aos dados de g_s para as cultivares, Epace 10 e BRS Itaim, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação foi o polinomial quadrático ($R^2 = 0,9840$ e $0,9764$, respectivamente).

Figura 8 – Condutância estomática (g_s) das cultivares de feijão caupi Epace 10 (Δ) e BRS Itaim (+) em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016

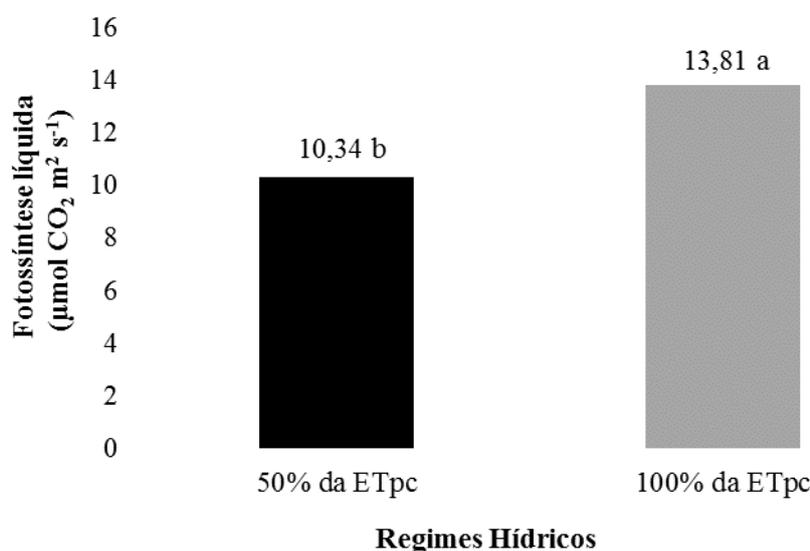


Corroborando com os resultados obtidos na presente pesquisa, Prazeres et al. (2015) avaliando as trocas gasosas de duas cultivares de feijão caupi (CE 790 e CE 104), também constataram reduções para a condutância estomática sob diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Os autores ressaltam ainda que a diminuição da abertura estomática nas cultivares é um indicativo da intensificação do efeito osmótico, devido a maiores concentrações de sais da água de irrigação.

Praxedes et al. (2010) e Silva et al. (2011) atribuem às menores condutâncias estomáticas, como uma resposta comum das plantas sob estresse salino. Os resultados obtidos, pela diminuição da g_s , nas cultivares submetidas a diferentes tratamentos de salinidade da água de irrigação (Figura 8), indicam a ocorrência de sinalização química entre raízes e parte aérea que mediarão o fechamento estomático (SOUZA et al., 2011). Zeng, Shannon e Lesch (2001) verificaram que a transpiração e a g_s diminuem com a salinidade na rizosfera, provavelmente pela queda do potencial da água nas raízes ou pelo transporte de ácido abscísico para as folhas (JAMES et al., 2002).

Na Figura 9 observa-se que a taxa fotossintética do feijão caupi foi superior sob um regime hídrico de 100% da ET_{pc}. Esse resultado pode ser devido à maior abertura dos estômatos (Figura 7), que propiciaram uma maior taxa fotossintética, uma vez que folhas com maior abertura estomática podem absorver melhor o CO₂ atmosférico e fotossintetizar melhor.

Figura 9 – Fotossíntese líquida (A) do feijão caupi submetido aos regimes hídricos de 50% e 100% da ET_{pc}. Fortaleza, Ceará, 2016



Sob o regime hídrico de 50% da ET_{pc} a taxa fotossintética foi reduzida em 25,12%, quando comparada com o resultado obtido no tratamento de maior disponibilidade hídrica (100% da ET_{pc}), demonstrando que o feijoeiro exerce controle estomático eficiente em condições de limitado suprimento hídrico de água no solo.

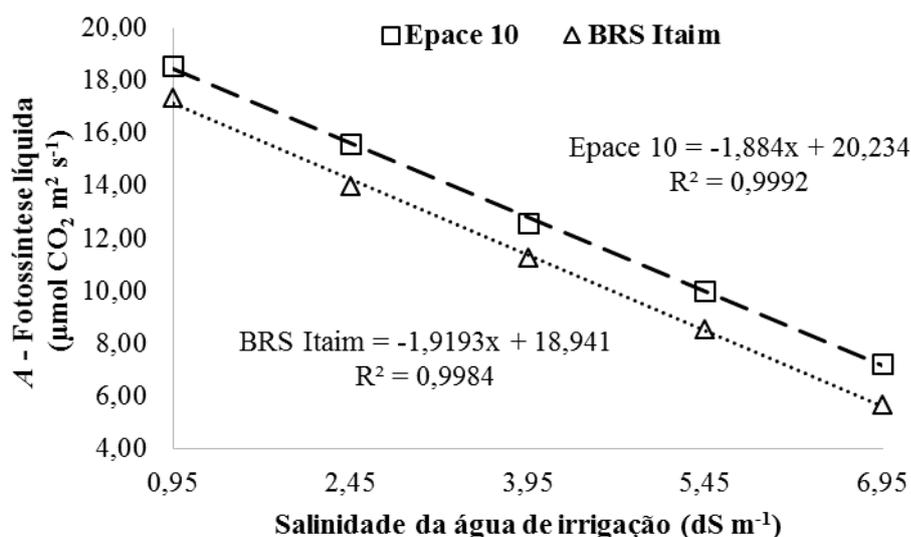
Corroborando com os resultados obtidos, Silva et al. (2010), avaliando as respostas ecofisiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) variedade BRS Xiquexique, cultivado sob diferentes níveis de deficiência hídrica (T0 – reposição de 100% da evapotranspiração, T1 – reposição de 50% e T2 – reposição de 25%), constataram reduções nas taxas de fotossíntese líquida provocadas sob menor disponibilidade de água. Reduções nas taxas fotossintéticas mostram-se mais intensas quanto maior for a redução da quantidade de água no solo (FRANÇOIS, 2012; SANTOS et al., 2009).

Quando ocorre o fechamento do estômato como forma de proteção da planta contra a dessecação, simultaneamente, ocorre a restrição à difusão do dióxido de carbono atmosférico provocando queda na assimilação líquida de CO₂, ocorrendo variações na concentração, devido à severidade e duração do déficit hídrico (FERRARI; PAZ; SILVA, 2015).

Na figura 10 observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados de A para as cultivares, Epace 10 e BRS Itaim, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação foi o linear decrescente ($R^2 = 0,9992$ e $0,9984$, respectivamente), revelando maior resistência da cultivar Epace 10 as condições de ambiente salino, o que suscita a existência de um maior

potencial fotossintético e, portanto um maior potencial produtivo desta cultivar. As reduções constatadas entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior concentração salina ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) da água de irrigação foram de 61,27 e 67,27% para as cultivares Epacé 10 e BRS Itaim, respectivamente.

Figura 10 – Fotossíntese líquida (A) das cultivares de feijão caupi, Epacé 10 (□) e BRS Itaim (Δ), em função de níveis de salinidade da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2011) ao constatarem reduções de 21 e 47% na fotossíntese líquida do feijão de corda, cultivar Vita 7, submetidos a 100 e 200 mM de NaCl, respectivamente. Os prejuízos na taxa fotossintética ocorrem, principalmente, pela diminuição da área foliar da planta, redução dos teores de clorofilas e condutância estomática, além de prejudicar a eficiência do fotossistema II (MUNNS, 2011; SENGAR; SENGAR; SINGH, 2013).

Plazek et al. (2013) ressaltam que a tolerância a salinidade está comumente associada a tolerância à seca, uma vez que a alta concentração de sais inibe a absorção de água pela planta induzindo a deficiência hídrica. Para Bhatt et al. (2008), a redução da absorção de água é um dos fatores mais importantes no que se refere ao prejuízo do crescimento das plantas sob solos salinos, estando diretamente relacionado à fotossíntese, ou seja, plantas sob estresse diminuem a capacidade fotossintética, bem como o crescimento (KUMAR et al., 2014).

De maneira geral, foi possível observar pelo comportamento das trocas gasosas (fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática) que o aumento dos níveis de

salinidade propiciou reduções em todas as variáveis em estudo, reforçando assim, a interdependência entre as variáveis analisadas (Figuras 5, 7, 8 e 10).

Validando os presentes resultados Verslues et al. (2006) e James et al. (2002) ressaltam que a concentração elevada de sais no solo aumenta o potencial osmótico, que como consequência, reduz a disponibilidade de água para as plantas, desta forma, em condições de deficiência hídrica, as plantas utilizam o mecanismo de fechamento dos estômatos e reduzem a condutância estomática no intuito de restringir a perda de água, reduzindo a transpiração, sacrificando a absorção de CO₂ e acarretando, em consequência, redução acentuada da taxa fotossintética e da acumulação de fotoassimilados (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além dos efeitos de diminuição na absorção de água pela planta, a toxicidade por íons pode causar diminuição na absorção de nutrientes (DEINLEIN et al., 2014; RODRIGUES et al., 2014), e ainda, pode haver aumento na produção de espécies reativas de oxigênio - EROs (PLAZEK et al, 2013).

4 CONCLUSÕES

O acréscimo de sais na água de irrigação provoca redução nos pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total) e carotenoides.

Os teores de carotenoides e de clorofila “a” e total, presente nas folhas da cultivar Epace 10, foram superiores sob regime hídrico de 50% da ET_{pc}.

Os níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos não influenciaram os parâmetros associados à emissão da fluorescência da clorofila *a*.

O aumento dos níveis de salinidade na água de irrigação propiciou reduções sobre o comportamento das trocas gasosas (fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática).

A cultivar BRS Itaim mostrou-se mais sensível à salinidade da água de irrigação.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- AZEVEDO NETO, A. D. de; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. dos. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.
- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; NASCIMENTO, F. N. do; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.31-37, 2012.
- BHATT, M. J.; PATEL, A. D.; BHATTI, P. M.; PANDEY, A. N. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in Seedlings of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Philadelphia, v. 16, p. 383-401, 2008.
- BELKHODJA, R. et al. Chlorophyll Fluorescence as a Possible Tool for Salinity Tolerance Screening in Barley (*Hordeum vulgare* L.) **Plant Physiology**, v. 104, n. 02, p. 667-673, 1994.
- CARON, B.O.; PERRANDO, E.R.; SCHMIDT, D.; MANFRON, P.A.; BEHLING, A.; ELLI, E.F.; ELOY, E. Relações fisiológicas em mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). **Rev. Bras. Pl. Med.**, v.16, n.2, p.196-201, 2014.
- CASTRO NETO, M. T. de. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 25, n. 1, p. 93-95, 2003.
- CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L. de O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. **Rev. Bras. Frutic.**, Volume Especial, E. p. 699-705, 2011.
- CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Remediation of salt-affected soil by the addition of organic matter: an investigation into improving glutinous rice productivity. **Scientia Agricola**. v. 68, n. 4, p. 406-410, 2011.
- CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. da S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 514-521, 2009.

- DALEY, P. F.; RASCHKE, K.; BALL, J. Y.; BERRY, J. A. Topography of photosynthetic activity of leaves obtained from video images of chlorophyll fluorescence. **Plant Physiology**, v. 90, p.1233-1238, 1989.
- DEINLEIN, U.; STEPHAN, A. B., HORIE, T., LUO, W., XU, G., SCHROEDER, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 6, p. 371-9, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2014.02.001>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- EGERT, M.; TEVINI, M. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). **Environ. Exp. Bot.**, v.48, n.1, p.43-49, 2002.
- FANG, Z.; BOUWKAMP, J. C.; SOLOMOS, T. Chlorophyllase activities and chlorophyll degradation during leaf senescence in non-yellowing mutant and wild type of *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.503-510, 1998.
- FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F. de; ANDRADE, E. M. de; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. de. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015.
- FERRARI, E.; PAZ, A. da; SILVA, A. C. da. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementes antecipadas no mato grosso. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 01, p. 67-77, 2015.
- FERRAZ, R. L. de S.; MELO, A. S. de; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B. de; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. da S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.
- FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: Ed. da UPF, 2004.
- FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água do Solo) - Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.
- FREIRE, J. L. de O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; FERNANDES, P. D.; LIMA NETO, A. J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 82-91, 2014.
- FURTADO, G. de F.; SOUSA JÚNIOR, J. R. de; XAVIER, D. A.; ANDRADE, E. M. G.; SOUSA, J. R. M. de. Pigmentos fotossintéticos e produção de feijão *Vigna unguiculada* L. Walp. sob salinidade e adubação nitrogenada. **Revista Verde**, v. 9, n. 2, p. 291-299, 2014.
- GLYNN, P.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, v. 29, n. 02, p. 61-65, 2003.
- JAMES, R. A.; RIVELLI, A. R.; MUNNS, R.; VONCAEMMERER, S. Factors affecting CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. **Functional Plant Biology**, v.29, p.1393-1403, 2002.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEE, K.J.; KIM, J. M.; KIM, H.S.; RHA, E.S. Salinity reduced growth P S2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 2, p. 111-118, 2007.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York: 495p. 1995.

KUMAR, T.; KHAN, M. R.; JAN, S. A.; AHMAD, N.; NIAZ ALI, N.; ZIA, M. A.; ROOMI, S.; IQBAL, A.; ALI, G. M. Efficient regeneration and genetic transformation of sugarcane with AVP1 gene. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, Dubai, v. 14, p. 165-171, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2014.14.02.12304>>. Acesso em: 22 fev. 2016

LACERDA, C. F. de.; MORAIS, M. M. M.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p.258-263, 2006.

LIMA, M. da G. de S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, v.63, n.3, p.335-340, 2004.

MAFAKHERI, A., SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 8, p. 580-585, 2010.

MATHIS, P.; PALLOTIN, G. Primary process of photosynthesis. *In*: HATCH, M.D.; BOARDMAN, N. K. (Ed.). **The biochemistry of plants**. New York: Academic Press, p.97-161, 1981.

MATTA, F. M.da; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P. R.; BARROS, R. S. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Science**, v. 128, n. 01, p. 43-50, 1997.

MENDES, B. S. da S.; WILLADINO, L.; CUNHA, P. C. da; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; CAMARA, T. R. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D.G. Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* spp. submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 255-267, 2010.

MOUGET, J.; TREMBLIN, G. Suitability of the fluorescence monitoring system (FM, Hansatech) for measurement of photosynthetic characteristics in algae. **Aquatic Botany**, v.74, p.219-231, 2002.

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

MUNNS, R. Plant Adaptations to Salt and Water Stress: Differences and Commonalities. **Advances in Botanical Research**, New York, v. 57, p. 1-32, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-387692-8.00001-1>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

NASCIMENTO, R. do; NASCIMENTO, D. A. M. do; SILVA, D. A. da; ALVES, A. G. Índice SPAD e partição de biomassa em plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse salino. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.27, n.2, p.128-132, 2012.

NEPOMUCENO, A. L. NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 4, n. 23, p. 12-18, 2001.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. de.; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.873–881, 2009.

PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PEIXOTO, P. H. P.; MATTA, F. M. da; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 821-832, 2002.

PERCIVAL, G. C.; FRASER, G. A. Measurement of the salinity and freezing tolerance of Crataegus genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal Arboriculture**, v. 27, n. 05, p.233–245, 2001.

PLAŻEK, A., TATRZAŃSKA, M., MACIEJEWSKI, M., KOŚCIELNIAK, J., GONDEK, K., BOJARCZUK, J., DUBERT, F. Investigation of the salt tolerance of new Polish bread and durum wheat cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, Krakow, v. 35, n. 8, p. 2513-2523, 2013.

PORTES, T. A.; MAGALHÃES, A. C. N. Análise comparativa de diferentes genótipos de feijão através da medição da fluorescência da clorofila a e do balanço de O₂. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 05, n. 01, p. 17-23, 1993.

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

PRAZERES, S. da S.; LACERDA, C. F. de; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. da S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@mbiente**, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015.

RODRIGUES, C. R. F.; SILVA, E. N.; MOURA, R. M., ANJOS, D. C.; HERNANDEZ, F. F. F.; VIÉGAS, R. A. Physiological adjustment to salt stress in *R. communis* seedlings is

associated with a probable mechanism of osmotic adjustment and a reduction in water lost by transpiration. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 233-239, 2014.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 01, p. 13-29, 2002.

SACRAMENTO, B. L. do; CRUZ, T. S.; SILVA, L. L.; MOTA, N. A. B.; AZEVEDO NETO, A. D. de. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18; p. 3344-3354, 2014.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SENGAR, K.; SENGAR, R. S.; SINGH, A. Biotechnological and genomic analysis for salinity tolerance in sugarcane. **International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research**, Baoding, v. 4, p. 407-414, 2013.

SHARMA, P. K.; HALL, D. O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. **Journal of Plant Physiology**, v.138, n.5, p.614-619, 1991.

SILVA, A. O. da; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. de F. e; TANAKA, A. A.; JÚNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1143-1151, 2013.

SILVA, C. D. S. e; SANTOS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C. de; SILVA JÚNIOR, C. D. da. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agrícola**, v.68, n.1, p.62-68, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. **Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura irrigada: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. p171-180.

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

SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; LACERDA, C. F. de.; AZEVEDO, B. M. de.; SILVA, G. L. da.; COSTA, F. R. B. Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 3, p. 359-367, 2014.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.6, p.586-592, 2011.

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

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v.104, p.199-209, 2005.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S. et al. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v.45, n.1, p.523-539, 2006.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **J. Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

WAHID, A. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. **Journal of Plant Research**, Faisalabad, v. 120, n. 2, p. 219-228, 2007.

WILLADINO, L.; CÂMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11, p. 1-23, 2010.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. de L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **R. Bras. Agrociência**, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

ZENG, L.; SHANNON, M. C.; LESCH, S. M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agriculture and Water Management**, v.48, p.191-206, 2001.

CAPÍTULO 4

POTENCIAL PRODUTIVO E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS DO FEIJÃO CAUPI IRRIGADO SOB ESTRESSE HÍDRICO E SALINO

RESUMO

Avaliou-se com este trabalho as respostas bioquímicas (solutos orgânicos e inorgânicos) e o potencial produtivo total de duas cultivares de feijão-caupi sob a influência de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação associados a dois regimes hídricos, 50% e 100% da ET_{pc}. O experimento foi conduzido em vasos, a céu aberto, na área experimental da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, sob um delineamento estatístico de blocos ao acaso em parcelas subdivididas. Os dois regimes hídricos (parcelas) foram baseados pela evapotranspiração potencial da cultura (100 e 50% da ET_{pc}). Já os níveis de salinidade da água de irrigação (0,95; 2,45; 3,95; 5,45 e 6,95 dS m⁻¹) foram distribuídos nas subparcelas enquanto as cultivares (Epace 10 e BRS Itaim) nas subsubparcelas. O aumento da concentração de sais na água de irrigação propiciou maior acúmulo dos teores de N-aminossolúveis, prolina e Cl⁻ nas folhas do feijoeiro caupi. Sob um regime hídrico de 50% da ET_{pc}, os teores de N-aminossolúveis e K⁺ são superiores aos do regime de 100% da ET_{pc}. A cultivar Epace 10 apresenta maiores acúmulos N-aminossolúveis e de Cl⁻, além de apresentar maior acúmulo de prolina livre, sob um regime hídrico de 50% da ET_{pc}. O potencial produtivo total do feijão caupi é reduzido pela concentração de sais na água de irrigação. A cultivar Epace 10 apresentou maior tolerância as condições de manejo impostas, tornando-se mais adaptada as condições de cultivo em regiões sujeitas a estresse hídrico e/ou salino.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L. Osmólitos compatíveis. Produtividade.

CHAPTER 4

PRODUCTIVE POTENTIAL AND INCREASE OF SOLUTES ORGANIC AND INORGANIC IN COWPEA IRRIGATION UNDER WATER STRESS AND SALINE

ABSTRACT

This study evaluated the biochemical responses (organic and inorganic solutes) and the total productive potential of two cowpea cultivars under the influence of different irrigation water salinity levels associated with two water regimes, 50% and 100% of ET_{pc}. The experiment was conducted in pots the open air, in the experimental area of the weather station of the Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil under an experimental design of randomized blocks in split plots. The two water regimes (plots) were based on the potential crop evapotranspiration (100 and 50% of ET_{pc}). Already irrigation water salinity levels (0.95; 2.45; 3.95; 5.45 and 6.95 dS m⁻¹) were distributed in the subplots as cultivars (Epace 10 and BRS Itaim) in subsubplots. The increased concentration of salts in irrigation water provided greater accumulation of N-aminossolúveis content, proline and Cl⁻ in the bean cowpea leaves. Under a water regime 50% of ET_{pc}, the N-aminossolúveis content and K⁺ is higher than the water regime of 100% of ET_{pc}. The cultivar Epace 10 presents higher accumulations N-aminossolúveis and Cl⁻, besides presenting more free proline accumulation, under a water regime 50% of ET_{pc}. The total yield potential of the cowpea is reduced by the salt concentration in the irrigation water. The cultivar Epace 10 showed greater tolerance imposed management conditions, making it more suitable growing conditions in regions subject to water stress and/or saline.

Key words: *Vigna unguiculata* L. Osmolytes compatible. Productivity.

1 INTRODUÇÃO

O feijão de corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] é de grande importância na alimentação das populações do semiárido nordestino brasileiro, pois fornece um alimento de alto valor nutritivo sendo, portanto, um componente básico da dieta alimentar gerando também emprego e renda, tanto na zona rural quanto na zona urbana (CALVET et al., 2013). No entanto, devido ao baixo nível tecnológico empregado em seu cultivo, uma vez que é amplamente cultivado por pequenos agricultores em cultivo de sequeiro, em sistema de consórcio associadas a outras culturas comuns da região, a produtividade média do feijão-de-corda alcançada no Brasil tem sido de apenas 332,67 kg ha⁻¹.

Segundo dados da Embrapa Arroz e Feijão (2015), a área total plantada no Brasil de feijão-caupi no ano de 2014 foi de 1.202.491 ha, com uma produção alcançada de 482.665 toneladas e produtividade média de 401 kg ha⁻¹. A região Nordeste lidera o ranking com uma produção de 320.000 t e uma área plantada de 1.037.847 ha, tendo como principais produtores os Estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, cujas produtividades médias alcançadas são de 270, 258 e 291 kg ha⁻¹, respectivamente.

A irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos, no entanto esta prática deve ser usada de forma racional, uma vez que as condições de clima do Nordeste (altas temperaturas, baixa pluviosidade e os elevados teores de sais nas águas de irrigação), vêm causado problemas de salinização nos solos. A crescente necessidade de se aumentar a produção de alimentos, tem aumentado significativamente a expansão das áreas cultivadas, porém essa busca não leva em conta apenas a expansão das áreas agrícolas, mas também, do uso de águas consideradas de qualidade inferior, bem como a reutilização de água de drenagem com elevados teores de sais e a utilização de espécies capazes de apresentar elevada rentabilidade quando irrigadas com esses tipos de água (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000).

Para manter a absorção de água em condições de estresse osmótico, muitas plantas acumulam solutos orgânicos e inorgânicos, os quais baixam o potencial osmótico, num mecanismo conhecido como ajustamento osmótico (WILLADINO et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

De acordo com Ramegowda e Senthil-Kumarb (2015), a maioria das espécies tem desenvolvido complexos mecanismos adaptativos para diluir ou contrabalançar os efeitos dos estresses hídricos e salinos, mediante ajustes bioquímicos e/ou iônicos que podem contribuir

para uma melhor adaptação das plantas aos ambientes nos quais ocorrem o predomínio destas condições.

Em geral, os solutos inorgânicos, principalmente os íons Na^+ e Cl^- , são compartimentalizados no vacúolo, enquanto os orgânicos (carboidratos solúveis, a prolina e os N-aminossolúveis) acumulam-se no citosol, equilibrando desta forma o potencial hídrico entre os diversos compartimentos celulares (ASHRAF; HARRIS, 2004; PRISCO; GOMES FILHO, 2010). O acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos é um processo comum em plantas submetidas a estresses ambientais, tais como hídrico e o salino (MUNNS, 2002).

Considerando a importância do feijoeiro caupi para a população de baixa renda e a necessidade de elucidar componentes das respostas de cultivares desenvolvidas para o plantio em regime de sequeiro na região Nordeste frente às limitações hídricas impostas, objetivou-se com este estudo avaliar os aspectos bioquímicos e o potencial produtivo total de cultivares de feijão-caupi submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação associados a dois regimes hídricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Vide capítulo 2

2.2 Material vegetal

Vide capítulo 2

2.3 Descrição da área experimental

Vide capítulo 2

2.4 Instalação e condução do experimento

Vide capítulo 2

2.5 Adubação, semeadura e desbaste.

Vide capítulo 2

2.6 Delineamento experimental e composição dos tratamentos

Vide capítulo 2

2.7 Sistema e manejo da irrigação

Vide capítulo 2

2.8 Concentrações de sais na água de irrigação

Vide capítulo 2

2.9 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Vide capítulo 2

2.10 Variáveis analisadas

Aos 45 dias após o plantio (DAP), o material vegetal foi coletado para realização das análises de solutos orgânicos e inorgânicos, tomando-se amostras de folhas (3ª a partir do ápice) em apenas uma, das três unidades experimentais de cada subparcela. O material coletado foi envolto em papel alumínio, devidamente identificado, e imediatamente congelado em nitrogênio líquido (- 196 °C). Em seguida, o material vegetal foi transportado em ambiente refrigerado até o Laboratório de Fisiologia Vegetal, do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, da Universidade Federal do Ceará, onde o mesmo foi submetido ao processo de liofilização. Na sequência, o material vegetal foi macerado em almofariz, com auxílio de nitrogênio líquido, até a obtenção de um pó. O pó liofilizado obtido foi armazenado a - 4 °C até a sua posterior utilização, na elaboração dos extratos.

Amostras de 50 mg do pó liofilizado das folhas de feijoeiro foram utilizadas individualmente para o preparo dos extratos, mediante a homogeneização das amostras com 5 mL de água deionizada, sendo o homogenato mantido a 75 °C em banho-maria, durante 1 h, com agitações a cada quinze minutos. Transcorrido este tempo, o material foi centrifugado a 3.000 x g por 10 minutos, a temperatura ambiente e ao final do referido processo, o sobrenadante foi coletado, filtrado e armazenado, sendo em seguida armazenado em tubos de vidro devidamente identificados e conservados a -25 °C até a sua posterior utilização.

2.10.1 Determinação dos teores de solutos orgânicos

2.10.1.1 Carboidratos solúveis, N-aminossolúveis e prolina

Os teores de carboidratos solúveis foram determinados de acordo com o método de Dubois *et al.* (1956). Em alíquotas de 0,5 mL dos extratos convenientemente diluídos, foram adicionados 0,5 mL de fenol a 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico. A mistura foi agitada e deixada em repouso por 15 minutos para o seu resfriamento. Em seguida, as amostras foram submetidas à leitura de absorbância de 490 nm. Os teores de carboidratos solúveis foram

estimados por meio de uma curva padrão de glicose D(+) anidra. Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

Os teores de N-aminossolúveis foram determinados de acordo com o método de Yemm e Cocking (1955). Em tubos de ensaio, foram adicionados 0,5 mL dos extratos convenientemente diluídos, 0,25 mL de tampão citrato a 0,2 M (pH 5,0), 0,5 mL de cianeto de potássio (KCN) a 0,2 mM em metilcelosolve e 0,1 mL de ninhidrina a 5% em metilcelosolve. Em seguida, os tubos foram fechados, agitados e mantidos a 100 °C, em banho-maria, durante 20 minutos. A reação foi interrompida colocando-se os tubos em banho de gelo, e após o resfriamento, foram adicionados 0,65 mL de etanol a 60%. Os teores de N-aminossolúveis foram estimados através de leituras de absorvância em 570 nm, tendo como referência uma curva padrão de glicina. Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

Os teores de prolina foram determinados de acordo com Bates, Waldrene Teare (1973). Em tubos de ensaio contendo 1,0 mL do extrato convenientemente diluído, foram adicionados 1,0 mL de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, dissolvida em 30 mL de ácido acético e 20 mL de ácido fosfórico a 6 M). Em seguida, os tubos de ensaio foram hermeticamente fechados e, após homogeneização da mistura de reação, foram deixados em banho com água fervente. A reação foi interrompida colocando-se os tubos de ensaio em banho de gelo. Após o resfriamento, foram adicionados 2,0 mL de tolueno ao meio de reação. Após agitação vigorosa da solução, a fase superior menos densa (cromóforo + tolueno) foi aspirada com o auxílio de uma pipeta Pasteur e submetida à leitura de absorvância de 520 nm, sendo o tolueno utilizado como branco. Os teores de prolina foram estimados tendo como referência uma curva padrão de prolina e utilizando-se o tolueno como branco. Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

2.10.2 Determinação dos teores de solutos inorgânicos

2.10.2.1 Teores de potássio, sódio e cloreto

Os teores dos íons potássio (K^+) e sódio (Na^+) das folhas do feijoeiro caupi foram determinados com o auxílio de um fotômetro de chama [Micronal, modelo B462 (São Paulo, São Paulo, Brasil)], obedecendo à metodologia proposta por Malavolta (1997), sendo as leituras realizadas de cada extrato em duplicata. Os teores obtidos dos íons potássio (K^+) e

sódio (Na^+) representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

Os teores do íon cloreto (Cl^-) das folhas foram determinados de acordo com o método recomendado por Gaines, Parker e Gascho (1984). Para tanto, a 1,0 mL do extrato bruto, convenientemente diluído, adicionaram-se 0,167 mL da mistura de reação formada por tiocianato de mercúrio [$\text{Hg}(\text{SCN})_2$] a 13,2 mM, em metanol a 100%, e nitrato férrico [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$] a 20,2% (p/v), em água deionizada, na proporção de 4:1. As leituras foram realizadas em duplicata para cada extrato. Os teores obtidos do íon cloreto representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo também expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

2.10.3 Determinação do Potencial Produtivo Total

A colheita de grãos foi realizada semanalmente a partir dos 60 dias após o plantio (DAP). Obteve-se o número de vagens por planta pela média da coleta das vagens em cinco plantas contidas em cada subsubparcela. Também foram aferidas a massa das sementes contidas em cada vagem. De posse desses dados foi estimado o potencial produtivo total (PPT) da cultura, sendo os valores expressos em kg ha^{-1} .

2.11 Análises estatísticas

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade.

Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se optar por aquele modelo matemático que melhor se ajustou aos dados do experimento, tendo em vista os coeficientes de determinação R^2 , o valor do teste F da análise de variância e os aspectos relacionados as respostas biológicas dos processos, utilizando-se, para isso, o software para análises estatísticas Assistat 7.7 beta, auxiliado pelo software Microsoft Office Excel 2007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Carboidratos solúveis, N-aminossolúveis e prolina

O resumo das análises das variâncias apresentados na Tabela 1 revela que o teor de N-aminossolúveis foi influenciado significativamente, de maneira isolada, pelos fatores regime hídrico, salinidade e cultivares ($p \leq 0,01$). Os teores de carboidratos solúveis foram influenciados significativamente pela interação entre os fatores regime hídrico x salinidade ($p \leq 0,01$). E os teores de prolina sofreram influência significativa pelos fatores salinidade e cultivares ($p \leq 0,01$) e pela interação entre regime hídrico x cultivares ($p \leq 0,05$).

Tabela 1 - Resumo das análises das variâncias para os teores de carboidratos solúveis, N-aminossolúveis e de prolina em folhas de feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

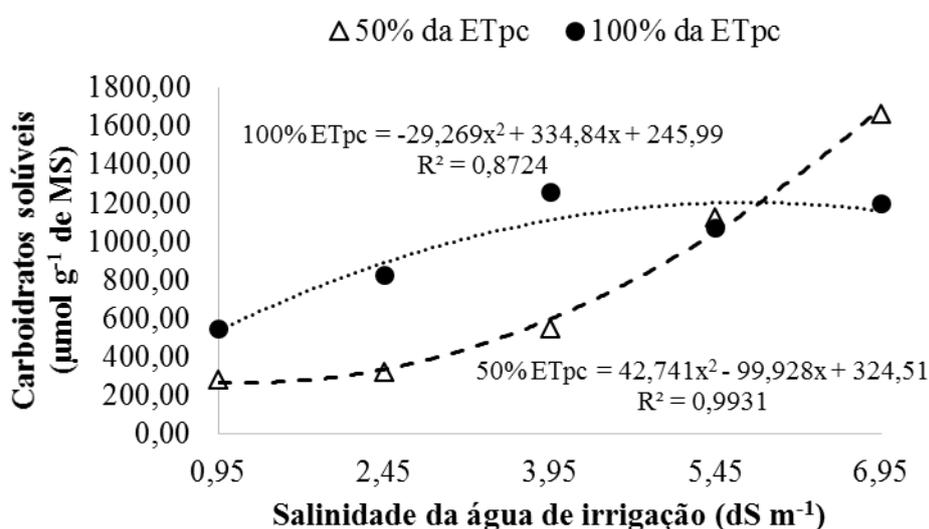
FV	GL	Quadrados Médios		
		Cs	N-amino	PROL
Blocos	2	49830,67 ^{ns}	2,57 ^{ns}	2,29 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	548606,51 ^{ns}	230,52 ^{**}	7,86 ^{ns}
Resíduo - A	2	107414,93	0,22	1,48
Parcelas	5			
Salinidade (B)	4	1989876,19 ^{**}	440,16 ^{**}	89,58 ^{**}
Interação - A x B	4	646054,60 ^{**}	6,26 ^{ns}	3,36 ^{ns}
Resíduo - B	16	55011,67	15,07	1,43
Subparcelas	29			
Cultivares (C)	1	146579,64 ^{ns}	85,04 ^{**}	29,18 ^{**}
Interação - A x C	1	75,53 ^{ns}	9,95 ^{ns}	8,41 [*]
Interação - B x C	4	4450,98 ^{ns}	3,18 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Interação - A x B x C	4	6821,57 ^{ns}	5,05 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Resíduo - C	20	37220,42	5,26	1,24
Total	59			
C.V - A (%)		37,05	3,42	16,51
C.V - B (%)		26,51	28,10	16,25
C.V - C (%)		21,81	16,61	15,10

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; Cs: Carboidratos solúveis; N-amino: N-aminossolúveis; Prol: Prolina; (*); Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ^{ns}: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

Uma das respostas metabólicas ao estresse hídrico e/ou salino em algumas espécies é o aumento na síntese de osmólitos compatíveis, como forma de assegurar a turgescência e o conteúdo de água nas células. Eles auxiliam o ajustamento osmótico, protegem estruturas subcelulares e reduzem os danos oxidativos em resposta ao estresse imposto (SILVEIRA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, os teores de carboidratos, aminoácidos e prolina são estudados com frequência por diversos pesquisadores, quando se pretende identificar marcadores fisiológicos e bioquímicos relacionados ao estresse hídrico e salino em plantas (PAIXÃO et al. 2014).

De maneira geral, o incremento da concentração de sais na água de irrigação propiciou um aumento dos teores de carboidratos das plantas de feijão-caupi, resultando num modelo polinomial quadrático para ambos os regimes hídricos analisados (Figura 1). Resultados semelhantes aos encontrados por Cunha et al. (2013), ao constatarem aumento nos teores de carboidratos solúveis em plântulas de *Jatropha curcas* L. cultivadas sob diferentes concentrações de sais.

Figura 1 – Carboidratos solúveis (Cs) de folhas de feijão-caupi em regimes hídricos de 50% da ETpc (Δ) e 100% da ETpc (\bullet), submetido a diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Os teores de carboidratos solúveis foram maiores nas plantas irrigadas sob um regime hídrico de 100% da ETpc, apenas nos tratamentos submetidos aos níveis de 0,95, 2,45 e 3,95 dS m⁻¹. No entanto, sob regime hídrico de 50% da ETpc, nos tratamentos submetidos aos níveis de 5,45 e 6,95 dS m⁻¹, os teores de carboidratos solúveis encontrados foram superiores (Figura 1).

Estes resultados sugerem que sob regime hídrico de 50% da ET_{pc}, o feijoeiro apresentara um custo energético mais elevado para a osmorregulação por meio da síntese de carboidratos do que sob um regime hídrico de 100% da ET_{pc}. Alternativamente, a ocorrência de distúrbios induzidos pelo déficit hídrico pode ter afetado a translocação de solutos orgânicos da parte aérea para a raiz, resultando em um maior acúmulo desses solutos nas folhas do feijoeiro caupi irrigado sob regime hídrico de 50% da ET_{pc} (AZEVEDO NETO et al., 2010).

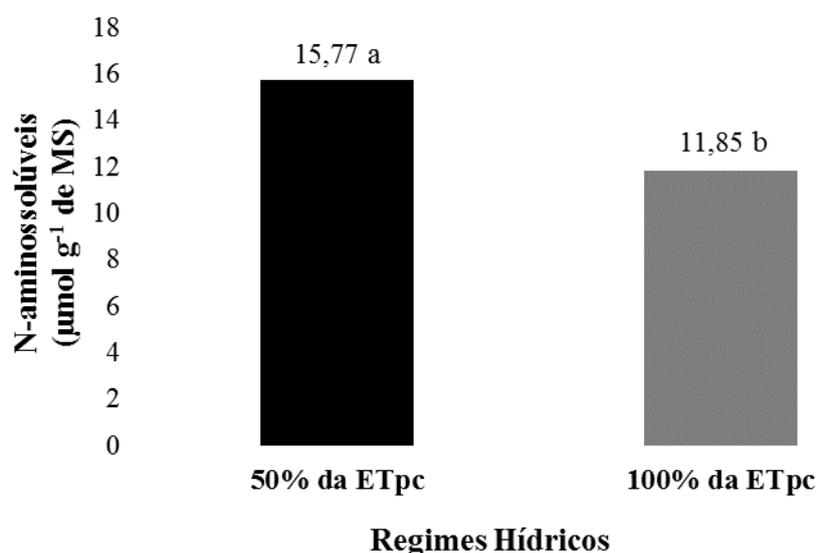
Outra hipótese sustentada é que o maior acúmulo desses solutos nas folhas do feijoeiro sob regime hídrico de 50% da ET_{pc} resultou de um efeito de concentração em virtude do menor crescimento em condições de estresse hídrico. Independentemente da causa, os resultados deste trabalho sugerem que o maior acúmulo de solutos orgânicos nas folhas pode, ao menos em parte, explicar a maior sensibilidade das plantas submetidas à restrição hídrica (50% da ET_{pc}), quando comparada aquelas irrigadas com 100% da ET_{pc}.

Quando submetidas ao déficit hídrico, muitas mudanças ocorrem na planta. Essas mudanças dependem da severidade e da duração do estresse, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e da natureza do estresse. A maioria dessas modificações visa a manter o crescimento e a reprodução da planta em ambientes com limitações na disponibilidade de água (MAIA et al., 2007).

Na Figura 2 observa-se que os teores foliares de N-aminossolúveis diferiram entre os regimes hídricos. Comparando-se os regimes hídricos avaliados, verifica-se que as plantas irrigadas com 50% da ET_{pc}, tiveram um incremento nos teores de N-aminossolúveis de cerca de 25% quando comparados com àquelas irrigadas sem restrição hídrica (100% da ET_{pc}). Os resultados sugerem que essa variável (N-aminossolúveis) é extremamente sensível à variação do estado hídrico das plantas podendo ser utilizada como sensor prévio de deficiência hídrica nas plantas.

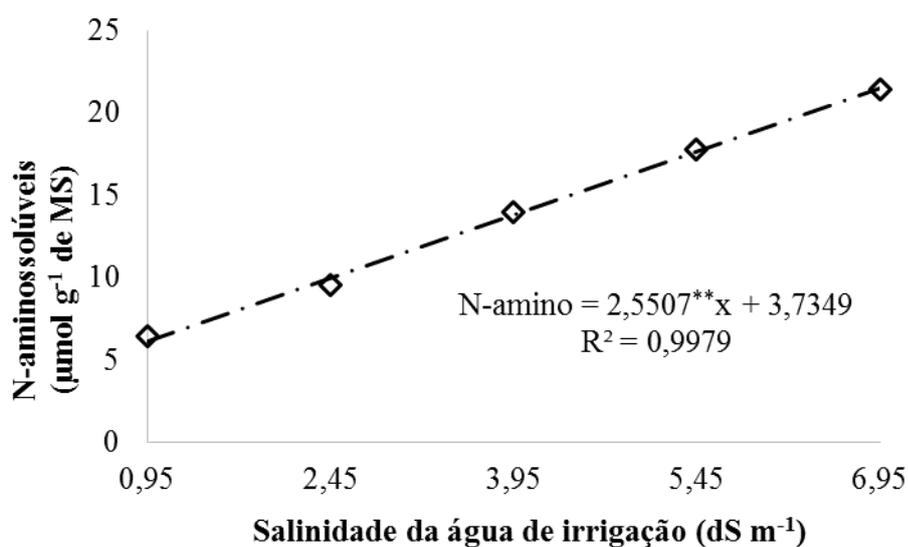
Corroborando com os resultados encontrados, Amorim et al. (2011) comparando as respostas bioquímicas, quanto aos teores foliares de N-aminossolúveis em plantas de cajueiro anão precoce cultivadas em condições de sequeiro, também constataram um incremento nos teores desta variável comparadas as plantas cultivadas sob regime irrigado.

Figura 2 – Teores de N-aminossolúveis (N-amino) em folhas de feijão-caupi irrigado em função de diferentes regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016



Os teores de N-aminossolúveis nas folhas aumentaram linearmente com a concentração crescente de sais na água de irrigação, havendo um incremento de 248,5% entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) salinidade (Figura 3). Resultados semelhantes aos encontrados por Feijão et al. (2013) que constataram um aumento linear nos teores de N-aminossolúveis em plantas de milho submetidas à salinidade.

Figura 3 – Teores de N-aminossolúveis (N-amino) em folhas de feijão-caupi irrigado em função de diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016

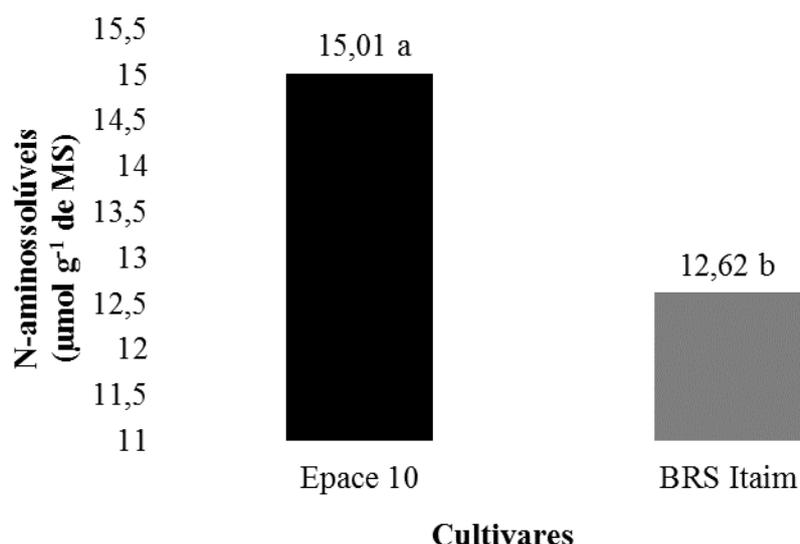


Contrariando os resultados obtidos na presente pesquisa, Calvet et al. (2013) analisando a acumulação de solutos em feijão-de-corda irrigado com águas de salinidade crescente em diferentes fases de desenvolvimento, constatou que os teores de aminoácidos nas folhas e raízes não foram afetados significativamente pela salinidade imposta nos diferentes tratamentos avaliados.

Por meio de alguns estudos, verifica-se que os aminoácidos desempenham importante papel no balanço osmótico de células sob estresse salino e hídrico, além de estabilizar estruturas subcelulares (membranas e proteínas) sob condições de estresse (PARIDA; DAS, 2005). Se os aminoácidos livres estão localizados principalmente no citosol e organelas e a concentração nessa fração celular pode ser até dez vezes maior em comparação àquela determinada na fração celular total (SILVEIRA et al., 2009), pode-se inferir que os aminoácidos mostram grande importância no ajustamento osmótico de folhas de feijão-caupi, submetido ao estresse salino.

Na Figura 4 pode-se observar que o acúmulo sobre os teores de N-aminossolúveis nas folhas da cultivar Epace 10 ($15,01 \mu\text{mol g}^{-1}$ de MS) foi superior ao do observado na cultivar BRS Itaim ($12,62 \mu\text{mol g}^{-1}$ de MS). Os resultados sugerem que os teores destes osmólitos na cultivar Epace 10 acumulam em formas compatíveis no interior das células e são utilizados como mecanismos de tolerância ao estresse (FEIJÃO et al. 2011).

Figura 4 – Teores de N-aminossolúveis (N-amino) das cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016

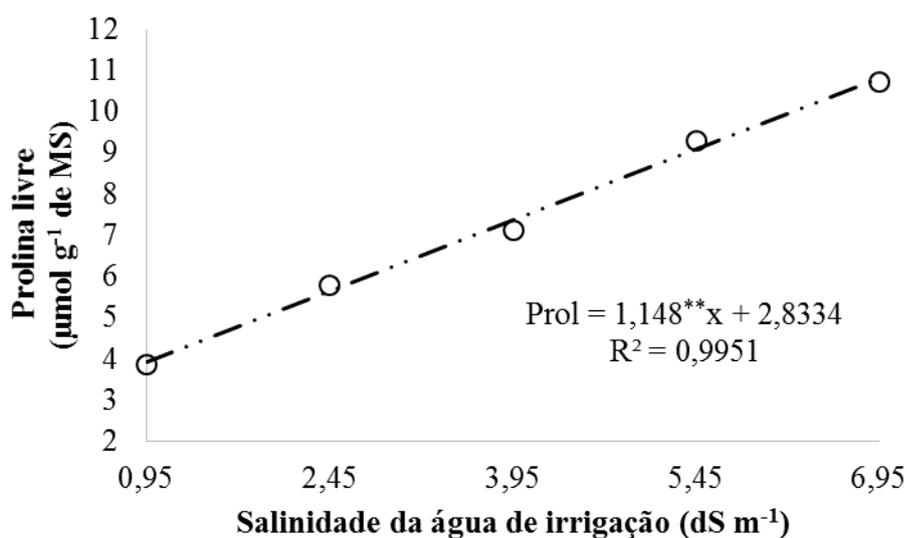


Corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho, Costa et al. (2003) analisando os efeitos da salinidade nos teores de solutos orgânicos nas folhas de sete

cultivares de *Vigna unguiculata* constataram que a salinidade aumentou o teor de N-aminossolúvel na cultivar TVU (50,0%), enquanto nas demais (Pitiúba, Vita 5, Epace 10, BR 10 Piauí, Vita 3 e CE 670) não foram observadas alterações significativas.

Os teores de prolina livre nas folhas aumentaram linearmente com a concentração crescente de sais na água de irrigação, havendo um incremento de 175,5% entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) salinidade, sugerindo que o acúmulo deste aminoácido no feijoeiro caupi foi significativo no mecanismo de osmorregulação (Figura 5). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Souza et al. (2011) ao constatarem um aumento linear nos teores de prolina em folhas de feijoeiro caupi, expostas a diferentes concentrações de NaCl. No entanto, os autores relatam que mesmo com o aumento da produção de prolina, as concentrações observadas foram quantitativamente muito baixas para causar a osmorregulação dessa espécie.

Figura 5 – Teores de Prolina livre (Prol) em folhas de feijão-caupi irrigado em função de diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Tem-se atribuído participação dos solutos orgânicos acumulados em tecidos de plantas expostas a salinidade no ajustamento osmótico e na proteção de estruturas celulares (STRANGE, 2004). Diversos estudos têm demonstrado que a acumulação de solutos compatíveis, como a prolina, está relacionada à resistência a estresses abióticos, o que indica que esse soluto têm papel na osmoproteção (ASHARAF; HARRIS, 2004). No entanto, outros estudos têm indicado que a acumulação de solutos orgânicos, em condições ambientais

adversas, deve estar mais relacionada a distúrbios metabólicos do que ao ajustamento osmótico (SILVEIRA et al., 2009).

Analisando a interação entre os fatores regime hídrico e cultivares (Tabela 2), pode-se observar que o valor médio da concentração de prolina livre obtido na cultivar Epace 10 ($8,08 \mu\text{mol g}^{-1}$ de MS) foi superior ao encontrado pela cultivar BRS Itaim ($5,93 \mu\text{mol g}^{-1}$ MS) sob regime hídrico de 50% da ETpc. Sob regime hídrico de 100% da ETpc não foram encontradas diferenças significativas entre as cultivares avaliadas. No entanto, a concentração de prolina apresentado pela cultivar BRS Itaim entre os regimes hídricos impostos revelaram superioridade sob condições hídricas de 100% da ETpc ($7,41 \mu\text{mol g}^{-1}$ de MS).

Tabela 2 – Valores médios dos teores de prolina (Prol, $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS) na interação entre duas cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob dois regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016^a

Regime Hídrico	Cultivares	
	Epace 10	BRS Itaim
50% da ETpc	8,08 aA	5,93 bB
100% da ETpc	8,05 aA	7,41 aA

^bDMS coluna = 1,04; DMS linha = 0,84

^aProl – Teores de prolina livre, $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS; ^bDMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A prolina tem sido considerada um útil marcador de estresse de plantas submetidas ao déficit hídrico, desde que nestas condições, normalmente, verifique-se seu acúmulo (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013). Em consonância, neste trabalho, foi evidenciado um acúmulo mais pronunciado de prolina nas folhas da cultivar Epace10 sob regime hídrico de 50% da ETpc, demonstrando maior tolerância deste sobre a cultivar BRS Itaim. Em plantas submetidas à seca, este aminoácido pode atuar na diminuição do potencial osmótico, na hidratação de macromoléculas, como fonte de energia utilizável e de armazenamento de nitrogênio (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010).

Vale destacar que existe uma grande variabilidade na tolerância à seca entre espécies e variedades sendo que a avaliação do desempenho dos diferentes materiais genéticos representa um passo importante para a recomendação de cultivo (RUFINO et al., 2012).

3.2 Potássio, sódio e cloreto

O resumo das análises das variâncias apresentados na Tabela 3 revelam que o teor de K^+ foi influenciado significativamente apenas pelo fator regime hídrico ($p \leq 0,05$). Os teores de Na^+ não foram influenciados significativamente por nenhum dos fatores estudados. Já os teores Cl^- sofreram influência significativa na interação entre os fatores regime hídrico x salinidade ($p \leq 0,05$) e pelos fatores salinidade e cultivares, isoladamente ($p \leq 0,01$). Não foi constatado influência significativa para a interação tripla (regime hídrico x salinidade x cultivares) em nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 3 - Resumo das análises das variâncias para os teores de potássio, sódio e cloreto em folhas de feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

FV	GL	Quadrados Médios		
		K^+	Na^+	Cl^-
Blocos	2	9088,78 ^{ns}	9264,60 ^{ns}	118,48 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	99033,43*	39046,39 ^{ns}	14,42 ^{ns}
Resíduo - A	2	2025,01	7730,05	42,38
Parcelas	5			
Salinidade (B)	4	28385,31 ^{ns}	1853,04 ^{ns}	3964,11 ^{**}
Interação - A x B	4	29854,98 ^{ns}	2222,70 ^{ns}	346,45*
Resíduo - B	16	10791,56	2941,58	87,21
Subparcelas	29			
Cultivares (C)	1	14319,69 ^{ns}	9333,93 ^{ns}	1145,15 ^{**}
Interação - A x C	1	17597,41 ^{ns}	171,43 ^{ns}	51,86 ^{ns}
Interação - B x C	4	2079,66 ^{ns}	3524,61 ^{ns}	25,68 ^{ns}
Interação - A x B x C	4	18773,27 ^{ns}	2286,81 ^{ns}	16,91 ^{ns}
Resíduo - C	20	7627,77	3074,22	78,47
Total	59			
C.V - A (%)		9,45	57,99	8,53
C.V - B (%)		21,81	35,77	12,23
C.V - C (%)		18,34	36,57	11,60

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; K^+ : Potássio; Na^+ : Sódio; Cl^- : Cloreto; (*); Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ^{ns}: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

Na figura 6 pode-se observar que os teores de potássio (K^+) foram superiores sob um regime hídrico de 50% da ET_{pc} (516,93 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS), apresentando um acréscimo de

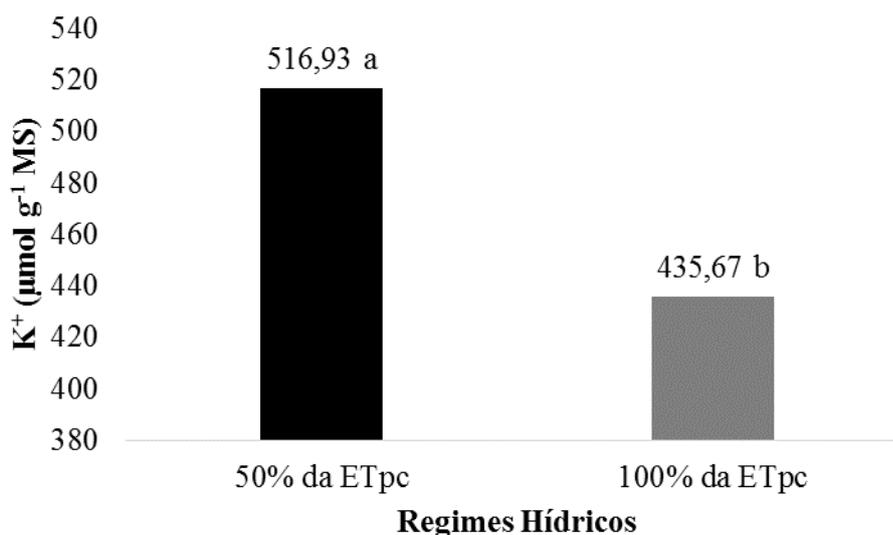
18,65%, comparado ao regime hídrico de 100% da ET_{pc} (435,67 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS). Os resultados sugerem que nas plantas de feijoeiro caupi, o íon K^+ contribui para o ajustamento osmótico, sob condições de menor disponibilidade hídrica.

Segundo Catuchi et al. (2012) esse elemento exerce papel-chave na regulação osmótica e promove a manutenção do turgor nas células-guardas, por meio da elevação do seu potencial osmótico, o que resulta em absorção de água por essas células e por adjacentes, e, conseqüentemente, gera maior turgor e abertura dos estômatos (LANGER et al., 2004).

Assim, em condições de estresse hídrico, o feijoeiro acumula o íon K^+ , uma vez que este íon também é responsável pela translocação de fotoassimilados no floema para manter a taxa fotossintética da planta e proteção dos cloroplastos, o que evita o desvio de elétrons para a geração de formas reativas de oxigênio (CAKMAK, 2005).

Silva (2013) avaliando o conteúdo de K^+ em folhas de *Jatropha curcas* L. submetidas ao déficit hídrico, não constataram diferença significativa entre os genótipos avaliados (CNPAE 183 e 191), no entanto, o autor destaca que as plantas submetidas a déficit hídrico severo, apresentaram maior acúmulo de K^+ , o que possivelmente tenha contribuído para a osmorregulação da cultura sob tais condições de estresse.

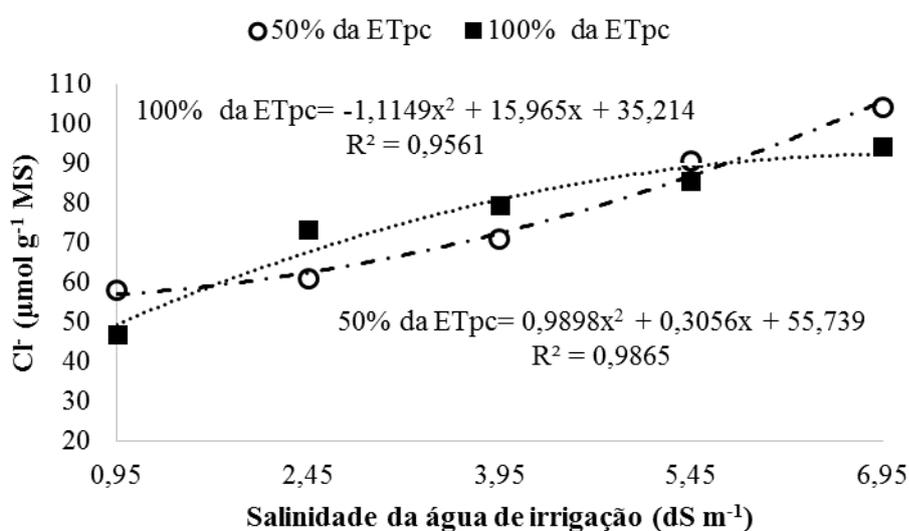
Figura 6 – Teores de potássio (K^+) em folhas de feijão-caupi irrigado sob diferentes regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016



O acúmulo dos teores de íons Cl^- nas plantas de feijão caupi irrigadas com 50 e 100% da ET_{pc} foram ajustadas a modelos quadráticos quando submetidas à concentrações crescentes de sais na água de irrigação (Figura 7). O excesso de sódio e cloreto causa danos

por toxicidade quando não compartimentalizados adequadamente, exportados ou secretados (FRICKE et al., 2006), o que é confirmado neste experimento pelos sintomas visíveis de toxidez foliar, como amarelecimento nas bordas das folhas das plantas submetidas a estresse salino a partir de concentrações iguais ou superiores a 2,45 dS m⁻¹.

Figura 7 – Teores de cloreto (Cl⁻) em folhas de feijão-caupi em regimes hídricos de 50% da ET_{pc} (○) e 100% da ET_{pc} (■), submetidos a diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Resultados semelhantes foram apresentados por Sousa et al. (2007) ao avaliarem o teor de cloreto de caules e folhas de plantas de feijão-de-corda, cv Pitiúba, submetida a diferentes concentrações de sais na água de irrigação. Os autores atribuíram tais resultados, muito provavelmente, à composição química da água de irrigação utilizada no experimento (misturas de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O na proporção de 7:2:1).

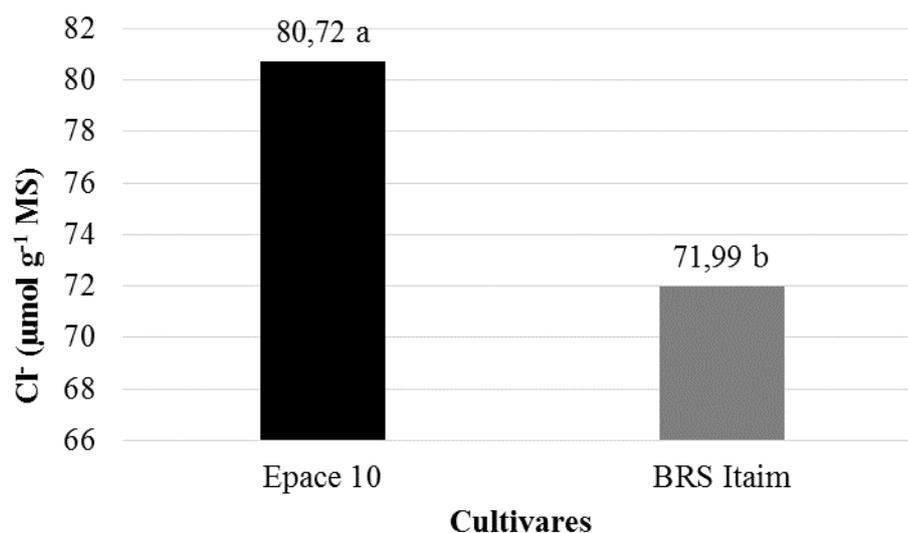
Uma possível explicação para os resultados obtido na lâmina de 100% da ET_{pc}, nos tratamentos onde os teores de Cl⁻ foram inferiores aos do regime hídrico de 50% da ET_{pc} (2,45 e 3,95 dS m⁻¹) deu-se, pela maior lixiviação sobre o acúmulo de sais do solo, pois, de acordo com Bezerra et al. (2010), sob melhor disponibilidade de água, o excesso de sais no perfil do solo é lixiviado, resultando em menor efeito da salinidade no ambiente radicular, além de, favorecer também a translocação deste íon na planta, resultando portanto, em menor acúmulo de Cl⁻ na folha.

Entre as cultivares avaliadas, o teor de Cl⁻ encontrado na cultivar Epace 10 foi superior (80,72 μmol g⁻¹ de MS) ao constatado pela cultivar BRS Itaim (71,99 μmol g⁻¹ de

MS). Os resultados sugerem que a cultivar Epace é mais eficiente em compartimentalizar esse íon no vacúolo, sendo capaz de desenvolver ajustamento osmótico para a manutenção da turgescência celular (Figura 8).

Como a cultivar Epace apresentou, de maneira geral, melhor crescimento e desenvolvimento do que a cultivar BRS Itaim, esperava-se que esse íon tivesse maior acúmulo nas folhas desta primeira. Vale salientar que o acúmulo de Cl^- pode ter contribuído para a inibição do crescimento e do rendimento da cultura, visto que as plantas cultivadas, de modo geral, têm baixa capacidade de compartimentalizar esses íons nos vacúolos, ocorrendo acúmulo no citoplasma e causando toxidez às estruturas e processos celulares, tal como a fotossíntese (ASSIS JÚNIOR et al. 2007).

Figura 8 – Teores de cloreto (Cl^-), em folhas, das cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016



3.3 Potencial produtivo total

O resumo da análise da variância apresentado na Tabela 4 revela que o potencial produtivo total da cultura foi influenciado significativamente, de maneira isolada, pelos fatores salinidade e cultivares ($p \leq 0,01$). Por outro lado, não houve interação significativa para nenhuma das interações analisados (regime hídrico x salinidade; regime hídrico x cultivares; salinidade x cultivares e regime hídrico x salinidade x cultivares).

Tabela 4 - Resumo da análise da variância do potencial produtivo total do feijoeiro caupi, cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e regimes hídricos. Fortaleza, Ceará, 2016¹

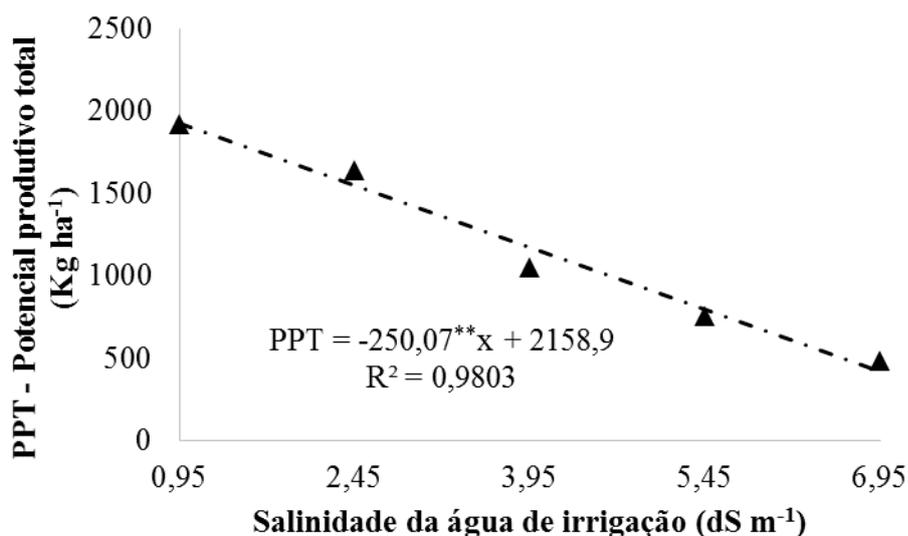
FV	GL	Quadrados Médios
		PPT
Blocos	2	145130,63 ^{ns}
Regime Hídrico (A)	1	722008,62 ^{ns}
Resíduo - A	2	217450,66
Parcelas	5	
Salinidade (B)	4	4305804,42 ^{**}
Interação – A x B	4	187470,23 ^{ns}
Resíduo - B	16	63526,44
Subparcelas	29	
Cultivares (C)	1	585596,69 ^{**}
Interação – A x C	1	4077,09 ^{ns}
Interação – B x C	4	47240,75 ^{ns}
Interação – A x B x C	4	44408,72 ^{ns}
Resíduo - C	20	64144,35
Total	59	
C.V – A (%)		39,82
C.V – B (%)		21,52
C.V – C (%)		21,63

¹FV: Fontes de variação; GL: Graus liberdade; PPT: Potencial produtivo total; (*); Significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ^{ns}: não significativo; C.V.: Coeficiente de variação.

Na Figura 9 pode-se observar que o aumento da concentração de sais na água de irrigação propiciou um modelo linear decrescente para o potencial produtivo total da cultura do feijão caupi. Resultados semelhantes são apresentados por Assis Júnior (2007) ao constatarem uma redução na produtividade do feijão caupi, cultivar Epace 10, em função da

fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. Os autores atribuíram tais resultados à redução na assimilação líquida de carbono durante as fases de floração e frutificação, associada aos efeitos osmóticos e ao acúmulo de Na^+ e Cl^- nas folhas.

Figura 9 – Potencial produtivo total (PPT) do feijão-caupi submetido a diferentes concentrações de sais da água de irrigação. Fortaleza, Ceará, 2016



Entre os tratamentos de menor ($0,95 \text{ dS m}^{-1}$) e maior ($6,95 \text{ dS m}^{-1}$) salinidade, houve uma redução da ordem de 78,09%, evidenciando assim o efeito nocivo da salinidade da água sobre a produtividade de grãos do feijoeiro caupi. Baghalian et al. (2008), salientam que a salinidade é um dos fatores que mais reduz o crescimento e a produtividade das plantas em todo o mundo, sendo que cada espécie apresenta determinado nível de tolerância à salinidade, a partir do qual o rendimento começa a decrescer (AYERS; WESTCOT, 1999).

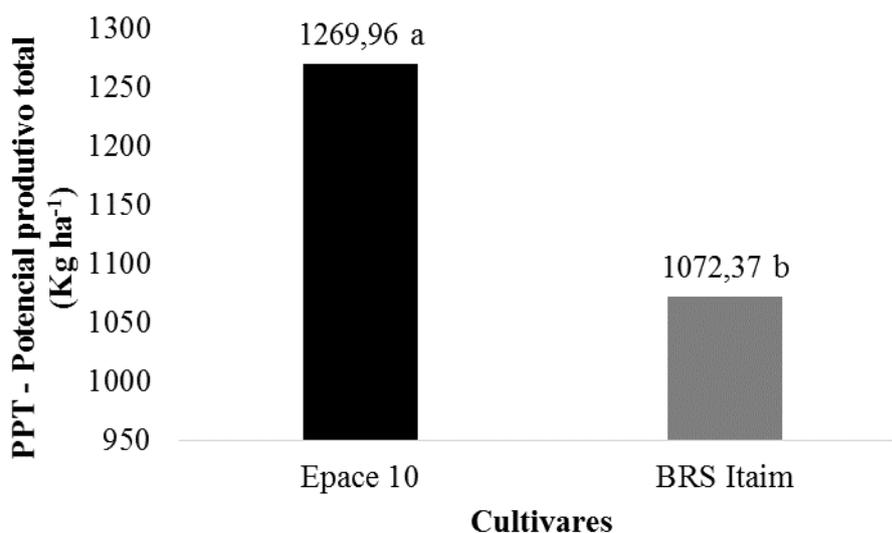
Em trabalho desenvolvido por Silva et al. (2013) avaliando os efeitos da aplicação de biofertilizante bovino e da salinidade da água de irrigação, sobre as trocas gasosas e produtividade do feijão-de-corda, os autores constataram que a água de irrigação de alta salinidade ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$) reduziu em 61,1% a produtividade, quando comparado a água de irrigação de baixa salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), atribuindo tais resultados aos processos osmóticos, tóxicos e nutricionais do estresse salino, que afetam a assimilação líquida de CO_2 , inibe a expansão foliar e aceleram a senescência de folhas maduras, reduzindo, conseqüentemente, a área destinada ao processo fotossintético e a produção total de fotoassimilados, diminuindo assim, a produção de grãos da cultura (SOUSA et al., 2010).

Contraopondo os resultados obtidos na presente pesquisa, Oliveira et al. (2015), avaliando o uso de um bioestimulante associado ao manejo da irrigação com água salina na cultura do feijão caupi, constataram um aumento na produção de grãos de feijão caupi, desde que a irrigação seja realizada com água de condutividade elétrica menor que $3,5 \text{ dS m}^{-1}$.

A diminuição da produtividade é consequência dos acréscimos salinos impostos à cultura, por meio da água de irrigação, durante seu ciclo. Alguns estudos demonstraram que o uso de águas salinas na irrigação do feijão caupi provocou acúmulo de sais no solo e reduziu o crescimento vegetativo e a produção de grãos (LACERDA et al., 2011), sugerindo que a utilização de água salina na irrigação depende de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas (BEZERRA et al., 2010).

Na Figura 10 nota-se que o potencial produtivo total alcançado pela cultivar Epace 10 foi superior ($1269,96 \text{ kg ha}^{-1}$) ao encontrado pela cultivar BRS Itaim que foi de apenas $1072,37 \text{ kg ha}^{-1}$. Tais resultados demonstram que a cultivar Epace 10, mediante as condições de cultivo impostas, possui maior tolerância do que a cultivar BRS Itaim, sendo portanto, mais indicada para o plantio em regiões sujeitas ao déficit hídrico e/ou utilização de águas de qualidades inferiores.

Figura 10 – Potencial produtivo total (PPT) das cultivares de feijão-caupi, Epace 10 e BRS Itaim. Fortaleza, Ceará, 2016



Segundo dados apontados pela CONAB (2016), a estimativa da produtividade do feijoeiro para a região Nordeste do país, para o ano de 2016 é de apenas 566 kg ha^{-1} , sendo assim, percebe-se que o potencial produtivo alcançado pela cultivar foi 124,37% superior ao

da produtividade esperada, o que demonstra o ótimo potencial produtivo que este material vegetal possui.

Silva e Neves (2011), observaram, trabalhando com 20 genótipos de feijão caupi em condições de sequeiro e irrigado, produtividade média de grãos variando de 658,2 a 1.070,3 kg ha⁻¹ para o cultivo de sequeiro e de 982,0 a 1.831,9 kg ha⁻¹ no cultivo irrigado demonstrando, assim, o potencial produtivo da cultura em regime de irrigação; no entanto, além do adequado suprimento hídrico para as plantas, outro aspecto de grande importância está relacionado com a qualidade da água utilizada na irrigação, principalmente quanto à concentração de sais dissolvidos (MEDEIROS et al., 2003).

Brito et al. (2015) avaliando as características produtivas de diferentes genótipos (MNC04-762F-9; MNC04-762F-3; MNC04-762F-21; MNC04-769F-62 e MNC04-765F-153) de feijão-caupi irrigados com água salina, encontraram diferenças significativas entre os materiais estudados, sobre as características número de vagens por planta, comprimento de vagem por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta e peso de grãos por planta.

Corroborando com os resultados obtidos na presente pesquisa, Santos et al. (2009), avaliando a produção e componentes produtivos de variedades de feijão caupi na microregião do Cariri Paraibano, constataram que a cultivar Epace 10 apresentou melhor produtividade e comportamento produtivo em relação aos materiais tradicionalmente cultivados pelos agricultores da região (Cariri, Galanjão e Canapu). Os autores ressaltam ainda que a incorporação dessa variedade no sistema de produção agrícola familiar é de grande importância para a economia do produtor rural em função das produtividades obtidas e da capacidade de adaptação às baixas precipitações de chuvas.

4 CONCLUSÕES

Os maiores acúmulos de solutos orgânicos nas folhas de plantas irrigadas com lâmina deficitária demonstram a maior sensibilidade destas plantas, quando comparada aquelas irrigadas com 100% da ET_{pc};

O maior acúmulo de N-aminossolúveis apresentado pela cultivar Epace 10, evidencia o mecanismo de tolerância ao estresse hídrico e/ou salino.

O acúmulo de prolina livre sob o aumento na concentração de sais na água de irrigação, demonstram que os mecanismos de osmorregulação e/ou osmoproteção do feijoeiro caupi foram acionados.

A cultivar Epace 10 apresenta maior acúmulo nos teores de prolina livre sob condições de menor disponibilidade hídrica.

Os teores do íon K⁺ nas folhas do feijão caupi foram superiores sob condições de menor disponibilidade hídrica;

Os teores de Cl⁻ nas folhas do feijoeiro acompanharam o aumento da concentração de sais da água de irrigação, independente do manejo da irrigação imposto (50 e 100% da ET_{pc});

A cultivar Epace é mais eficiente na compartimentalização do íon Cl⁻;

O aumento na concentração de sais na água de irrigação propiciou redução sobre o potencial produtivo total do feijoeiro;

A cultivar Epace 10 apresentou maior tolerância às condições de manejo impostas, demonstrando assim ter mais capacidade de adaptação em regiões sujeitas ao déficit hídrico e/ou utilização de águas de qualidades inferiores.

Apesar dos valores aproximados alcançados pelo regime hídrico de 50% da ET_{pc} nas respostas de crescimento, fisiologia e bioquímica do feijoeiro caupi, a estratégia de irrigação com água de diferentes níveis de salinidades sob melhor disponibilidade hídrica (100% da ET_{pc}) demonstrou ser aquela que permite oferecer melhores condições para o cultivo do feijão caupi.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. de. Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1014–1020, 2011
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, p.3-16, 2004.
- ASSIS JÚNIOR, J. O. de; LACERDA, C. F. de; SILVA, F. B. da; SILVA, F. L. B. da; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Eng. Agríc.**, v.27, n.3, p.702-713, 2007.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande:UFPB, 1999. 218 p.
- AZEVEDO NETO, A. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A.; SANTOS, R. C. Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. **International Journal of Plant**, v.5, p.1-10, 2010.
- BAGHALIAN, K.; HAGHIRY, A.; NAGHAVI, M. R.; MOHAMMADI, A. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, v.116, p.437-441, 2008.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 01, p. 205-207, 1973.
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F. de; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B. da; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1075-1082, 2010.
- BRITO, K. Q. D.; NASCIMENTO, R. do; SANTOS, J. E. A. dos; SILVA, I. A. C. e; DANTAS JÚNIOR, G. J. Componentes de produção de genótipos de feijão-caupi irrigados com água salina. **Revista Verde**, v. 10. , n. 4 , p. 01-05, 2015.
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.
- CALVET, A. S. F.; PINTO, C. de M.; LIMA, R. E. M.; MAIA-JOCA, R. P. M.; BEZERRA, M. A. Crescimento e acumulação de solutos em feijão-de-corda irrigado com águas de salinidade crescente em diferentes fases de desenvolvimento. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 148-159, 2013.
- CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A.; BARBOSA, A. de M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.4, p.519-527, 2012.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.2 - Safra 2015/16, n.10 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-109, Abril 2016.

Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 8 Abr. 2016.

COSTA, P. H. A.; SILVA, J. V.; BEZERRA, M. A.; ENÉAS FILHO, J.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E.; Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, n.3, p.289-297, 2003.

CUNHA, P. C. da; MENDES, B. S. da S.; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. G. Crescimento, síntese de solutos orgânicos e equilíbrio iônico de plântulas de pinhão-manso sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 46–52, 2013.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v.28, n.3, p.350-356, 1956.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2014):** área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2015.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B. da; LACERDA, C. F. de; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p.10-19, 2013.

FEIJÃO, A. R.; SILVA, J. C. B. da; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.675-683, 2011.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox Regulation in Photosynthetic Organisms: Signaling, Acclimation, and Practical Implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009.

FRICKE, W.; AKHIYAROVA, G.; ALEXANDERSSON, E.; MILLER, A.; KJELLBOM, P. O.; WOJCIECHOWSKI, T.; SCHREIBER, L.; VESELOV, D.; KUDOYAROVA, G.; VOLKOV, V. The short-term growth response to salt of the developing barley leaf. **Journal of Experimental Botany**. Plants and Salinity Special Issue, v. 57, n. 5, p. 1079-1095, 2006.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 3, p. 371-374, 1984.

LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.4, p.663-675, 2011.

LANGER, K.; LEVCHENKO, V.; FROMM, J.; GEIGER, D.; STEINMEYER, R.; LAUTNER, S.; ACHE, P.; HEDRICH, R. The poplar K⁺ channel KPT1 is associated with K⁺

uptake during stomatal opening and bud development. **The Plant Journal**, v.37, p.828-838, 2004.

MAIA, P. S. P.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; CASTRO, D. da S.; FREITAS, J. M. N. de; LOBATO, A. K. da S.; COSTA, R. C. L. da. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 918-920, 2007.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MEDEIROS, J. F. de; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da chapada do apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.469-472, 2003.

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

OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; ALVES, R. de C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T. dos; RÉGIS, L. R. de L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p.1049–1056, 2015.

PAIXÃO, C. L. da; JESUS, D. da S. de; COSTA, D. P.; PEREIRA, P. P. A.; AZEVEDO NETO, A. D. de. Caracterização fisiológica e bioquímica de genótipos de girassol com tolerância diferenciada ao estresse hídrico. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19; p. 2011-2022, 2014.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environment Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GREYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. In: **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p.143-159, 2010.

RAMEGOWDA, V., SENTHIL-KUMARB, M. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: Mechanistic understanding from drought and pathogen combination. **Journal of Plant Physiology**, v. 176, s.n, p. 47–54, 2015.

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

RUFINO C. A. TAVARES, L. C.; VIEIRA, J. F.; DÖRR, C. S.; VILLELA, F. A.; BARROS, A. C. S. A. Desempenho de genótipos de milho submetidos ao déficit hídrico no estágio vegetativo. **Magistra**, v. 24, n. 3, p. 217-225, 2012.

SACRAMENTO, B. L. do; CRUZ, T. S.; SILVA, L. L.; MOTA, N. A. B.; AZEVEDO NETO, A. D. de. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18; p. 3344-3354, 2014.

SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, C. H. de; SANTOS, M. do C. C. A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião cariri paraibano. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 214-222, 2009.

SELMAR, D.; KLEINWÄCHTER, M. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. **Plant and Cell Physiology**, v. 54, n. 6, p. 817-826, 2013.

SILVA, F. L. B. da; LACERDA, C. F. de; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G. de; SOUSA, C. H. C. de; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 304-317, 2013.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.29-36, 2011.

SILVA, L. D. da. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em genótipos de *Jatropha curcas* L. submetidos ao déficit hídrico**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilhéus, 2013.

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

SILVEIRA, J.A.G.; SILVA, S.L.F.; SILVA, E.N.; VIÉGAS, R.A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GREYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. In: **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p.161-180, 2010.

SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; CAVALCANTE, L. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; BEZERRA, M. E. J.; SILVA, G. L. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1143-1151, 2010.

SOUSA, R. A.; LACERDA, C. F. de; FILHO, J. A.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1 p.75-82. 2007.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.6, p.586-592, 2011.

STRANGE, K. Cellular volume homeostasis. **Advances in physiology education**, v.28, p.155-159, 2004.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

WILLADINO, L.; GOMES, E. W. F.; SILVA, E. F. F.; MARTINS, L. S. S.; CAMARA, T. R. Efeito do estresse salino em genótipos tetraplóides de bananeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.53-59, 2011.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-213, 1955.