



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

ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA

**RESPOSTAS E ADAPTAÇÕES DE PLANTAS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” ÀS
INTERAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA HÍDRICA E SALINIDADE DO SOLO**

FORTALEZA

2015

ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA

RESPOSTAS E ADAPTAÇÕES DE PLANTAS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” ÀS
INTERAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA HÍDRICA E SALINIDADE DO SOLO

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

FORTALEZA

2015

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

-
- S578r Silva, Alexandre Reuber Almeida da.
Respostas e adaptações de plantas de coqueiro “anão verde” às interações entre deficiência hídrica e salinidade do solo / Alexandre Reuber Almeida da Silva. – 2015.
237 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, 2015.
Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.
Coorientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
1. Coqueiro – Adaptação. 2. Solos – Salinidade. 3. Plantas - Nutrição. 4. Plantas – Efeito da seca. I. Título.

ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA

RESPOSTAS E ADAPTAÇÕES DE PLANTAS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” ÀS
INTERAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA HÍDRICA E SALINIDADE DO SOLO

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

Aprovada em: 03/06/2015.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra
Embrapa Agroindústria Tropical (CNPAT)/ Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Às numerosas pessoas que acreditaram em mim e neste trabalho.

Aos meus queridos familiares, parentes e amigos, especialmente, Edilson, Lucilene, Jéssyca, Edson, Graça e Lindalva.

Aos professores e pesquisadores, com os quais tenho convivido e muito tenho aprendido ao longo do tempo.

Aos estimados alunos, pelo questionamento produtivo e estímulo constante.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem o qual nada teria sido possível, pelo seu sustento e providência, por ter abençoado todos os dias da minha vida e por me dar forças para seguir sempre em frente.

Aos meus pais, Francisca Lucilene e José Edilson, que muitas vezes se doaram e renunciaram aos seus propósitos, para que eu pudesse realizar os meus. Agradeço por terem priorizado e acreditado na educação dos seus filhos. Tudo que consegui só foi possível graças ao amor, apoio e dedicação que os senhores sempre tiveram por mim. Essa conquista é nossa.

Aos meus tios, Graça Almeida e Edson Macena, meus segundos pais, por todas as oportunidades propiciadas. Graças ao incondicional apoio e à generosidade dos senhores, os obstáculos foram ultrapassados, vitórias foram conquistadas e alegrias compartilhadas.

À minha irmã Jéssyca Larissa e ao meu cunhado Rafael Frota, pelo constante companheirismo e por estarem sempre torcendo pelas minhas conquistas.

À minha tia Lindalva Almeida, pelo carinho maternal, apoio e total incentivo.

Aos meus demais familiares e parentes, pelo apoio, torcida e confiança que sempre depositam em minha pessoa.

À Universidade Federal do Ceará - UFC, pelas oportunidades de cursar graduação, mestrado e doutorado e, especialmente, ao Departamento de Engenharia Agrícola - UFC, pela eterna acolhida e por ter sido minha segunda casa durante tanto tempo.

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Marcus Bezerra, que tão bem vem me guiando ao longo de vários anos, da iniciação científica, passando pelo mestrado até o doutorado, pela confiança, amizade, conselhos e paciência durante todas as etapas de orientação desse trabalho. O senhor é um exemplo de simplicidade, compreensão e competência. Agradeço por ter acreditado no meu potencial e por todas as oportunidades que me foram confiadas.

Ao coorientador e amigo Prof. Dr. Claudivan Lacerda, por sua orientação, zelo, dedicação, paciência, simplicidade, humildade e acessibilidade e por ter me ensinado tantas coisas, além de ter trabalhado ativamente na idealização, bem como na revisão desta tese.

Ao amigo Prof. Dr. Cley Anderson, por ter me inserido no “mundo da pesquisa”.

Aos professores do curso de doutorado, pelos conhecimentos compartilhados.

À CAPES, ao CNPq e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal), pelo apoio financeiro que viabilizou a realização deste projeto.

Aos amigos Jean Carlos, João Valdenor, Keivia Lino, Laís Monique, Maria Emília, Robevânia Borges, Ronney Mendes e Tiago Cavalcante, que, de forma tão

compromissada, me ajudaram tanto, principalmente nas etapas de montagem, condução e avaliação do experimento.

Ao Dr. Carlos Henrique, pela incondicional atenção e disponibilidade dispensadas ao longo de todas as etapas experimentais que culminaram com o desenvolvimento da tese.

À Dra. Leila Neves, que sempre é um grande apoio, pela prontidão e amizade.

Ao Dr. Alan Diniz, pela paciência e amizade ao longo desses anos na UFC.

Aos amigos membros da Estação Agrometeorológica - UFC, nas pessoas dos professores Drs. Thales Viana e Geocléber Sousa, por toda a estrutura que me foi oferecida.

Ao Prof. Dr. Marlos Alves, pela atenção e solicitude com que sempre me atendeu, bem como por disponibilizar sua instrumentação fisiológica durante a realização da pesquisa.

Aos professores coordenadores dos Laboratórios de Fisiologia Vegetal I e II - UFC, Dr. Enéas Gomes e Dr. Joaquim Enéas, por toda a estrutura, reagentes e técnicas disponibilizadas. Semelhantemente, agradeço aos demais membros dos referidos laboratórios, em especial, aos amigos Dr. Elton Marques, Dr. Rafael Miranda e à Prof^ª. Dr^ª. Rosielene Mesquita, pelo aprendizado, amizade, paciência e incondicional apoio oferecido nas análises.

Aos integrantes dos Laboratórios de Solos - UFC, pela presteza nas análises.

Aos membros da banca examinadora de qualificação e de tese, pelo tempo despedido na leitura deste trabalho e pelas importantes sugestões apontadas.

Ao amigo Prof. Dr. Newdmar Fernandes, pelo convívio diário, bem como pelas inúmeras discussões técnicas e científicas, que certamente aprimoraram o presente trabalho.

Aos demais amigos da UFC, aqui representados por Aglodualdo Júnior, Alan Sombra, André Rufino, Breno Lima, Bruno Mesquita, Clênio Jairo, Chrislene Nojosa, Danielle Araújo, Daniel Pontes, Deotano Aquino, Edineide Barbosa, Fernando Bezerra, Giovana Silva, Hernandes Feitosa, Igor Almeida, Inêz Gifone, José Filho, Kleiton Saraiva, Laíse Ferreira, Leandro Barbosa, Mário Rebouças, Odílio Coimbra, Ricardo Andrade, Wellington Lopes, Marcos Neves, pela gratificante convivência durante todo esse percurso.

Aos amigos de Morada Nova - CE, Aridiana Noronha, João Paulo, Regino Silva, Rogéria Maria, Márcia Freitas e Oziran Caetano, pela presença constante e torcida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) - *Campus Uruçuí*, instituição a qual pertencço, na pessoa do diretor geral e amigo Prof. Miguel Rodrigues, pelo incondicional apoio, que me possibilitou a finalização desse trabalho. De igual modo, agradeço aos demais professores, técnicos, funcionários e alunos da instituição.

A todos, não citados, que contribuíram para a realização desta pesquisa o meu muito obrigado!

“Não há vitória sem luta. Não há realidade sem sonhos. O espírito livre, crítico e empreendedor não enxerga distâncias inalcançáveis, metas insuperáveis ou obstáculos intransponíveis. Das inquietações, faz surgir os sonhos; dos sonhos, as metas e os planos; dos planos, as realizações. O espírito livre sabe que entre a inquietação e a concretização há um longo caminho, mas não fraqueja. Conhece, em inúmeras ocasiões, o gosto amargo da derrota, mas não arrefece. Planeja, calcula, mergulha em reflexões, tenta manter o equilíbrio. Ora sofre, ora se regozija. Refaz planos e cálculos. Não tem pressa. Obtempera. Ousa. Resiste. Finalmente, vence. E sente a leveza sobre os seus ombros. O homem que vence não é um mártir, um herói ou um ser distinto. O homem que vence é um ser determinado.”

(Pedro Felipe de Oliveira Santos)

RESUMO GERAL

SILVA, Alexandre Reuber Almeida da. Universidade Federal do Ceará, Junho de 2015. **Respostas e adaptações de plantas de coqueiro “Anão Verde” às interações entre deficiência hídrica e salinidade do solo.** Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra. Coorientador: Claudivan Feitosa de Lacerda. Conselheiros: Aiala Vieira Amorim; Carlos Henrique Carvalho de Sousa; Cley Anderson Silva de Freitas; Marlos Alves Bezerra.

Neste trabalho foram estudadas repostas morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e nutricionais, visando elucidar as possíveis estratégias adaptativas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, envolvidas com sua tolerância aos efeitos dos estresses isolados e/ou combinados, salinidade do solo e deficiência hídrica. No experimento, conduzido em casa de vegetação, do tipo telado, em Fortaleza, Ceará, avaliaram-se, sob delineamento estatístico de blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, os efeitos de diferentes níveis de deficiência hídrica, mediante a imposição de distintos percentuais de reposições da evapotranspiração potencial da cultura - ET_{pc} (20; 40; 60; 80 e 100%), associados à crescentes níveis de salinidade do solo (1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹), proporcionados pelos solos oriundos do Perímetro Irrigado Morada Nova - PIMN. Os efeitos dos tratamentos sobre as plantas foram avaliados por meio das variáveis: altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, produção de biomassa (radicular, parte aérea e total), relação biomassa seca raiz parte aérea⁻¹, índices de tolerância à salinidade, trocas gasosas foliares (condutância estomática, transpiração, fotossíntese, eficiência instantânea e intrínseca de uso da água), rendimento quântico da fluorescência da clorofila a (F_v F_m⁻¹), teores relativos de clorofila total (índice Spad), teores totais de clorofilas (a+b) e de carotenóides, potencial hídrico foliar, teores foliares e radiculares dos solutos inorgânicos (íons potássio, sódio e cloreto) e orgânicos (carboidratos solúveis totais, N - aminossolúveis e prolina livre) e estado nutricional (teores foliares dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, manganês e zinco). O crescimento e a produção de biomassa das plantas são acentuadamente reduzidos pelas condições de restrição hídrica e de elevada salinidade do solo, sendo aparentemente mais crítica à cultura a restrição hídrica. O grau de estresse hídrico é capaz de acentuar a suscetibilidade à salinidade. Os mecanismos fisiológicos são efetivamente limitados quando a deficiência hídrica e a salinidade atuam isoladamente e/ou em conjunto. Os efeitos do estresse hídrico se mostram mais efetivos nas reduções dos parâmetros fisiológicos, em detrimento à salinidade do solo. As magnitudes das respostas fisiológicas das plantas ao suprimento hídrico e à salinidade dependem das intensidades do estresses. As respostas fisiológicas adaptativas das plantas estão relacionadas,

principalmente, à regulação estomática. Em condições de déficit hídrico e de salinidade do solo, as plantas apresentam reduções lineares nos teores totais de clorofilas. Os teores de carotenóides respondem aos efeitos combinados da disponibilidade hídrica e da salinidade do solo e refletem o antagonismo entre estes. O coqueiro apresenta uma série de mecanismos de ajustes fisiológicos que conferem à espécie uma parcial tolerância ao estresse hídrico e/ou salino. Os íons salinos K^+ , Na^+ e Cl^- acumulam-se significativamente em plantas jovens de coqueiro, em detrimento aos solutos orgânicos, tanto nas folhas quanto nas raízes, sendo evidenciada uma aparente retenção radicular de íons. A salinidade não altera os teores dos solutos orgânicos, todavia, denotam-se incrementos nos teores foliares e radiculares de prolina livre em resposta à deficiência hídrica. A deficiência hídrica e a salinidade do solo interagem, afetando o estado nutricional das plantas, excetuando o nutriente P. Os teores foliares dos nutrientes N, Ca, S, Fe, Mn e Zn crescem positivamente com a ampliação da disponibilidade hídrica e reduzem-se substancialmente com o aumento da salinidade. A interação dos menores níveis de deficiência hídrica com os maiores níveis salinos maximiza os teores foliares de Mg e Cu e minimiza os de K. Durante o estabelecimento das plantas jovens de coqueiro, a necessidade de macronutrientes obedece à ordem decrescente: N, K Ca, Mg, S e P e à de micronutrientes: Fe, Mn, Zn e Cu. A nutrição das plantas mostra-se adequada, excetuando-se, os desequilíbrios observados nos nutrientes K, Mg, S e Mn. As plantas jovens de coqueiro mostram plena capacidade de estabelecimento nos solos salinizados do PIMN, até o nível de condutividade elétrica correspondente a $6,50 \text{ dS m}^{-1}$, porém apenas quando o suprimento hídrico se mantém adequado. Para os níveis de salinidade mais elevados as plantas sobrevivem, contudo o porte das mesmas reduz-se em torno de 50%, mesmo quando plenamente irrigadas.

Palavras-chave: *Cocos nucifera* L. Plantas e água. Salinização do solo. Estresses Múltiplos.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Alexandre Reuber Almeida da. Universidade Federal do Ceará, June 2015. **Responses and adaptations of coconut plants "Green Dwarf" to interactions between water stress and soil salinity.** Advisor: Francisco Marcus Lima Bezerra. Joint advisor: Claudivan Feitosa de Lacerda. Counselors: Aiala Vieira Amorim; Carlos Henrique Carvalho de Sousa; Cley Anderson Silva de Freitas; Marlos Alves Bezerra.

In this work morphological, physiological, biochemical and nutritional responses, to elucidate the possible adaptive strategies of young coconut plants, cultivating "Green Dwarf", involved with tolerance to the effects of stress isolated and combined soil salinity and water stress. In the experiment, conducted in a greenhouse, the greenhouse type, in Fortaleza, Ceará, were evaluated under statistical design of randomized blocks in a split plot arrangement, the effects of different levels of water stress by imposing different percentages resets the potential evapotranspiration - ET_{pc} (20; 40; 60; 80 and 100%), related to increasing levels of soil salinity (1.72, 6.25, 25.80 and 40.70 $dS\ m^{-1}$) provided by soils derived from the Irrigated Perimeter Morada Nova - PIMN. The effects of treatments on plants were evaluated using the variables: plant height, leaf number, stem diameter, leaf area, biomass production (root, shoot and total), compared root dry biomass of aerial⁻¹, to salinity tolerance indices, leaf gas exchange (stomatal conductance, transpiration, photosynthesis, instant and intrinsic efficiency of water use), quantum yield of chlorophyll fluorescence ($F_v\ F_m^{-1}$) level for total chlorophyll (Spad index) , total content of chlorophyll (a + b) and carotenoids, leaf water potential, leaf and root levels of inorganic solutes (potassium ions, sodium and chloride) and organic (total soluble carbohydrates, N - aminossolúveis and free proline) and nutritional state (foliar nutrients of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron, copper, manganese and zinc). The growth and biomass production of the plants are sharply reduced by the conditions of water stress and high soil salinity, apparently being more critical to fluid restriction culture. The degree of water stress can enhance the susceptibility to salinity. The physiological mechanisms are effectively limited when water stress and salinity act separately and / or together. The effects of water stress are more effective in the reduction of physiological parameters, to the detriment soil salinity. The magnitudes of physiological responses of plants to water supply and salinity depend on the intensity of stress. Adaptive physiological responses of plants are related mainly to stomatal regulation. In conditions of drought and soil salinity, the plants have linear reductions in the total levels of chlorophyll. Carotenoid levels respond to the combined effects of water availability and soil salinity and

reflect the antagonism between them. The coconut has a number of physiological adjustments mechanisms that give the species a partial tolerance to drought stress and / or saline. Saline ions K^+ , Na^+ and Cl^- accumulate significantly in young coconut plants, to the detriment of organic solutes, both in the leaves and in the roots, evidencing an apparent root retention ions. Salinity did not change the concentration of organic solutes, however, show up increments in leaf and root levels of free proline in response to water stress. Water stress and soil salinity interact, affecting the nutritional status of plants, except for the nutrient P. Leaf contents of nutrients N, Ca, S, Fe, Mn and Zn grow positively with the increase of water availability and are reduced substantially with increasing salinity. The interaction of smaller water deficit levels with the highest saline levels maximizes the leaf contents of Mg and Cu and minimizes K. During the establishment of coconut seedlings, the need for macronutrients follows the descending order: N, K Ca, Mg, S and P and micronutrients: Fe, Mn, Zn and Cu. The plant nutrition proved to be adequate, except for the imbalances observed in nutrients K, Mg, S and Mn. The coconut seedlings show full capacity of the establishment in saline soils PIMN, corresponding to the level of electrical conductivity to 6.50 dS m⁻¹, but only when the water supply remains adequate. For the higher salinity levels the plants survive, yet the size of the same is reduced by around 50%, even when fully irrigated.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Plants and water. Soil salinization. Multiple stresses.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1 –	Casa de vegetação, do tipo telado, utilizada para a condução do experimento. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014	60
Figura 2 –	<i>Data-logger</i> da marca Onset, modelo Hobo [®] para a determinação dos dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade instalado no interior da casa de vegetação (A). Tanque evaporímetro do tipo Classe “A” instalado no interior da casa de vegetação para fins de monitoramento e de manejo da irrigação. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014	60
Figura 3 –	Mudas de coqueiro “Anão Verde” do Brasil de Jiqui (AVeBrJ) utilizadas no experimento. Detalhes da muda (A). Mudanças antes da realização do transplante (B). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	61
Figura 4 –	Croqui experimental. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	62
Figura 5 –	Mapa de localização do Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará	63
Figura 6 –	Acesso principal ao Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará. Morada Nova/ Limoeiro do Norte, Ceará, 2013/ 2014	63
Figura 7 –	Medição <i>in situ</i> da salinidade do solo com o sensor Wet sensor HH2 Moisture Meter [®] (AT delta – T Devices, Cambridge, England). Morada Nova, Ceará, 2013	64
Figura 8 –	Mapa do Estado do Ceará, destacando o Perímetro Irrigado Morada Nova e os pontos de coleta dos solos utilizados como substrato para o cultivo das plantas jovens de coqueiro no experimento. A composição colorida, datada de 12 de setembro de 2013, inclui as bandas 5, 4 e 3 do sensor multiespectral OLI/Landsat-8 em vermelho, verde e azul, respectivamente (A). Pontos de coletas dos solos (B)	64
Figura 9 –	Etapas de enchimento dos vasos e transplante das mudas de coqueiro. Deposição ao fundo dos vasos de uma camada de brita nº1 (A), revestimento da brita por uma manta geotêxtil do tipo Bidim (B), início do preenchimento dos vasos com solo (C), deposição da muda (D), deposição de solo (E), acomodação da muda (F), vaso alocado no experimento (G). Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014	67
Figura 10 –	Aplicação dos fertilizantes químicos sintéticos ao solo utilizado como substrato para o desenvolvimento das plantas de coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	68
Figura 11 –	Avaliação da altura das plantas de coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013, 2014	71
Figura 12 –	Avaliação do diâmetro do caule das plantas de coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	72
Figura 13 –	Determinação da área foliar do coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	73
Figura 14 –	Procedimentos adotados para a determinação da produção de biomassa seca das plantas. Planta (A), retirada do vaso (B), separação das raízes do solo (C), lavagem das raízes (D), preparo do material vegetal para secagem. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	73
Figura 15 –	Superfície de resposta para o número de folhas – N (unidade) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	77
Figura 16 –	Superfície de resposta para o número de folhas – N (unidade) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão verde”, em resposta às combinações	

	de diferentes níveis de salinidade do solo (CE) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	79
Figura 17 –	Superfície de resposta para a altura – A (cm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	81
Figura 18 –	Superfície de resposta para altura de plantas - A (cm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de salinidade do solo (CE) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	82
Figura 19 –	Superfície de resposta para o diâmetro do caule – D (mm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	84
Figura 20 –	Superfície de resposta para o diâmetro do caule - D (mm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de salinidade do solo (CE) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	85
Figura 21 –	Superfície de resposta para a área foliar – A_F (m^2 planta ⁻¹) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplantio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	88
Figura 22 –	Superfície de resposta para a biomassa seca radicular – BSR (g planta ⁻¹) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplantio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	92
Figura 23 –	Superfície de resposta para a biomassa seca da parte aérea – BSPA (g planta ⁻¹) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplantio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	94
Figura 24 –	Superfície de resposta para a biomassa seca total – BST (g planta ⁻¹) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplantio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	96
Figura 25 –	Superfície de resposta para a razão biomassa seca radicular parte aérea ⁻¹ - BSR $BSPA^{-1}$ (adimensional) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplantio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	99

CAPÍTULO 3

Figura 1 –	Avaliação das trocas gasosas foliares. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	116
Figura 2 –	Adaptação das folhas ao escuro (A) e aferição dos parâmetros de fluorescência da clorofila A (B). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	117
Figura 3 –	Aferição dos teores relativos de clorofila total através do índice Spad. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	118

Figura 4 –	Aferição do potencial hídrico foliar. Fortaleza, Ceará, 2014	119
Figura 5 –	Superfície de resposta para a condutância estomática (gs) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	122
Figura 6 –	Superfície de resposta para a transpiração (E) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	126
Figura 7 –	Superfície de resposta para a fotossíntese (A) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	128
Figura 8 –	Superfície de resposta para a eficiência instantânea de uso da água ($A E^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	131
Figura 9 –	Superfície de resposta para a eficiência intrínseca de uso da água ($A g s^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	134
Figura 10 –	Superfície de resposta para o rendimento quântico da fluorescência da clorofila a ($Fv Fm^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	137
Figura 11 –	Superfície de resposta para os teores relativos de clorofila total (índice Spad) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014	142
Figura 12 –	Teores totais de clorofilas ($Clf_{total [a+b]}$) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	146
Figura 13 –	Teores totais de clorofilas ($Clf_{total [a+b]}$) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	147
Figura 14 –	Superfície de resposta para os teores de carotenóides (Caf) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014	149
Figura 15 –	Potencial hídrico foliar $-\Psi_w$ (Mpa) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (%ETpc), avaliados aos 121 dias após o transplântio, antes do nascer do sol ("predawn"). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	153
Figura 16 –	Potencial hídrico foliar $-\Psi_w$ (Mpa) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), avaliados aos 121 dias após o transplântio, antes do nascer do sol ("predawn"). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	154

CAPÍTULO 4

Figura 1 –	Teores do íon K^+ em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	174
Figura 2 –	Superfície de resposta para os teores do íon K^+ em raízes de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014	176
Figura 3 –	Teores do íon Na^+ em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	178
Figura 4 –	Teores do íon Na^+ em raízes de plantas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	180
Figura 5 –	Superfície de resposta para os teores do íon Cl^- em folhas de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014	182
Figura 6 –	Superfície de resposta para os teores do íon Cl^- em raízes de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014	183
Figura 7 –	Teores de carboidratos solúveis em folhas (CS_F) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	188
Figura 8 –	Teores de prolina livre em folhas (PR_F) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	190
Figura 9 –	Teores de prolina livre em raízes (PR_R) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	193

CAPÍTULO 5

Figura 1 –	Superfície de resposta para os teores foliares ($g\ kg^{-1}\ MS$) de N (A), K(B), Ca (C), Mg (D) e S (E), em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	211
Figura 2 –	Superfície de resposta para os teores foliares ($mg\ kg^{-1}\ MS$) de Fe (A), Cu (B), Mn (C) e Zn (D) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014	223

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 –	Atributos físico-hídricos dos solos utilizados como substratos para o cultivo das plantas no experimento. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014	66
Tabela 2 –	Atributos químicos dos solos utilizados como substratos para o cultivo das plantas no experimento. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014	66
Tabela 3 –	Resultados da análise da qualidade da água pra fins de irrigação. Fortaleza, Ceará 2013/ 2014	69
Tabela 4 –	Classificação quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção total de biomassa seca total	75
Tabela 5 –	Resumo das análises das variâncias para os dados de número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule em plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	76
Tabela 6 –	Resumo das análises das variâncias para os dados de área foliar - AF ($m^2 planta^{-1}$), biomassa seca radicular - BSR ($g planta^{-1}$), biomassa seca da parte aérea - BSPA ($g planta^{-1}$), biomassa seca total - BST ($g planta^{-1}$), razão biomassa seca radicular parte aérea ⁻¹ (BSR BSPA ⁻¹) em plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	87
Tabela 7 –	Redução da produção de biomassa seca total - RP (%) e classificação quanto à tolerância a salinidade de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de níveis de salinidade do solo, aos 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	102

CAPÍTULO 3

Tabela 1 –	Resumo das análises das variâncias para os dados de condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese (A), eficiência instantânea de uso da água (AE ⁻¹) e eficiência intrínseca de uso da água (A gs ⁻¹) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	121
Tabela 2 –	Resumo das análises das variâncias para os dados de rendimento quântico da fluorescência da clorofila a - Fv Fm ⁻¹ (adimensional) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	136
Tabela 3 –	Resumo da análise de variância para os dados de teores relativos de clorofila total (índice SPAD) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	141

Tabela 4 –	Resumo das análises das variâncias para os dados de teores totais de clorofilas ($Clf_{total [a+b]}$) e de carotenóides (Caf) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados ao término do período experimental (121 DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	145
Tabela 5 –	Resumo da análise de variância para os dados de potencial hídrico foliar (Ψ_w) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados ao término do período experimental (121 DAT), antes do nascer do sol ("predawn"). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	152

CAPÍTULO 4

Tabela 1 –	Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores dos solutos inorgânicos potássio (K^+), sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), em folhas (K^+_F , Na^+_F e Cl^-_F) e em raízes (K^+_R , Na^+_R e Cl^-_R) de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	173
Tabela 2 –	Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores dos solutos orgânicos carboidratos solúveis (CS), N - aminossolúveis (N - amin.) e prolina livre (PR) em folhas (CS_F , N - amin. $_F$ e PR_F) e em raízes (CS_R , N - amin. $_R$ e PR_R) de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados ao término do período experimental (121 DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014	187

CAPÍTULO 5

Tabela 1 –	Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores foliares dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	210
Tabela 2 –	Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores foliares dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014	222

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	20
1.1	Hipóteses	21
1.2	Objetivos	22
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	22
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	22
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA		23
1	DEGRADAÇÃO DO SOLO	23
1.1	Degradação química do solo: solos afetados por sais	23
1.2	Principais estresses abióticos em regiões áridas e semiáridas	26
1.2.1	<i>Salinidade e seus efeitos sob os vegetais</i>	26
1.2.2	<i>Déficit hídrico e seus efeitos sob os vegetais</i>	28
1.2.3	<i>Estresses múltiplos e seus efeitos sob os vegetais</i>	31
1.3	A cultura do coqueiro	32
1.3.1	<i>Origem e distribuição geográfica</i>	32
1.3.2	<i>Descrição botânica, morfologia e fisiologia</i>	34
1.3.3	<i>Requerimentos ambientais</i>	37
1.3.4	<i>Principais produtores mundiais e nacionais</i>	37
1.3.5	<i>Usos e importância sócio-econômica</i>	38
1.4	Coqueiro e estresses abióticos	39
1.4.1	<i>Coqueiro e salinidade</i>	39
1.4.2	<i>Coqueiro e deficiência hídrica</i>	41
1.4.3	<i>Estresses múltiplos em plantas de coqueiro</i>	44
	REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 2 - ESTABELECIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” EM SOLOS AFETADOS POR SAIS E SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA		55
	RESUMO	55
	ABSTRACT	56
1	INTRODUÇÃO	57
2	MATERIAL E MÉTODOS	59
2.1	Localização e caracterização da área experimental	59
2.2	Estrutura física experimental	59
2.3	Material vegetal	61
2.4	Composições dos tratamentos e delineamento experimental	61
2.5	Instalação e condução do experimento	66
2.6	Sistema e manejo da irrigação	68
2.7	Tratos culturais e controle fitossanitário	71
2.8	Variáveis analisadas	71
2.8.1	<i>Variáveis de crescimento</i>	71
2.8.1.1	Altura de plantas	71
2.8.1.2	Número de folhas	72
2.8.1.3	Diâmetro do caule	72
2.8.1.4	Área foliar	72
2.8.1.5	Produção de biomassa	73

2.8.1.6	Relação biomassa seca raiz parte aérea ⁻¹	74
2.9	Tolerância à salinidade	74
2.10	Análises estatísticas	75
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.1	Número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule	76
3.2	Área foliar e produção de biomassa	87
3.3	Tolerância à salinidade	101
4	CONCLUSÕES	104
	REFERÊNCIAS	105

CAPÍTULO 3 - RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE PLANTAS JOVENS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA, EM SOLOS AFETADOS POR SAIS	111
---	-----

	RESUMO	111
	ABSTRACT	112
1	INTRODUÇÃO	113
2	MATERIAL E MÉTODOS	115
2.8	Variáveis analisadas	116
2.8.1	<i>Trocas gasosas foliares: condutância estomática, transpiração, fotossíntese, eficiência instantânea e intrínseca de uso da água</i>	116
2.8.2	<i>Rendimento quântico da fluorescência da clorofila a (Fv Fm⁻¹)</i>	117
2.8.3	<i>Teores relativos de clorofila total: índice Spad</i>	118
2.8.4	<i>Teores totais de clorofilas (a+b) e de carotenóides</i>	118
2.8.5	<i>Potencial hídrico foliar</i>	119
2.9	Análises estatísticas	120
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	121
3.1	Condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida, eficiência instantânea e intrínseca de uso da água	121
3.2	Rendimento quântico da fluorescência da clorofila a (Fv Fm⁻¹)	136
3.3	Teores relativos de clorofila total: índice Spad	140
3.4	Teores totais de clorofilas (a+b) e de carotenóides	144
3.5	Potencial hídrico foliar	151
4	CONCLUSÕES	156
	REFERÊNCIAS	157

CAPÍTULO 4 - SOLUTOS INORGÂNICOS E ORGÂNICOS EM PLANTAS JOVENS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” SOB ESTRESSE HÍDRICO E SALINO	164
--	-----

	RESUMO	164
	ABSTRACT	165
1	INTRODUÇÃO	166
2	MATERIAL E MÉTODOS	168
2.8	Variáveis analisadas	169
2.8.1	<i>Coleta e preparo do material vegetal para a execução das análises dos solutos inorgânicos e orgânicos</i>	169
2.8.2	<i>Preparação dos extratos</i>	169
2.8.3	<i>Solutos inorgânicos</i>	169
2.8.3.1	<i>Teores dos íons potássio (K⁺) e sódio (Na⁺)</i>	169

2.8.3.2	Teores do íon cloreto (Cl ⁻)	170
2.8.4	Solutos orgânicos	170
2.8.4.1	Carboidratos solúveis totais	170
2.8.4.2	N-aminossolúveis	171
2.8.4.3	Prolina livre	171
2.9	Análises estatísticas	172
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	173
3.1	Solutos inorgânicos	173
3.2	Solutos orgânicos	187
4	CONCLUSÕES	196
	REFERÊNCIAS	197

CAPÍTULO 5 - ESTADO NUTRICIONAL DE MUDAS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” EM SOLOS AFETADOS POR SAIS E SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA . 203

	RESUMO	203
	ABSTRACT	204
1	INTRODUÇÃO	205
2	MATERIAL E MÉTODOS	207
2.8	Variáveis analisadas	208
2.8.1	<i>Estado nutricional das plantas: teores foliares dos macro e dos micronutrientes</i>	208
2.9	Análises estatísticas	208
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	210
3.1	Macronutrientes	210
3.2	Micronutrientes	222
4	CONCLUSÕES	232
	REFERÊNCIAS	233

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os fatores edafoclimáticos que exercem efeitos sob o desempenho agrônômico das espécies vegetais raramente se encontram equilibrados em condições ótimas de modo que, via de regra, durante os respectivos cultivos, as plantas estão sujeitas às ações de algum tipo de estresse abiótico, seja de forma isolada ou múltipla (SYVERTSENA; GARCIA-SANCHEZ, 2014). Ao longo dos anos e, mais do que nunca, na atualidade, um dos principais entraves para o setor agrícola, sobremaneira, em regiões áridas e/ou semiáridas vem sendo o processo de salinização em solos agricultáveis, constituindo um problema de abrangência social, ecológica e ambiental (SILVA *et al.*, 2013).

Para os vegetais, o estresse decorrente do excesso de sais no solo é considerado um dos mais sérios fatores abióticos adversos, e, dentre os seus principais efeitos, tem se constatado que o mesmo desencadeia uma série de danos morfológicos, estruturais e metabólicos, capazes de limitar, substancialmente, o crescimento e a produção (GARCIA *et al.*, 2007). Cerca de 800 milhões de hectares no mundo são afetados pela salinidade, o que equivale a mais de 6% do total (MUNNS, 2005). No Brasil, estima-se de que 20 a 25% das áreas irrigadas, principalmente, as que estão sob solos aluviais, apresentam problemas de salinidade, em decorrência do inadequado manejo do sistema de produção (FAO, 2008).

Mundialmente, estima-se ainda que, por ano, 10 milhões de hectares de terras irrigadas no globo terrestre são abandonados devido aos problemas de salinização (FAO, 2008). Dentre os Perímetros Irrigados do Estado do Ceará que apresentam graves problemas de salinização, destacam-se: Morada Nova, Curu – Pentecoste e Curu – Paraipaba (AGUIAR NETTO; MACHADO; BARRETO, 2006). Particularmente, no Perímetro Irrigado Morada Nova, o mapeamento realizado por Coelho e Ferreyra (1986), já revelava que os solos sódicos e salino-sódicos ocorriam em 30% da área do Perímetro.

A utilização de espécies tolerantes à salinidade tem sido uma estratégia recomendada para promover a reintegração de solos degradados pelo excesso de sais e de sódio aos cultivos agrícolas (LACERDA; HERNANDEZ; NEVES, 2010; SOUZA *et al.*, 2011).

Acredita-se que, o coqueiro, por sua relevância social e econômica e, sobretudo, por possuir conhecida tolerância à salinidade, tendo em vista que sua área de dispersão natural predomina justamente na costa marítima, onde há, naturalmente, uma elevada concentração salina no solo, pode ser uma cultura promissora para a revegetação de áreas afetadas por sais

(FERREIRA NETO *et al.*, 2002, 2007; LIMA, 2014; MARINHO *et al.*, 2005a; MARINHO *et al.*, 2005b; MARINHO *et al.*, 2005c; SILVA *et al.*, 2007; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2002).

Para a seleção adequada de espécies vegetais capazes de prosperar nos solos afetados por sais dos Perímetros Irrigados do Estado do Ceará, torna-se conveniente, também, avaliar a capacidade de resistência da cultura em questão às demais condições ambientais de fundo, sobretudo, climáticas, que são peculiares em tais regiões.

Em adição, nessas regiões ocorre regularmente déficit hídrico, decorrente do próprio regime pluviométrico predominante na região Nordeste do Brasil, caracterizado pela insuficiência e pela irregularidade das precipitações naturais no tempo e no espaço (GARCIA *et al.*, 2007).

Existem poucos registros na literatura que buscaram demonstrar o efeito conjunto da salinidade e do estresse hídrico, por déficit de água, no desempenho das plantas. Isto é particularmente verdadeiro para a cultura do coqueiro, em que estudos com essa perspectiva não foram realizados.

As respostas dos vegetais frente à multiplicidade de estresses abióticos não representam simplesmente um somatório resultante do padrão comum de resposta obtido através do fator estressante de forma isolada (LIMA, 2009; SILVA, 2008).

De acordo com Syvertsen e Garcia-Sanchez (2014), as respostas e as adaptações às interações da salinidade com quaisquer outros estresses ambientais subjacentes só podem ser estudadas em ambientes controlados, onde as variações individuais dos níveis dos fatores estressantes e suas devidas interações bidirecionais simples podem ser manejadas e descritas.

Neste sentido, estudos dessa natureza proporcionarão o entendimento de uma série de respostas ecofisiológicas, gerando informações básicas que poderão auxiliar na tomada de decisões por parte da escolha adequada da cultura a ser explorada sob tais condições estressantes, contribuindo para o desenvolvimento de um manejo técnico cada vez mais eficiente em ambientes salinos, reintegrando as áreas afetadas por sais aos processos produtivos através de programas de revegetação com espécies de relevância social e econômica.

1.1 Hipóteses

A interação dos fatores de estresses abióticos salinidade do solo e deficiência hídrica podem reforçar ou, mesmo reverter às respostas das plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, a um simples fator de estresse.

As características de rusticidade, aliadas às estratégias adaptativas apresentadas pelo coqueiro, cultivar “Anão Verde” frente aos estresses abióticos salinidade do solo e deficiência hídrica atribuem à cultura um potencial para o seu uso em programas de revegetação de áreas afetadas por sais no Estado do Ceará.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Identificar e caracterizar as repostas e as possíveis estratégias adaptativas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, associadas com sua tolerância às condições de múltiplos estresses abióticos (deficiência hídrica e salinidade do solo), atuando isolados ou combinados, sob condições de casa de vegetação, do tipo telado.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a capacidade de estabelecimento de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, sob disponibilidade variável de água, em solos afetados por sais.
2. Avaliar os aspectos fisiológicos e bioquímicos que, direta ou indiretamente, podem influenciar na habilidade das plantas jovens de coqueiro em adaptarem-se às diferentes condições de déficit hídrico e/ou de salinidade do solo.
3. Avaliar o estado nutricional de plantas jovens de coqueiro, sob influência associada da disponibilidade hídrica e da salinidade do solo.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1 DEGRADAÇÃO DO SOLO

A degradação do solo incide no decréscimo de sua qualidade e ou redução em sua habilidade de constituir um recurso natural de múltiplo emprego, comprometendo a sustentabilidade de sua utilização, provocando o extermínio da potencialidade biológica das terras, bem como da capacidade das mesmas em suportar a população e às pressões a ela ligadas (BATISTA *et al.*, 2013).

Denomina-se por “solo degradado” aquele que foi submetido às alterações em sua natureza física, química, ou biológica, tanto como decorrência das modificações climáticas, causadas por fatores naturais, quanto à interferência humana sob o ecossistema, geralmente, através do uso agrícola, tais como: declínio da fertilidade e da condição estrutural, erosão, alcalinidade, acidez, salinidade, efeitos de elementos tóxicos, poluentes ou inundação excessiva. Desta forma, o processo de degradação dos solos acarreta na decadência da cobertura vegetal e dos recursos hídricos. Tal degradação ocasiona a redução na capacidade produtiva (NOGUEIRA JÚNIOR, 2000).

Segundo estimativas realizadas pela FAO (2013), 25% dos solos do planeta encontram-se degradados, sendo que 8% desses estão classificados como moderadamente degradados, 36% estão estáveis ou levemente degradados e 10% são consideradas como solos “em recuperação”.

Nas regiões de climas áridos e/ou semiáridos, particularmente, na região Nordeste do Brasil, a salinização tem sido apontada como a principal causa da degradação dos solos, e consequente desertificação das áreas agricultáveis, em maior ou menor proporção, em quase todas as suas áreas irrigadas, bem como em áreas onde se pratica a agricultura de sequeiro (TOPPA; BRAMBILLA, 2011).

1.1 Degradação química do solo: solos afetados por sais

A salinização dos solos, um dos mais antigos problemas ambientais, é considerada também um dos processos de degradação química do solo de incidência mais comuns na Terra (BOUAZIZ; MATSCHULLAT; GLOAGUEN, 2011).

Por definição, os solos afetados por sais, também denominados por solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, caracterizam-se pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície, em quantidades capazes de prejudicar o pleno desenvolvimento da maioria das espécies vegetais de importância econômica (RIBEIRO, 2010).

Os processos que resultam na salinização do solo podem ser oriundos de causas naturais ou artificiais. As áreas salinizadas por agentes naturais, geralmente, são aquelas constantemente inundadas pelas águas salinas oriundas de lagos e, principalmente, de mares (áreas de mangues, nas zonas costeiras tropicais e subtropicais), sendo estes, os únicos passíveis de ocorrência nas zonas úmidas; os desertos salinos, e pequenas áreas situadas nas adjacências de depósitos de sais (MOTA *et al.*, 2012).

Ainda segundo os referidos autores, a salinização pode dar-se, também, de forma natural, por meio da acumulação gradual de íons oriundos do intemperismo e, nas regiões de climas áridos e semiáridos, caracterizadas pela insuficiência e pela má distribuição das precipitações pluviométricas naturais no tempo e no espaço, as incidências de precipitações mais intensas impulsionam a movimentação de sais de uma área de melhor para outra de pior drenagem. Como nas condições climáticas predominantes nas referidas regiões, há desbalanço entre precipitação e evapotranspiração, onde a evapotranspiração é mais proeminente, a água pura (sob forma de vapor) é removida do solo e, esta perda de água, concentra solutos nas camadas superficiais do solo, resultando na gênese dos solos salinos.

De acordo Barros *et al.* (2005), os problemas mais sérios de salinização resultam dos processos secundários ou antropogênicos, onde os solos anteriormente produtivos se tornam afetados por sais, devido à ausência de manejo da irrigação, que além de contribuir diretamente para o aumento da concentração salina no solo, pode provocar a elevação do nível do lençol freático e, em consequência da ascensão capilar, culminar com o excesso de água e de sais na zona radicular. Desta forma, com a presença de lençol freático próximo à superfície, em decorrência da ineficiente drenagem natural e, ou, artificial, a descarga dos sais e a manutenção de um nível de salinidade do solo tolerável por parte das culturas é impossibilitada.

Determinado incremento no nível de salinização do solo acaba sendo inevitável mediante a adoção da técnica de irrigação, considerando que, praticamente, toda água contém, em maior ou menor quantidade, sais dissolvidos e traços de elementos químicos (SANTANA *et al.*, 2003). Neste sentido, o problema é acentuado mediante o emprego de águas de qualidade restritiva quanto aos sais na agricultura, sejam elas superficiais ou subterrâneas,

uma vez que solos normais podem se tornar até mesmo improdutivos, se receberem sais solúveis em excesso devido às irrigações mal conduzidas com águas salinas (SANTOS *et al.*, 2013).

Os efeitos negativos da salinização nos solos são a desestruturação, aumento da densidade aparente e da retenção da água no solo, redução da capacidade de infiltração de água pelo excesso de íons sódicos, redução da qualidade físico – química, suscetibilidade à erosão, além da contaminação do lençol freático e das reservas hídricas subterrâneas (DIAS; BLANCO, 2010).

Segundo Epstein e Bloom (2005), os solos salinos, frequentemente, são acompanhados de elevadas concentrações de NaCl, embora, em algumas áreas, também estejam presentes Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^- em altos conteúdos.

Do ponto de vista pedogenético, Ribeiro (2010), discorre que o processo de salinização do solo envolve o aumento da concentração de sais solúveis na sua solução e resulta na formação de “solos salinos”. Segundo o referido autor, os solos são classificados quimicamente como salinos quando a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) é $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ e a percentagem de sódio trocável (PST) é $< 15\%$. Nestes solos, normalmente, o potencial hidrogeniônico (pH) é $< 8,5$ e são rotineiramente flocculados, apresentando permeabilidade similar ou superior a de solos análogos, não salinos.

Conforme Ribeiro (2010), os “solos sódicos”, formados através do processo de solononização, mediante a efetivação de dois subprocessos, sodificação [processo de passagem do íon Na^+ da solução do solo para o complexo de troca, formando os “solos salino – sódicos” (CEes $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$; PST $\geq 15\%$ e pH $\leq 8,5$)] e dessalinização [lavagem dos sais solúveis, resultando na formação dos solos unicamente sódicos (CEes $< 4 \text{ dS m}^{-1}$; PST $\geq 15\%$ e pH $\geq 8,5$)], apresentam propriedades extremamente indesejáveis à porosidade, à infiltração, à disponibilidade de água e ao desenvolvimento radicular, devido, sobretudo, as elevadas concentrações de Na^+ , que além de prejudiciais às plantas, degradam, substancialmente, a estrutura física do solo.

No entanto, cumpre salientar que de acordo com Lima Júnior e Silva (2010), estima-se que devido aos problemas resultantes da salinização dos solos, aproximadamente, 50%, dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo já apresentam problemas de salinização do solo e que 10 milhões de hectares são abandonados anualmente em virtude desses referidos entraves.

No Brasil, embora as informações sobre as áreas salinizadas ainda não estejam bem definidas, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas apresentam problemas de

salinidade e/ou problemas de drenagem. Além dos solos salinos em áreas irrigadas, também existem grandes áreas afetadas por sais por causas naturais no país, perfazendo um total de aproximadamente 2,4% da área terrestre brasileira (FAO, 2008). De acordo com uma pesquisa realizada nos solos dos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, cerca de 9,1 milhões de hectares já são áreas salinizadas, o que corresponde a 9% da região analisada (FAO, 2008).

Caitano (2012) em mapeamento do risco de salinização dos solos do Estado do Ceará, com o uso de geoprocessamento e de estatística multivariada, constatou que 54,16% da área do Estado encontra-se sob risco moderado de salinização; 28,17%, sob risco alto; seguida de 14,96% sob risco baixo e 2,69% sob risco severo. De acordo com um levantamento realizado por Coelho e Ferreyra (1986), mediante a avaliação das características químicas dos solos aluviais do Perímetro Irrigado Morada Nova, constatou-se que já naquela época, aproximadamente 30% da superfície agrícola útil do perímetro se encontrava com altos teores de sais e/ou de sódio trocável.

1.2 Principais estresses abióticos em regiões áridas e semiáridas

1.2.1 Salinidade e seus efeitos sob os vegetais

Potencialmente, o estresse salino é capaz de comprometer todos os processos fisiológicos e metabólicos das plantas (ZHU, 2002). Porém, as respostas ao estresse salino são largamente variáveis em função da espécie, bem como do genótipo, de tal forma que algumas espécies vegetais apresentam elevada tolerância à salinidade, enquanto outras se mostram altamente vulneráveis aos seus efeitos. As plantas tolerantes ao sal podem ser qualificadas como halófitas (do grego, *halo* = “salgado”), aquelas que se desenvolvem naturalmente em ambientes com elevadas concentrações salinas (tipicamente Na^+ e Cl^-) e, glicófitas (do grego, *glyco* = “doce”), as menos tolerantes aos sais, que não são capazes de se desenvolver em ambientes com elevadas concentrações salinas (WILLADINO; CÂMARA, 2010).

Entretanto, a maior parte das plantas cultivadas de interesse econômico, são glicófitas, salvo algumas poucas exceções (LORENZI, 2008).

A salinidade compromete o crescimento das plantas, dificultando tanto o processo de divisão, como o de expansão celular (ZIDAN; AZAIZEH; NEWMANN, 1990). Na maioria das vezes, a implicação primária da salinidade no desenvolvimento das plantas é o comprometimento do crescimento, induzido pelo decréscimo no potencial hídrico da solução

do solo, a um nível abaixo do necessário para que ocorra a absorção de água pelas células das raízes, impedindo, por conseguinte, a expansão celular, visto que o potencial de pressão da célula tende a se igualar com o do solo (BOHNERT; NELSON; JENSEN, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A redução no potencial hídrico do meio pode induzir o estresse hídrico na planta inteira (PARIDA; DAS, 2005). Além disso, a salinidade reduz a condutividade hidráulica das raízes, limitando o fluxo de água e de sais para a parte aérea (SOHAN; JASONI; ZAJICEK, 1999). Posteriormente, o acúmulo excessivo de sais pode levar à morte dos tecidos, órgãos e até mesmo da planta inteira. Isso ocorre, em grande parte, devido aos distúrbios provocados pelos efeitos dos íons Na^+ e Cl^- acumulados nas células, os quais afetam vários processos metabólicos (MUNNS, 2002).

Entre os demais processos afetados pela salinidade, a redução da fotossíntese tem sido amplamente relatada na literatura e tem sido atribuída às limitações de origem estomáticas e não estomáticas. Sabe-se que a atividade fotoquímica apresenta resistência ao estresse salino de curta duração, sem redução da eficiência quântica potencial do fotossistema II. Contudo, sob exposição prolongada aos sais, sobretudo, quando altas concentrações de íons se acumulam nos tecidos, a atividade fotoquímica também pode ser afetada (MUNNS; TESTER, 2008; NETONDO *et al.*, 2004a, 2004b; PRAXEDES *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011).

Segundo Munns, James e Lauchli (2006), indiretamente, o menor crescimento das plantas, devido à salinidade, também tem sido atribuído à redução na absorção de alguns dos principais nutrientes, estando o cálcio (Ca) e o potássio (K), entre os mais bem documentados.

Para sobreviverem ao estresse salino, às plantas utilizam vários mecanismos bioquímicos e fisiológicos. As rotas bioquímicas que aumentam a tolerância à salinidade, provavelmente agem aditivamente e sinergisticamente (IYENGAR; REDDY, 1996). Tais estratégias incluem o acúmulo seletivo ou a exclusão de íons, o controle na absorção iônica e de seu respectivo transporte para as folhas, a compartimentalização dos íons nos vacúolos das células ou na planta como um todo, a síntese de solutos compatíveis, as mudanças nas rotas fotossintéticas, as alterações nas estruturas das membranas, as induções das sínteses de enzimas antioxidantes e de hormônios vegetais (PARIDA; DAS, 2005).

1.2.2 Déficit hídrico e seus efeitos sob os vegetais

De todos os recursos abióticos que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ainda, frequentemente, o mais limitante (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo Silva *et al.* (2012), durante seus respectivos ciclos de vida, as plantas, muitas vezes, atravessam períodos de exposição ao déficit hídrico no solo e na atmosfera que, potencialmente, prejudicam os processos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos, resultando em inibição do crescimento. Além disso, conforme os referidos autores, essas flutuações na disponibilidade de água comprometem o cultivo da maioria das plantas, acarretando, dentre as suas mais prováveis consequências, instabilidade da produção, perdas de rendimento e deterioração da qualidade dos produtos colhidos.

Assim, as plantas evoluíram muitas estratégias para manter o crescimento, quando a disponibilidade de água é restrita ou imprevisível (CONFORTO, 2008). As sensibilidades ou tolerâncias das espécies vegetais ao déficit hídrico dependem de uma série de fatores, dentre eles o estágio fenológico, a duração e a intensidade do estresse. As respostas às condições de deficiência hídrica são muito complexas e resultam da coordenação de ajustes fisiológicos, bioquímicos, metabólicos e moleculares, tanto a nível celular, como em órgãos e, até mesmo, em plantas inteiras, objetivando permitir a sobrevivência das plantas em condições de estresse (SANTOS; CHARLESSO, 1998).

Fisiologicamente, o fechamento estomático constitui uma das instantâneas respostas à deficiência hídrica, desencadeada com o objetivo de reduzir as perdas de água por transpiração. Cumpre salientar que os estômatos são capazes de reduzir sua condutância ao vapor de água em resposta ao estresse por escassez de água, antes mesmo que qualquer mudança no conteúdo de água na folha venha a ser detectado, o que reflete a eficiência do efetivo controle estomático sob o déficit hídrico (FLEXAS; MEDRANO, 2002; CHAVES *et al.*, 2003).

O fechamento dos estômatos proporciona uma menor perda de água por unidade de assimilação de carbono, melhorando, assim, a eficiência de utilização da água em plantas estressadas. No entanto, o fechamento dos estômatos também é acoplado com a inibição do fluxo de CO₂ e a absorção de nutrientes pelas raízes, eventualmente, resultando em redução da fotossíntese e da produção subsequente de hidratos de carbono (GONZAVELES *et al.*, 2008).

Neste sentido, os efeitos diretos do déficit hídrico sobre a fotossíntese resultam em limitações da difusão através dos estômatos até o mesófilo e em alterações no

metabolismo fotossintético e, indiretamente, através do estresse oxidativo, acarretado pela indução da síntese de espécies reativas de oxigênio (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; FLEXAS; MEDRANO, 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002).

Glaz, Morris e Daroub (2004) advertem que sob condições de escassez hídrica, as variáveis de trocas gasosas foliares (condutância estomática, transpiração e fotossíntese) podem apresentar alterações de forma distinta.

Os fotossistemas são constituintes funcionais dos cloroplastos, que obtêm energia luminosa para originar a permuta de elétrons, e para suscitar uma força motriz de prótons, aproveitada para a produção de ATP. Especificamente, o fotossistema II (PS2) depende da água para a geração de energia química, requerida posteriormente para a fixação de CO₂. Assim, variações na disponibilidade hídrica geram menor eficiência do fotossistema II, ou seja, com recurso de água limitado, menos ATP e NADPH são formados e, como consequência, menos CO₂ é fixado (LU; ZHANG, 1999; SOUZA *et al.*, 2005).

O déficit hídrico pode levar ao decréscimo característico na eficiência quântica potencial no PS2, podendo ser detectada pela queda na relação $F_v F_m^{-1}$; paralela à redução da fotossíntese, devido à menor eficiência fotoquímica. Podem ainda ocorrer reduções na atividade de algumas enzimas de ciclo de Calvin e mudanças nas rotas químicas, como o acúmulo de aminoácidos e de ácidos orgânicos (CHAGAS, 2007).

O estresse por seca é normalmente caracterizado por perda de clorofila e um declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas (SILVA *et al.*, 2014).

Segundo Batista *et al.* (2010), fatores ambientais influenciam diretamente a anatomia foliar, sobremaneira, a condição hídrica. Modificações da anatomia foliar como espessamento do mesofilo e da epiderme, aumento da densidade e da funcionalidade de estômatos têm demonstrado estreita relação com a tolerância à seca (MELO *et al.*, 2014).

Variações no sistema vascular e na espessura do córtex de raízes em plantas cultivadas sob estresse podem ser observadas, e podem estar associadas com variações de atividade enzimática (PEREIRA *et al.*, 2008; PEREIRA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2009).

Morfologicamente, segundo Ávila *et al.* (2007), uma das expressões dos efeitos da baixa disponibilidade hídrica sob os vegetais é a diminuição do crescimento, originada pela redução da expansão celular. O artifício de alongamento celular e a síntese de parede celular são muito sensíveis ao déficit hídrico, e a redução do crescimento, como consequência da diminuição do alongamento celular, seria causada por um decréscimo na turgescência dessas células.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), a redução da área foliar é frequentemente considerada uma resposta fisiológica ao estresse por deficiência hídrica. Para os autores, em plantas com crescimento indeterminado, a restrição hídrica, além de comprometer o tamanho foliar, limita também o número de folhas, em decorrência da redução do número de ramificações, bem como das taxas de crescimento das mesmas. Os autores reportam ainda que, o crescimento dos caules, embora menos estudados, são afetados pelas mesmas condições que limitam os crescimentos das folhas, sob deficiência hídrica.

Sob deficiência hídrica, as plantas apresentam mudanças nos padrões de alocação de biomassa seca, muitas vezes, acarretando incrementos na relação raiz parte aérea⁻¹, o que é atribuído à grande alocação de carbono às raízes. A deficiência hídrica atua em todo o crescimento da planta, restringindo o potencial de crescimento na parte aérea, contudo, comprometendo em menor proporção o crescimento das raízes, na tentativa de explorar um maior volume de solo e de alcançar água em maiores profundidades (SANTOS *et al.*, 2012).

De acordo com Albuquerque *et al.* (2013), uma forma de elevar a tolerância à seca nos vegetais é pelo acúmulo de solutos osmoticamente ativos, de modo que os processos de turgor e aqueles que os são dependentes podem ser mantidos, mesmo durante as condições estressantes de deficiência hídrica, possibilitando a absorção de água, a expansão celular e, conseqüentemente, o crescimento das plantas, mesmo durante o estresse hídrico. Tais mecanismos, associados à abertura parcial dos estômatos, permitem a assimilação de CO₂ até mesmo em baixos potenciais de água (ALVES; SETTER, 2004).

O ajuste envolve a acumulação líquida de solutos em células vegetais em resposta às quedas do potencial de água no meio radicular. Como consequência, o potencial osmótico da célula será diminuído o suficiente para atrair a água para dentro da célula, com o objetivo de manter a pressão de turgescência e os processos que os são relacionados (PEREZ - PEREZ *et al.*, 2009).

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o ajuste osmótico pode ser realizado por duas maneiras, através do acúmulo de íons nos vacúolos, mediante a absorção e do transporte de íons de outros órgãos das plantas para as raízes, ou através da acumulação de solutos compatíveis no citoplasma. Os solutos compatíveis são compostos orgânicos osmoticamente ativos na célula, mantidos nas mesmas em grandes quantidades, sem efeitos nocivos no metabolismo. Os solutos compatíveis mais comuns são aminoácidos, tais como a prolina, alcoóis de açúcar, como o manitol e compostos quaternários de amônio, como a glicina betaína. Alguns desses solutos, como a prolina, também parecem ter uma função osmoprotetora, protegendo as plantas de subprodutos tóxicos formados durante a escassez de

água, proporcionando, adicionalmente, uma fonte de carbono e de nitrogênio para as células quando as condições se tornam novamente favoráveis.

O acúmulo de carboidratos em folhas de plantas submetidas à escassez de água também tem sido relatado como um mecanismo de adaptação às condições de estresse em uma variedade de culturas (LOKA; OOSTERHUIS, 2014).

1.2.3 Estresses múltiplos e seus efeitos sob os vegetais

Ainda que seja conveniente tratar os fatores de estresse de maneira particularizada, não significa que os mesmos incidam dessa forma na natureza, uma vez que sob condições de naturais e de cultivo, as plantas são expostas a uma combinação variada de diversos fatores abióticos, os quais interagem fortemente, resultando em uma combinação múltipla de fatores adversos que afetam o crescimento, a fisiologia, o metabolismo e a produtividade (LIMA, 2009; SILVA, 2008).

Estudos têm demonstrado que as respostas vegetais atribuídas aos efeitos combinados dos estresses são únicas e não podem ser evidenciadas apenas com bases nas respostas associadas aos seus respectivos efeitos isolados (RIZHSKY *et al.*, 2004; MITTLER, 2006), uma vez que, segundo Larcher (2006), a combinação de fatores de estresse ou uma série de eventos estressantes podem reforçar, diminuir, mascarar ou, mesmo, reverter às respostas das plantas a um simples fator de estresse.

Liu *et al.* (2008) comentam que a literatura ainda é escassa em evidenciar o efeito conjunto da salinidade e do estresse hídrico por déficit de água no crescimento das plantas, já que esse efeito interativo e o entendimento de algumas respostas ecofisiológicas contribuem para o desenvolvimento de um manejo eficiente em ambientes salinos que ocorrem, especialmente, em regiões áridas e semiáridas.

Contudo, apesar do número relativamente reduzido de estudos focados na compreensão das repostas dos vegetais à ocorrência simultânea de dois ou mais fatores estressantes, os resultados existentes são contundentes e evidenciam que as plantas são influenciadas pelos efeitos tanto isolados, como combinados dos fatores de estresses. Os resultados demonstram, ainda, que as respostas às combinações de estresse podem ser distintas daquelas evidenciadas sob os efeitos isolados, sendo que as plantas podem responder, exclusivamente, à combinação, o que conduz, na verdade, a um “novo” estado de estresse abiótico, e não apenas uma associação de estresses (LIMA, 2009; SILVA, 2008).

1.3 A cultura do coqueiro

Visando a utilização sustentável de áreas agricultáveis que apresentam solos com excesso de sais, tanto para reabilitação do solo quanto para a produção econômica, torna-se necessário eleger e utilizar de espécies tolerantes à salinidade. Dessa maneira, conhecer como as diferentes espécies vegetais respondem à salinidade, principalmente, aquelas com potencial econômico, é imprescindível para assegurar o sucesso dos cultivos dessas espécies agronomicamente promissoras em áreas afetadas por sais (MENDONÇA *et al.*, 2007).

Dentre as espécies vegetais de conhecida tolerância à salinidade, o coqueiro, de uma maneira particular, por sua ocorrência natural em zonas costeiras, caracterizadas por apresentarem um acentuado gradiente de salinidade do solo, devido à grande influência de águas oceânicas (FERREIRA NETO *et al.*, 2007), poderá apresentar características de adaptação ao excesso de sais no solo e, por conseguinte, poderá ser aproveitada como uma das espécies potenciais para a revegetação de áreas afetadas por sais no semiárido do nordeste brasileiro.

Estas prováveis características de tolerância das plantas de coqueiro aliam-se ainda, a alguns promissores resultados disponíveis na literatura que estudaram os efeitos da aplicação de águas com diferentes níveis de salinidade e verificaram a viabilidade da irrigação do coqueiro com águas salinas, confirmada pela tolerância da cultura ao uso de água salina na germinação, nas fases de formação de mudas e de produção (FERREIRA NETO *et al.*, 2002, 2007; LIMA, 2014; MARINHO *et al.*, 2005a; MARINHO *et al.*, 2005b; MARINHO *et al.*, 2005c; SILVA *et al.*, 2007; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2002).

1.3.1 Origem e distribuição geográfica

O coqueiro é uma planta arbórea de grande importância econômica e social e, no Brasil, também é denominado por coco, coco-da-bahia ou coqueiro da Bahia (FARIAS NETO *et al.*, 2009; LORENZI, 2008; PASSOS; PASSOS; PRADO, 2005).

Estima-se que sua idade é de aproximadamente 11 milhões de anos. Por apresentar ampla distribuição geográfica, sua origem, é objeto de controvérsias, existindo essencialmente cinco perspectivas teóricas principais (BARCISKI, 2013).

Segundo Góes Neto (2014), alguns estudiosos da cultura do coqueiro colocam o Novo Mundo como provável centro de origem da espécie, ao passo que outros consideram que sua origem seria asiática ou polinésica. Embora distintos autores tenham exposto

evidências que indicam a Melanésia como núcleo de origem, para outros pesquisadores, o coqueiro é provavelmente originário do oeste do Pacífico.

Atualmente, a hipótese mais aceita entre os que dedicam estudos à cultura, é que esta seja originária do sudeste Asiático, e muito provavelmente das ilhas situadas entre os Oceanos Índico e Pacífico (ALVES *et al.*, 2007).

Segundo Siqueira *et al.* (1998), partindo do sudeste asiático, o coqueiro foi difundido para a Índia, de onde seguiu para o leste africano. Para os autores, com o encontro do caminho para a Índia pelos oceanos, através do contorno do “Cabo da Boa Esperança”, o coqueiro foi conduzido para o Oeste Africano e desta região para as Américas, de onde seguiu para todos os confins da região tropical do globo terrestre.

No Brasil, as primeiras referências aos coqueiros fazem menção à região Nordeste, especificamente, ao estado da Bahia, de onde se acredita que sua introdução local se deu a partir dos cultivos oriundos de Cabo Verde. Contudo, tem-se instituído grande discussão quanto à maneira na qual o coqueiro chegou à América, tendo em vista que muitos pesquisadores afirmam que esta planta já se fazia presente na região, antes mesmo desta provável introdução feita pelos colonizadores portugueses, a partir dos cultivos de Cabo Verde (FERRÃO, 2013).

De acordo com Barcinski (2013), acredita-se que o coqueiro tenha sido conduzido para o Brasil através da própria água do mar, uma vez que ao longo do percurso por aonde a corrente marítima que vem da África se desloca, não é possível encontrar nenhum plantio de coqueiro que tenha se formado espontaneamente, além do Nordeste do Brasil. Para o autor, os frutos, que encerram as sementes, quando secos, podem boiar por mais de quarenta dias sem perder a viabilidade, podendo ter sido transportados desde as ilhas da Polinésia até as costas americanas, especificamente, às praias brasileiras.

Em um recente estudo baseado na sequência do gene “PRK NUCLEAR”, Gunn (2004), contrapondo o consenso até então aceito pela literatura, reportou que o coqueiro não se originou no oeste do Pacífico, hipotetizando que a espécie é, na verdade, originária da América do Sul, especificamente do Brasil, onde foi diversificada e propagada para o leste, na direção dos países do continente Africano, Madagascar e Índia e, para o sul, através do corredor da Antártida, para os países Austrália e Nova Zelândia.

1.3.2 Descrição botânica, morfologia e fisiologia

Linneaus, em sua nomenclatura binária, atribuiu para o coqueiro o nome científico *Cocos nucifera*. O termo *Cocos*, possivelmente, se originou do vocábulo “macaco”, graças à aparência externa da casca do fruto, que, por causa dos três poros ou “olhos” que tem em uma de suas extremidades sobre o endocarpo, de onde, normalmente, ocorre a germinação do embrião, formando a plântula, lembrar a face desse animal. De forma semelhante, o termo *nucifera*, também é oriundo do latim, cujo significado é “o que produz noz”, ou “o que tem noz ou amêndoa”, e faz menção à polpa do fruto da espécie (BARCISKI, 2013).

De acordo com a taxonomia hierárquica, no sistema Lineano de classificação, o coqueiro ocupa a seguinte posição sistemática: Reino: *Plantae*; Divisão: *Anthophyta*; Grupo: *Monocotyledoneae*; Classe: *Magnoliopsida*; Ordem: *Arecales*, monofamiliar; Família: *Arecaceae* (*Palmaceae*), a qual contém cerca de 30 gêneros e aproximadamente 2.000 espécies; Subfamília: *Cocoideae*; Tribo: *Cocoeae*, constituída por várias outras espécies de valor econômico como o dendê (*Elaeis guineensis*) e o babaçu (*Orbignya phalerata*), entre outras; Gênero: *Cocos*, monoespecífico; Espécie: *Cocos nucifera* L. (BRESINSKY *et al.*, 2013; CINTRA *et al.*, 2009; GUNN, 2004).

A espécie *Cocos nucifera* L. apresenta número diplóide [$2n = 32$ cromossomos] (BENASSI *et al.*, 2007), a qual é subdividida em quatro variedades: *nucifera* [= *typica* (Gigante)], *nana* (Anão), *spicata* e *synphyllica*, dentre as quais, as mais importantes são as variedades “Gigante” e “Anão”, sendo que, esta última, divide-se em três subvariedades: “Verde”, “Vermelha” e “Amarela” (ARAGÃO *et al.*, 2002).

Dentre as variedades de coqueiro “Anão”, a área de plantio destinada ao cultivo da variedade “Anão Verde” vem aumentando nos últimos anos, e atribui-se, este crescimento, à elevação na demanda por água de coco pra fins industriais e *in natura*, uma vez que, a variedade mostra maior aceitação, bem como outras conveniências sob os aspectos de produtividade e precocidade, tendo em vista que a mesma inicia sua produção mais cedo, entre três e quatro anos, enquanto a variedade gigante necessita de cerca de sete anos para o início da fase produtiva, além de apresentar menor estatura, favorecendo a colheita e os demais tratos culturais e produzir maior número de frutos planta⁻¹ ano⁻¹ (CASTRO, 2007).

O sistema radicular do coqueiro é do tipo fasciculado. A espécie, a partir da base de seu caule, produz continuamente, raízes mais espessas (raízes primárias), com diâmetro médio variando de 8 a 10 mm. Tais raízes têm reduzida capacidade absorviva, e desempenham, principalmente, a função de fixação da planta ao solo. Das raízes primárias,

surtem as secundárias, de onde se originam as raízes terciárias, que produzem radículas que medem de 1 a 3 mm de diâmetro, sendo estas, consideradas os efetivos órgãos de absorção na espécie (PASSOS, 1998).

Segundo Pomier e Bonneau (1987), a dinâmica da distribuição do sistema radicular do coqueiro é controlada, sobretudo, pelos seguintes fatores: tipo de solo, condições de umidade, práticas culturais e diferenças varietais. De acordo com Miranda *et al.* (2004), a profundidade efetiva do sistema radicular (profundidade do solo onde se encontram cerca de 80% das raízes) do coqueiro “Anão” irrigado, durante a fase jovem (até 30 meses de idade) é de 0,6 m. Por se tratar de uma palmeira, os caules ou troncos do coqueiro são denominados por estipe ou estípite e caracterizam-se por serem muito desenvolvidos e bastante resistentes (SODRÉ, 2005).

Como particularidade inerente às monocotiledôneas, o caule da espécie não apresenta crescimento secundário lateral, em decorrência da ausência de câmbio, da formação do parênquima e da própria hipertrofia dos tecidos formados durante o desenvolvimento inicial da espécie (PASSOS; PASSOS, 2003).

Ramificações nos caules dos coqueiros são consideradas anomalias e, raramente, a espécie apresenta esta característica, sendo a inflorescência considerada sua única ramificação, por se tratar, na verdade, de um ramo caulinar modificado. Desvios nas condições ambientais ótimas ao crescimento das plantas, sobremaneira, a deficiência hídrica, acarretam modificações nos diâmetros dos caules e na altura das plantas, em decorrência das variações no tamanho unitário das células que o compõem, sendo o crescimento em altura mais pronunciado na idade jovem (PASSOS, 1998).

Segundo o mesmo autor, o ápice caulinar, de onde se originam as novas folhas, formando uma copa, constitui o palmito, tenro e comestível. No ápice do palmito, encerra-se o único ponto de crescimento da planta, que caso venha a ser destruído acarreta sua morte.

As folhas do coqueiro são do tipo penadas, formadas por bainha, pecíolo e limbo. A bainha apresenta natureza peciolar, sólida e consistente, envolvendo parcialmente o caule. O envolvimento total do caule é feito pela indúvia, um tecido fibroso e trançado com funções de fixação das folhas e dos cachos e protetora do caule. O pecíolo tem função de sustentação da bainha e de condução da seiva. O limbo é formado pela raque, onde se fixam os numerosos folíolos em posições alternadas e opostas (GOMES, 1992).

Sob condições ambientais adversas, principalmente, frente à deficiência hídrica, o número de folhas por planta é reduzido, em decorrência também do decréscimo da velocidade de emissão foliar e da menor longevidade da folha (PASSOS, 1998). Os folíolos são

revestidos por cutículas espessas, e sob adequado suprimento hídrico apresentam-se túrgidos e completamente abertos. No entanto, em condições de déficit hídrico, estes se encurvam para baixo, interceptando menos energia luminosa, comprometendo suas atividades metabólicas (FERREIRA NETO, 2005).

Os estômatos predominam-se na face abaxial dos folíolos. Anatomicamente, os folíolos da espécie apresentam características estruturais semelhantes às descritas para outras espécies de *Arecaceae*, tais como: ceras epicuticulares do tipo placa, estômatos tetracítricos, epiderme uniestratificada, feixes vasculares colaterais com floema estratificado e idioblastos, contendo cristais de oxalato de cálcio em forma de ráfides (ARAÚJO *et al.*, 2013).

Normalmente, na axila de cada folha é gerada uma inflorescência, que é paniculada, protegida por brácteas grandes denominadas de espata. Possivelmente, o número de inflorescências formadas é determinado pelo respectivo número de folhas formadas ao longo do ano. As espatas plenamente desenvolvidas abrem-se, liberando as inflorescências, que são formadas por pedúnculo, espiga e flores (OHLER, 1984).

Em uma mesma inflorescência, porém, em flores diferentes, formam-se os órgãos masculinos e femininos. As flores masculinas, de maior tamanho, localizam-se na base de cada espiga, enquanto que as flores femininas, em grande quantidade, se dispõem no ápice das mesmas. Os estados nutricionais e hídricos exercem efeitos sob o número de flores femininas por inflorescência. Na variedade gigante, predomina-se a polinização cruzada, enquanto na variedade anã, ocorre normalmente a autopolinização (PASSOS, 2003).

Segundo Bresinsky *et al.* (2013), os frutos da espécie são do tipo drupas, que se caracterizam por serem grandes e provenientes de ovários sincárpicos. Estes frutos têm exocarpo liso, mesocarpo espesso e fibroso, e endocarpo duro. O endosperma é sólido e rico em óleo (“copra”) em sua parte externa e líquido (“água-de-coco”) na interna. O mesocarpo contém ar, o que possibilita a flutuação dos frutos.

A semente, envolvida pelo endocarpo, é formada por uma camada fina de cor marrom – o tegumento – que fica entre o endocarpo e o albúmen sólido ou copra. Este último é a camada carnosa, branca, muito oleosa, que forma uma grande cavidade onde se encontra o albúmen líquido. Próximo a um dos orifícios do endocarpo e envolvido pelo albúmen sólido, está o embrião (PASSOS, 1998).

Fisiologicamente, o coqueiro, como a maioria das espécies arbóreas, é uma planta de metabolismo fotossintético do tipo C3. Sob condições não estressantes, elevados valores de fotossíntese, em luz saturante, foram mensurados em folhas de coqueiro, chegando à média de $15 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (GOMES; PRADO, 2007).

1.3.3 Requerimentos ambientais

Semelhante às demais palmáceas, o coqueiro é uma espécie tipicamente tropical e encontra condições favoráveis ao seu desenvolvimento entre as latitudes 20° N e 20° S, sendo os climas quentes e úmidos os mais adequados ao pleno desenvolvimento dessa planta (ALVES *et al.*, 2007). A espécie exige uma temperatura média do ar anual entre 22 - 34 °C, sendo a média anual de 27 °C, considerada ótima para o íntegro desenvolvimento. A cultura requer ainda ausência de temperaturas inferiores a 15 °C, por estas modificarem a morfologia e acarretarem desordens fisiológicas, como paradas de crescimento e abortamento das flores. A temperatura define, além disso, as altitudes nas quais os coqueiros podem ser cultivados, podendo-se encontrar, por exemplo, coqueiros em até 750 m de altitude, em relação ao nível do mar (OHLER, 1999).

Umidade relativa do ar excessivamente alta ou baixa é danosa ao coqueiro, sendo entre 60 - 90%, a faixa considerada ideal. Tais condições ambientais de fundo devem estar associadas à incidência de radiação solar de 300 - 900 W m⁻² (PASSOS, 1998).

A quantidade e principalmente a distribuição das precipitações naturais são muito importantes para o satisfatório crescimento e produtividade. Geralmente, a espécie é encontrada em áreas onde a precipitação varia 1.300 - 2.500 mm, sendo considerada ideal a média mensal de 150 mm. No entanto, o coqueiro é frequentemente exposto ao déficit hídrico no solo e na atmosfera, por se tratar de uma palmeira perene, com uma longa vida produtiva (GOMES; PRADO, 2007). Em suma, sob condições ambientais desfavoráveis, a fisiologia e a morfologia do coqueiro podem ser fortemente afetadas (ALVES *et al.*, 2007).

1.3.4 Principais produtores mundiais e nacionais

Ainda que o coqueiro seja cultivado em mais de 90 países do globo terrestre, estima-se que 89,90% da produção mundial são representadas pela participação dos dez principais produtores mundiais. A Indonésia é o maior produtor mundial, seguido por Filipinas, Índia, Brasil e Sri Lanka, que somaram juntos 52,00 milhões de toneladas, representando 83,20% da produção mundial, no ano de 2013. Indonésia, Filipinas e Índia respondem por 75,30% da produção mundial, enquanto o Brasil representa apenas 4,30% do total (FAO, 2014).

Na contemporaneidade, o cultivo mundial do coqueiro tem registrado acréscimos tanto na produção quanto na área colhida. Em 2001, a produção mundial foi de 51,90 milhões

de toneladas, numa área colhida de 11,10 milhões de hectares, enquanto que no ano de 2010 a produção foi de 62,40 milhões de toneladas, em uma área colhida de 11,70 milhões de hectares, representando um incremento de 20,20% na produção e de apenas 5,40% na área colhida. O rendimento médio mundial variou de 4,68 t ha⁻¹ no ano de 2001 para 5,33 t ha⁻¹ no ano de 2010 (FAO, 2014).

O Brasil possui 261,761 mil hectares cultivados com a cultura do coqueiro e obteve em 2011 uma produção de 1,86 bilhões de frutos colhidos (AGRIANUAL, 2012).

A participação das regiões brasileiras na produção de coco no ano de 2010 revelou que o Nordeste produziu 71,90% do total, seguido pelo Sudeste com 14,60% e Norte com 13,50%. Em relação à área total colhida, 84,60% foi na região Nordeste, 9,0% na região Norte e 6,4% na região Sudeste (AGRIANUAL, 2012).

Em 2010, os cinco estados maiores produtores de coco foram: Bahia, Ceará, Sergipe, Pará e Espírito Santo. Considerando estes cinco estados juntos, os mesmos totalizam uma produção superior a 1,41 bilhões de frutos, correspondente a 78,30% da produção nacional (AGRIANUAL, 2012).

Comparando-se os anos de 2001 e 2010, a produção brasileira de frutos de coco apresentou crescimento na maioria dos estados produtores. A exceção foi observada no Rio Grande do Norte, onde a produção em 2001 foi de 88,30 milhões e em 2010 foi de apenas 62,40 milhões de frutos, com uma redução de 29,4%. Nesse mesmo período, destaca-se a grande evolução na produção de coco no estado de Sergipe, passando de 90,40 para 253,60 milhões de frutos, representando acréscimo de 180,5% (AGRIANUAL, 2012).

1.3.5 Usos e importância sócio-econômica

Devido à sua relevância na geração de emprego, renda e na alimentação humana em mais de 86 países localizados na zona intertropical do globo terrestre, o coqueiro é considerado uma das espécies vegetais mais importantes do mundo, chegando a ser denominado rotineiramente por "Árvore da Vida" (ANDRADE *et al.*, 2004).

Considerando a diversidade de produtos obtidos nas diferentes partes da planta, afirma-se que do coqueiro tudo se aproveita. Entretanto, os principais produtos e subprodutos são procedentes dos frutos, que são aproveitados comercialmente para o consumo *in natura*, sobremaneira da água de coco (albúmen líquido), para a agroindústria de alimentos (albúmen sólido e líquido), onde mais de cem produtos são obtidos da industrialização de seu fruto,

como copra, óleo, leite de coco, farinha de coco, água de coco, fibra e ração animal, para a indústria têxtil (fibras do mesocarpo) e para o artesanato (endocarpo) (ARAÚJO *et al.*, 2013).

Além disso, as demais partes constituintes da espécie (raiz, caule, inflorescência e folhas) geram também diversos subprodutos ou derivados de interesse econômico, sendo também utilizado como planta paisagística (FERREIRA; WARWICK; SIQUEIRA, 1998).

Com a crescente demanda por bioenergia no mercado nacional e internacional, o coqueiro desponta-se como uma alternativa potencial para a produção de biodiesel a partir do óleo proveniente de seus frutos. Estima-se que possam ser obtidos cerca de duas toneladas de óleo $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ com o cultivo do coqueiro. Nesta promissora conjuntura, o coqueiro conta ainda com a vantagem de ter sua produção distribuída durante todo o ano (FONTES; WANDERLEY, 2006).

Considera-se, ainda, que o coqueiro tenha uma importância social relevante pelos empregos que gera e, principalmente, por ser cultivada, na sua maioria, por pequenos agricultores, em pequenas propriedades. Seu cultivo permite o consórcio com outros cultivos anuais e perenes, propiciando mais uma fonte de renda para o produtor, além de ser uma cultura de longa vida produtiva (40 a 60 anos) gerando um sistema auto-sustentável de exploração (DALLEMOLE; LINS; SANTANA, 2008).

A este respeito, Aragão *et al.* (1999), enfatizam que o coqueiro pode ser considerado a mais importante das culturas perenes, justamente por sua capacidade de gerar um sistema auto-sustentável de exploração, por desempenhar um papel importante na sustentabilidade dos ecossistemas frágeis das ilhas e regiões costeiras do mundo tropical, devido a seu crescimento e desenvolvimento em ambientes com alta salinidade, secos, dotados de solos com baixa fertilidade natural, onde poucas plantas são capazes de sobreviver.

1.4 Coqueiro e estresses abióticos

1.4.1 Coqueiro e salinidade

Existem poucos estudos relacionados diretamente à cultura do coqueiro em solos afetados por sais. No entanto, o grau de tolerância dessa espécie vegetal à salinidade, tem sido mensurado mediante a avaliação dos efeitos de diferentes concentrações de sais na água de irrigação.

Marinho, Gheyi e Fernandes (2005b) avaliaram os efeitos da irrigação com águas salinas ($\text{CEa} = 2,2; 5; 10; 15 \text{ e } 20 \text{ dS m}^{-1}$) sobre a germinação e o crescimento inicial de

plântulas de coqueiro, até 120 dias após semeadura (fase I), estendendo-se a avaliação, posteriormente, após repicagem para o viveiro, quando passaram a ser irrigadas com água de $CEa = 2,2 \text{ dS m}^{-1}$, durante 120 dias (fase II), constataram que, na primeira fase, o incremento da CEa não influenciou significativamente o percentual de germinação, que variou de 80 a 97,5%, porém afetou a velocidade de germinação e o crescimento das plântulas. Na fase de sementeira, a salinidade afetou a fitomassa total a partir de $5,4 \text{ dS m}^{-1}$; sendo que, o sistema radicular, foi à variável mais afetada pela salinidade. Na fase II, as plantas oriundas de germinação sob condições de alta salinidade, após passarem a ser irrigadas com água de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$, cresceram no mesmo ritmo daquelas germinadas sem estresse salino.

Marinho *et al.* (2005a) estudaram a viabilidade do uso de água salina na irrigação do coqueiro, cv. “Anão Verde” encontraram que o coqueiro é tolerante ao uso de água salina na germinação, nas fases de formação de muda e início de produção, tendo em vista que, as pesquisas conduzidas evidenciaram que a salinidade da água de irrigação, por mais que tenha prolongado o período de germinação e reduzido o crescimento inicial das plantas, não foi capaz de exercer efeitos significativos sob a produção de frutos. Por outro lado, o incremento da salinidade da água de irrigação resultou em frutos com menor peso médio e com menor volume de água, todavia, com maiores valores de °Brix na água de coco.

A salinidade da água de irrigação reduz a condutância estomática do e o potencial hídrico das folhas do coqueiro, sem interferir na eficiência do aparelho fotossintético (MARINHO *et al.*, 2005b).

A salinidade da água de irrigação aumenta a senescência das folhas, o intervalo entre a emissão foliar e o de inflorescência aumento do número de flores femininas, sem acarretar incremento correspondente na produção de frutos do coqueiro “Anão Verde”, devido ao abortamento dessas flores. (FERREIRA NETO *et al.*, 2007). Os autores constataram que ocorre acumulação de Na e de Cl em folhas de coqueiro com incremento da salinidade da água de irrigação, sem sintomas visuais de toxicidade na planta, sendo acompanhada de inibição competitiva entre Cl/N, Na/ K, Na/Ca e de sinergismo entre Na/Mg. Por fim, as produções obtidas com águas de irrigação de condutividade elétrica até 10 dS m^{-1} são próximas àquelas alcançadas nos cultivos com águas de baixa salinidade.

Ferreira Neto *et al.* (2002) avaliaram os efeitos de quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,1; 5,0; 10,0 e $15,0 \text{ dS m}^{-1}$), na qualidade de frutos de coco, cultivar “Anão Verde do Brasil de Jiqui”, com 3,5 anos de idade e na salinização do solo e constataram que a salinidade da água de irrigação reduziu o peso médio e o volume de água dos frutos, elevando o teor de açúcares (°Brix) e a concentração iônica expressa pela condutividade elétrica (CE)

da água do fruto. Segundo os autores, os íons em maior concentração na água de coco foram o cloreto e o potássio. A CE do extrato de saturação do solo, 11 meses após iniciada a irrigação, aumentou até a profundidade de 0,80 m, em função da concentração salina da água de irrigação, atingindo valores superiores a 4 dS m⁻¹ principalmente nos níveis de CE 10 e 15 dS m⁻¹.

Lima (2014) avaliou as respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de plantas jovens de coqueiro irrigadas com águas salinas (0,9; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 dS m⁻¹). Nos resultados, o autor evidenciou que a salinidade da água de irrigação gerou modificações em todas as variáveis morfológicas de crescimento, reduzindo-as, ao final do experimento. As trocas gasosas foliares foram comprometidas pela salinidade, com maiores diminuições na condutância estomática; os conteúdos de clorofila foram reduzidos com o acréscimo da salinidade, porém, o aparato fotossintético não sofreu alterações ao término do período de avaliação.

Segundo Lima (2014), o aumento da salinidade diminuiu o potencial hídrico foliar das mudas de coqueiro. Constataram-se, ainda, maiores acúmulos de solutos orgânicos e inorgânicos na parte aérea e nas raízes com o incremento do nível de salinidade. Diante dos resultados, o autor conclui que mesmo diante de bruscas diminuições no crescimento e nas trocas gasosas foliares, o coqueiro apresentou estratégias de tolerância aos efeitos deletérios da salinidade, ratificando a adaptação da espécie a estas condições adversas.

1.4.2 Coqueiro e deficiência hídrica

Diante do déficit hídrico, ocorre redução no crescimento da planta pela diminuição na emissão de folhas e do tamanho destas, queda prematura de folhas, retardamento do início da fase de produção, diminuição do número de flores femininas por cacho, queda de flores e de frutos imaturos e redução de tamanho daqueles que chegam a amadurecer (MIRANDA *et al.*, 2007).

O coqueiro, por armazenar água no caule, pode utilizar-se desse órgão como reserva hídrica, e isso pode ter um papel importante na sobrevivência da espécie durante os períodos de baixa disponibilidade de água. A escassez hídrica pode levar à diminuição do diâmetro do caule, no entanto, o diâmetro caulinar mostra-se elástico, podendo aumentar, novamente, quando as condições hídricas se tornarem favoráveis (PASSOS, 1998).

Kumar *et al.* (2002) evidenciaram uma série de adaptações anatômicas nas folhas de coqueiro que, em conjunto, são potencialmente capazes de conferir tolerância à seca,

como: a deposição de uma cutícula cerosa sobre a epiderme superior, cerca de duas vezes mais espessa do que na porção inferior e a presença de duas camadas de células hipodérmicas grandes, que servem como tecido de armazenamento de água, sob a epiderme superior. Essas reduzem a taxa de transpiração, a condutância estomática e as taxas de assimilação líquida de CO₂, todavia, aumentando a eficiência de uso da água, tendo em vista a relação entre a quantidade de CO₂ assimilada por unidade de água transpirada (GOMES; PRADO, 2007).

Cintra *et al.* (1993) evidenciaram que o crescimento das raízes de genótipos de coqueiros podem se deslocar para locais mais profundos do solo, em resposta à escassez de água nas camadas superficiais do mesmo. Respostas de curto prazo ao estresse hídrico em coqueiros, como reduções na condutância estomática, e no potencial hídrico, que muitas vezes comprometem a fotossíntese e a transpiração têm sido amplamente documentadas, nas variedades gigantes (PRADO; PASSOS; MORAES, 2001) e nas anãs (GOMES *et al.*, 2008), em resposta ao déficit de água no solo e na atmosfera.

Repellin *et al.* (1997) investigaram as respostas fisiológicas ao déficit hídrico, usando plantas jovens de coqueiro cultivadas em ambiente protegido e constataram que a condutância estomática decresceu antes do comprometimento dos parâmetros que mensuram o estado da água na folha. Os autores evidenciaram a existência de um eficiente sistema de comunicação raiz-parte aérea. Na pesquisa, a fotossíntese se mostrou altamente dependente da abertura dos estômatos, contudo também se evidenciaram a contribuição de fatores não estomáticos nas reduções na assimilação de CO₂. De tal forma que sob estresse hídrico severo, tanto o teor relativo de água, como o potencial hídrico foliar diferiram significativamente entre os níveis de estresse avaliados.

Corroborando com tais inferências, Repellin, Daniel e Zuily-Fodil (1994), também salientam que, no coqueiro, as reduções nas taxas fotossintéticas induzidas pela seca são inicialmente atribuídas à limitação da difusão de CO₂ a partir da atmosfera para os espaços intercelulares, como resultado do fechamento dos estômatos.

Porém, adicionalmente, fatores não estomáticos também têm demonstrado contribuições nas reduções nas taxas de fotossíntese tanto durante um período de acentuado déficit hídrico bem como ao longo da fase subsequente de recuperação, após a retomada da irrigação, conforme as observações constatadas por Gomes *et al.* (2008), que utilizaram a relação entre as taxas fotossintéticas e a concentração interna de CO₂ para expor as limitações não estomáticas para a fotossíntese em coqueiro “Anão”, sob deficiência hídrica e conforme foi constatado, a concentração interna de CO₂ não constituiu, necessariamente, um fator limitante à fotossíntese.

No entanto, os resultados de Gomes *et al.* (2008) indicaram que a capacidade fotossintética em coqueiro “Anão” mostrou sinais de aclimação após ciclos de secagem/recuperações repetidas, apesar de ser co-limitada por fatores estomáticos e não-estomáticos. Além disso, medições de fluorescência da clorofila demonstraram algum grau de fotoinibição crônica em plantas de coqueiro sob estresse hídrico severo, como indicado pela redução do rendimento quântico máximo do PS2.

Gomes *et al.* (2010) avaliaram o impacto da escassez de água no potencial osmótico na folha, no acúmulo de prolina e na estabilidade das membranas celulares em plantas jovens de dois ecótipos de coco “Anão Verde” do Brasil e como resultados constataram que o potencial hídrico foliar ao “predawn” atingiu -1,2 MPa, que a produção de matéria seca e a área foliar foram severamente reduzidas pelos tratamentos de seca nos dois ecótipos avaliados.

Os autores supracitados evidenciaram que os valores de potencial osmótico foram significativamente reduzidos em plantas estressadas dos dois ecótipos. Segundo os mesmos, o coqueiro “Anão Verde”, em resposta ao déficit hídrico, apresentou baixo ajustamento osmótico nas folhas (0,05 - 0,24 MPa) e acúmulo significativo de prolina (1,5 - 2,1 vezes em relação ao controle), nas folhas. Para os autores, considerando-se a redução do crescimento observado em ambos os ecótipos, o acúmulo de prolina não foi associado à osmorregulação. Por outro lado, a ausência de danos na membrana, sugere que, nesta espécie, o papel osmoprotetor, através do incremento na concentração de prolina pode ser importante na conferência da tolerância à restrição de água.

Os diferentes genótipos de coqueiro respondem de forma diferenciada ao estresse hídrico em relação à taxa de desidratação interna, bem como para a taxa de recuperação das trocas gasosas foliares, após a reidratação. Não obstante, as cultivares gigantes têm sido consideradas mais tolerantes à seca, quando comparados aos genótipos anões (GOMES *et al.*, 2010). No entanto, estudos realizados por Sousa (2006) demonstraram que alguns genótipos anões podem apresentar melhor desempenho sob déficit hídrico, do que os altos e híbridos.

Pordeus *et al.* (2012) estudaram o efeito da aplicação de diferentes volumes de água em solo coberto e descoberto sobre o crescimento vegetativo do coqueiro, cultivar “Anão Verde”, e os resultados não revelaram diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis: altura de planta e diâmetro do caule nos quatros períodos de avaliações.

Cintra *et al.* (2009) avaliaram os efeitos da aplicação de volumes de água (50, 100 e 150 L dia⁻¹) no regime hídrico do solo e nos parâmetros de produção de coqueiro “Anão Verde” e evidenciaram que a aplicação de volumes de água de irrigação inferior a 100 L dia⁻¹,

comprometeu a produção de frutos por planta, bem como a produção de água de coco. Segundo os autores, as variáveis analisadas (produção, número de cachos, número de frutos por planta e volume de água por fruto) apresentaram valores crescentes em função dos volumes de água de irrigação testados.

1.4.3 Estresses múltiplos em plantas de coqueiro

Silva Júnior *et al.* (2002) aplicaram água contendo 0,1 (T1); 7,5 (T2) e 15 g L⁻¹ (T3) de sais totais e mantiveram plantas sem suprimento de água (T0) e observaram que os tratamentos T0 e T3 diferiram significativamente quanto ao número de folhas vivas, porém a variável condutância estomática no período seco foi afetada em todos os tratamentos, o que mostrou a insuficiência da quantidade de água aplicada.

Os referidos autores reportam que no final do experimento, a percentagem de sobrevivência foi de 58, 83, 81 e 79% para T0, T1, T2 e T3, respectivamente. Para os autores, a irrigação com água contendo até 15 g L⁻¹ de sais em períodos de seca transitória, é uma estratégia viável para evitar a perda de plantas jovens do coqueiro “Gigante do Brasil”, no Nordeste do Brasil. Fundamentados nos resultados obtidos, os autores concluíram que, o coqueiro, quando recebe irrigação com água salina, apresenta mecanismos para evitar o estresse hídrico, com redução da área foliar e fechamento dos estômatos.

Silva *et al.* (2007) avaliaram a eficiência floral do coqueiro “Anão Verde” sob os efeitos da interação entre quatro diferentes lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque classe “A” - ECA (30, 60, 90 e 120% da ECA), associadas a quatro níveis de salinidade na água de irrigação (0,1; 5,0; 10,0 e 15,0 dS m⁻¹) e evidenciaram que o número de flores femininas cresce com o incremento das lâminas de irrigação e a relação flor/fruto colhido reduz com o aumento dos níveis salinos, enquanto a interação das maiores lâminas de irrigação com os menores níveis salinos resulta em incremento na relação entre o número de flores emitidas por frutos colhidos.

Para Silva *et al.* (2007), a produção em biomassa dos frutos cresce positivamente com o aumento das lâminas de irrigação e reduz com o aumento dos níveis salinos e as interações dos níveis salinos menores com as maiores lâminas de irrigação produzem os maiores pesos de frutos registrados. Os autores concluíram, ainda, que como reação à água com salinidade elevada, o coqueiro responde com o aumento da eficiência da floração relacionado à colheita de frutos, ou seja, emite menos flores para obter a mesma produção que em condições adequadas de cultivo.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2012. **Anuário da Agricultura Brasileira. FNP** – Consultoria e Comércio, São Paulo, v. 1, p.137, 2012.
- AGUIAR NETTO, A. de O.; MACHADO, R.; BARRETO, M.C. de. Diagnóstico do processo de salino – sodificação no Perímetro Irrigado Jabiberi – SE. *Irriga*, v. 11, p. 448 – 459, 2006.
- ALBUQUERQUE, M. P. F. de; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S. de; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno - africano submetidas à deficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.1, p.9-16, 2013.
- ALVES, A. da S.; ARAGÃO, W. M.; LOIOLA, C. M.; PEDROSO, G. T. Características morfológico-vegetativas de cultivares de coqueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 518-523, 2007.
- ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v.51, n.1, p.259 – 271, 2004.
- ANDRADE, A. M. de; PASSOS, P. R. de A.; MARQUES, L. G. da C.; OLIVEIRA, L. B.; VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. das D. de SÁ. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.707-714, 2004.
- ARAGÃO, W.M.; RIBEIRO, F.E.; TUPINAMBÁ, E.A.; SIQUEIRA, E.R. Variedades e híbridos do coqueiro. In: ARAGÃO, W.M. (Ed.). **Coco pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA, 2002. 26-34p. (Série Frutas do Brasil, 29).
- ARAGÃO, W.M.; TUPINAMBA, E.A.; ANGELO, P.C.S.; RIBEIRO, F.E. Seleção de cultivares de coqueiro para diferentes ecossistemas do Brasil In: QUEIROZ, M.A.; GOEDERT, C.O.; RAMOS, S.R.R. (Ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro**. Brasília: Embrapa - SPI, 1999. p. 1-24.
- ARAÚJO, K. L.; SILVEIRA, S. F. da; BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E.; GILIO, T. A. S.; MIGUENS, F. C. Caracterização anatômica e histoquímica de folíolos de coqueiro. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.2, p.246 - 251, 2013.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. de L. e; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. dos. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 29, nº 1, p.98-106, 2007.
- BARCINSKI, F.W. **Coqueiro**. 1. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2013, 44 p.
- BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; Alvarez, V., V. H.; Ruiz, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.320-326, 2005.

BATISTA, L. A.; GUIMARÃES, R. J.; PEREIRA, F. J.; CARVALHO, G. R.; CASTRO, E. M. de. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

BATISTA, R.O.; OLIVEIRA, A. de F. M.; COSTA, F.G.B.; LOPES, H.S.S. Metodologias participativas para obtenção de indicadores de qualidade do solo na atividade agropecuária. *In*: DIAS, N. da S.; BRÍGIDO, A. R.; SOUZA, A.C.M. (Org.). Manejo e conservação dos solos e das águas. São Paulo, SP: Livraria da Física, 2013. p. 107 – 126.

BENASSI, A. C.; RUGGIERO, C.; MARTINS, A. B. G.; SILVA, J. A. A. da. Caracterização biométrica de frutos de coqueiro, *Cocos nucifera* L. variedade anã-verde, em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 302-307, 2007.

BOHNERT, H. J.; NELSON, D. E.; JENSEN, R. G. Adaptations to environmental stresses. **Plant Cell**, v.7, n.6, p.1099-1111, 1995.

BOUAZIZ, M., MATSCHULLAT, J. GLOAGUEN, R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. **C. R. Geoscience**, v.343, n.1, p.795–803, 2011.

BRESINSKY, A.; KORNER, C.; KADEREIT, J.W.; NEUHAUS, G.; SONNEWALD, U. **Tratado de botânica de Strasburger**. 36. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 1.192 p.

CAITANO, R. F. **Geoprocessamento na análise de risco de salinização dos solos do Estado do Ceará**. 153 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2012.

CASTRO, C. P. **Comportamento de cultivares de coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) nos tabuleiros costeiros do norte de Sergipe**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Núcleo de Pós-Graduação e Estudos Em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2007.

CHAGAS, R.M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat**. 83 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2007.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, Camberra, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551-560, 2009.

CINTRA, F. L. D.; PASSOS, E. E. de; LEAL M. de L. da. Avaliação da Distribuição do Sistema Radicular de Cultivares de Coqueiro Gigante. **Oleagineux**, v. 48, n. 11, p. 453 - 460, 1993.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. de L. da S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n.1, p.1041-1051, 2009.

COELHO, M.A.; FERREYRA, F.F. Characterization of salt-affected soil in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Turrialba**, v.36, n.2, p.171-178, 1986.

CONFORTO, E. de C. Respostas fisiológicas ao déficit hídrico em duas cultivares enxertadas de seringueira (“RRIM 600” e “GT 1”) crescidas em campo. **Revista Ciência Rural**, vol.38, n.3, pp. 679-684, 2008.

DALLEMOLE, D.; LINS, PAULO; SANTANA, ANTÔNIO CORDEIRO de. Análise de investimento de coqueiral híbrido PB - 121 para produção de coco seco. **Revista de Estudos Sociais**, v. 2, n. 20, 2008.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). *In: Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p.127-141.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Massachussets: Sinauer, 2005. 380 p.

FAO. **FAOSTAT agriculture data**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 18 Março 2014.

FARIAS NETO, J. T.; LINS, P. M. P.; RESENDE, M. D. V. de; MULLER, A. A. Seleção genética em progênies híbridas de coqueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 190-196, 2009.

FERRÃO, J. E. M. Na linha dos descobrimentos dos séculos XV e XVI: intercâmbio de plantas entre a África Ocidental e a América. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, n.2, p. 250-269, 2013.

FERREIRA NETO, M. **Doses de N e K aplicadas via fertirrigação na cultura do coqueiro-anão (*Cocos nucifera* L.)**. 2005. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, 2007.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; HOLANDA, J. S. de; MEDEIROS, J. F. de; FERNANDES, P. D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.69-75, 2002.

FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA.; L.A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 292 p.

FLEXAS, J; MEDRANO, H. Drought-Inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitation revisited. **Annals of Botany**, v.89, n. 1, p. 183-189, 2002.

FONTES, H. R.; WANDERLEY, M. **Situação atual e perspectivas para a cultura do coqueiro no Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. 16 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 94).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Extent and causes of salt-affected soils in participating countries**. FAO - Land and Plant nutrition management service, 2008. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm#top>> Acesso em 23 jun. de 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Scarcity and degradation of land and water: growing threat to food security**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/en/item/95153/icode/>>. Acesso em: 20 junho 2014.

GARCIA, F. C. de H.; BEZERRA, F. M. L; FREITAS, C. A. S. de. Níveis de irrigação no comportamento produtivo do mamoeiro Formosa na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 02, p. 136-141, 2007.

GLAZ, B.; MORRIS, D. R.; DAROUB, S. H. Sugarcane photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance due to flooding and water table. **Crop Science**, v.44, p.1633-1641, 2004.

GÓES NETO, L. A. de A. **Um estranho caso do coco-da-Bahia (*Cocos nucifera* L.)**. Disponível em: <<http://mundodabiologia.com.br/um%C2%A0estranho%C2%A0caso%C2%A0do-coco-da-bahia%C2%A0cocos-nucifera-l/>>. Acesso em 28 jun. 2014.

GOMES, F. P.; OLIVA, M. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A.-A. F.; AQUINO, L. A. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 3, p. 379 – 384, 2010.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, 2007.

GOMES, F.P.; OLIVA, M.A; MIELKE, M.S.; ALMEIDA, A-AF.; LEITE, H.G.; AQUINO, L.A. Photosynthetic limitations in leaves of Young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.62, n. 3, p. 195–204, 2008.

GOMES, F.P.; PRADO, C.H.B.A. Coconut palm: ecophysiology under water deficit conditions *In*: Damatta, F.M. (Ed.). **Ecophysiology of Tropical Tree Crops**, Nova Science Publishers: New York p. 151 – 179, 2010.

GOMES, R. P. **O coqueiro - da - baía**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 111 p.

GONZAVELES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long – term site productivity of

faste growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v.70, n.2, p. 105 – 188, 2008.

GUNN, B. F. The phylogeny of the Cocoeae (Arecaceae) with emphasis on *Cocos nucifera*. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.91, n.3, p.505-522, 2004.

IYENGAR, E.R.R.; REDDY, M.P. **Photosynthesis in highly salt tolerant plants**. In: Pessarakli, M. (ed.). Handbook of photosynthesis. Baten Rose: Marshal Dekar. 1996. p.897-909.

KUMAR, S. N., RAJAGOPAL, V.; KARUN, A. Leaflet anatomical adaptations in coconut cultivars for drought tolerance. In: MURALEEDHARAN, N.; RAJKUMARAI (Ed.). **Recent Advances in Plantation Crops Research**, New Delhi: Allied Publishers Ltd. 2002. p.225-229.

LACERDA, C. F. de; HERNANDEZ, F.F.F.; NEVES, A.L.R. Problemas de salinidade na agricultura: identificação e formas de convivência. In: ANDRADE, E.M. de; PEREIRA, O.J.; DANTAS, F.E.R. (Org.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natutal**. Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará, 2010. p. 288 – 309.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532 p.

LAWOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water déficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v.25, n.1, p.275 – 294, 2002.

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

LIMA, B. L. de C. **Respostas fisiológicas e morfométricas de mudas de coqueiro anão irrigado com águas salinas**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

LIMA, C.S. de. **Mudanças da expressão de proteínas induzidas por estresses isolados e combinados de seca e temperatura elevada em folhas de cajueiro**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

LIU, J.; XIE, X.; DU, J.; SUN, J.; BAI, X. Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. **Scientia Horticulturae**, v.115, n.1, p. 190 – 195, 2008.

LOKA, D.A.; OOSTERHUIS, D.M. Water-deficit stress effects on pistil biochemistry and leaf physiology in cotton (*Gossypium hirsutum*, L.). **South African Journal of Botany**, v. 93, n.1, p. 131–136, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1. 368 p.

LU, D.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, n. 336, p. 1199-1206, 1999.

MARINHO, F. J. L.; FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; VIANA, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocus nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.359 - 364, 2005a.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.334-340, 2005b.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA NETO, M. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.370-374, 2005c.

MELO, E. F.; FERNANDES-BRUM, C. N.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; CHALFUN-JÚNIOR, A. Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar Siriema under drought conditions. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.38, n. 1, p.25-33, 2014.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. de ARAÚJO; BARROSO, D. G.; SANTIAGO, A. R.; RODRIGUES, L. A.; FREITAS, T. A. S. de. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus sp* sob estresse salino. **Revista Árvore**, v.31, n.3, p. 365-372, 2007.

MIRANDA, F. R. de; GOMES, A. R. M.; OLIVEIRA, C. H. C. de; MONTENEGRO, A. A. T.; BEZERRA, F. M. L. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.2, p.129-135, 2007.

MIRANDA, F. R. de; MONTENEGRO, A. A. T.; LIMA, R. N. de; ROSSETTI, A. G.; FREITAS, J. de A. D. de. Distribuição do sistema radicular de plantas jovens de coqueiro-anão sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v.35, n.2, p. 309 – 318, 2004.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends Plant Science**, v.11, n.1, p. 9 – 15, 2006.

MOTA, L. H. da S. de O.; GOMES, A. da SILVA; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. da. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.36, n.4, 2012.

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

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

MUNNS, R.; JAMES, R.A.; LAUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.5, p.1025-1043, 2006.

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

NETONDO, G.W.; ONYANGO, J.C.; BECK, E. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. **Crop Science**, v.44, p.797-805, 2004a.

NETONDO, G.W.; ONYANGO, J.C.; BECK, E. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. **Crop Science**, v.44, p.806-811, 2004b.

NOGUEIRA JÚNIOR, L.R. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da mata atlântica**. 2000. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

OHLER, J. G. **Modern coconut management: palm cultivations and products**. London: FAO, 1999. 458 p.

OHLER, J.G. **Coconut, tree of life**. Rome: FAO, 1984. 446p. (FAO. Plant production and protection paper, 57).

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.

PASSOS E. E. M. Exigências climáticas. *In*: FONTES, H. R. RIBEIRO, F. E.; FERNANDES, M. F. **Coco Produção: aspectos técnicos**. Brasília; Embrapa – SPI; Aracaju: Embrapa – CPATC, 2003. Cap. 4, p. 18 - 20.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M. **Aspectos morfológicos do caule e da folha do coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.)**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003, 4 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado técnico, 13).

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. de A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

PASSOS, E.E.M. Ecofisiologia do coqueiro. *In*: FERREIRA, J.M S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. (Eds.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Aracaju: Embrapa-SPI, 1998. p. 65-72.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n.12, p. 1649-1656, 2008.

PEREIRA, F.J.; MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; ALVES, J. D. Atividade dos sistemas antioxidante e desenvolvimento de aerênquima em raízes de milho 'Saracura'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.4, n.5, p. 450-456, 2010.

PÉREZ-PÉREZ, J.G.; ROBLES, J.M.; TOVAR, J.C.; BOTÍA, P. Response to drought and salt stress of lemon 'Fino 49' under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. **Scientia Horticulturae**, v. 122, n. 1, p. 83 – 90, 2009.

POMIER, M.; BONNEAU, X. Développement Du système racinaire du cocotier em fonction du milieu em Cote-d'Ivoire. **Oléagineux**, v.42, n.11, p.409-421, 1987.

PORDEUS, R. V.; AZEVEDO, C. A. V. de; SILVA, S. S. da; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. Influência da irrigação e cobertura do solo nas variáveis de desenvolvimento inicial do coqueiro anão verde. **Centro Científico Conhecer**, p. 1.067 – 1.081, v.8, n.15, 2012.

PRADO, C. H. B. A; PASSOS, E. E. M.; MORAES, J.A.P.V. Photosynthesis and water relations of six tall genotypes of *Cocos nucifera* in wet and dry seasons. **South African Journal of Botany**, v. 67, p.169-176, 2001.

PRAXEDES, S.C.; LACERDA, C. F. de; DAMATA, 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, s.n, p. 193 - 204, 2010.

REPELLIN, A.; DANIEL, C.; ZUILY-FODIL, Y. Merits of physiological tests for characterizing the performance of different coconut varieties subjected to drought. **Oleagineux**, v.49, n.1, p. 155 – 168, 1994.

REPELLIN, A.; LAFFRAY, D.; DANIEL, C.; BRACONNIER, S.; ZUILY-FODIL, Y. Water relations and gas exchange in young coconut palm (*Cocos nucifera* L.) as influenced by water deficit. **Canadian Journal of Botany**, v.75, n.1, p. 18 – 27, 1997.

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, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2010. p. 9 – 19.

RIZHSKY, L., LIANG, H., SHUMAN, J., SHULAEV, V., DAVLETOVA, S., MITTLER, R. When defense pathways collide: the response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress. **Plant Physiol**, v. 134, n.1, p. 1683 – 1696, 2004.

SANTANA, M. J. de; CARVALHO, J. de A.; SILVA, É. L. da; MIGUEL, D. da S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e agrotecnologia**, v.27, n.2, p. 443-450. 2003.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, 2012.

SANTOS, M. A. dos; FREIRE, M. B. G. dos S.; ALMEIDA, B. G. de; LINS, C. M. T.; SILVA, E. M. da. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.4, 2013.

- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SILVA JÚNIOR, C. D. da; PASSOS, E. E. M.; GHEYI, H. R. Aplicação de água salina no desenvolvimento e comportamento fisiológico do coqueiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.39-44, 2002.
- SILVA, A. O. da; KLAR, A. E.; SILVA, Ê. F. de F. e; TANAKA, A. A.; JUNIOR, 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, E.N. da; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.
- SILVA, E.N. da; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agrícola**, v.68, p.62-68, 2011.
- SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; VITORINO, H. dos S.; RHEIN, A. F. de L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.
- SILVA, M. R. da; MARTIN, T. N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônômico de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, v.35, n.1, p. 202 - 212, 2012.
- SILVA, P. C. M. da; GUERRA, H. O. C.; GHEYI, H. R.; FARIAS, C. H. de A.; SILVA, I. R. da. Eficiência flora e biomassa dos frutos de coqueiro sob diferentes lâminas de irrigação e níveis salinos. **Caatinga**, v.20, n.4, p. 68. - 77, 2007.
- SILVA, S.L.F. da. **Mecanismos de proteção oxidativa contra estresses isolados e combinados de seca, salinidade e temperatura elevada em cajueiro**. 2008. 162 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- SIQUEIRA, E. R.; RIBEIRO, F. E.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. Melhoramento genético do coqueiro. In: FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. (Ed.) **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. p. 73-98.
- SODRÉ, J. B. **Morfologia das palmeiras como meio de identificação e uso paisagístico**. 2005. 62 p. Monografia (Especialização em Plantas Ornamentais e Paisagismo), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- SOHAN, D.; JASONI, R.; ZAJICEK, J. Plant – water relations of NaCl and calcium - treated sunflower plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.42, n.1, p. 105 – 111, 1999.

SOUSA, S.M. **Comportamento sazonal de sete genótipos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) nas condições ecológicas de Mojú, Estado do Pará.** 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural do Amazonas, Belém, 2006.

SOUZA, E. R. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do; MONTENEGRO, A. A. de A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. de. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.477–483, 2011.

SOUZA, R. P. de; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. de; SILVEIRA, J. A. G. da. Photosynthetic responses of Young cashew plants to varying environmental conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 8, p. 735-744, 2005.

SOUZA, T.C.; CASTRO, E.M. de; PEREIRA, F.J.; PARENTONI, S.N.; MAGALHÃES, P.C. Morpho-anatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant Soil and Environment**, v. 55, n.11, p. 504 - 510, 2009.

SYVERTSENA, J.P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, n.1, p. 128 – 137, 2014.

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

TOPPA, E. V. B.; BRAMBILLA, W. P. O melhoramento de plantas e a salinidade dos solos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.1, p. 21 – 25, 2011.

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

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, n.1, p.247-273, 2002.

ZIDAN, I.; AZAIZEH, H.; NEWMANN, P. M. Does salinity reduce growth in maize root epidermal cells by inhibiting their capacity for cell wall acidification? **Plant Physiology**, v.93, n.1, p.7-11, 1990.

CAPÍTULO 2

ESTABELECIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” EM SOLOS AFETADOS POR SAIS E SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RESUMO

Objetivou-se, analisar a capacidade de estabelecimento de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em solos afetados por sais e sob deficiência hídrica. No experimento, conduzido em casa de vegetação, do tipo telado, em Fortaleza, CE, avaliaram-se, sob delineamento estatístico de blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, os efeitos de diferentes níveis de deficiência hídrica (parcelas), mediante a imposição de distintos percentuais de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial da cultura - ET_{pc} (20; 40; 60; 80 e 100%), associados às subparcelas, constituídas pelos crescentes níveis de salinidade do solo (1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹), proporcionados pelos solos coletados nos diferentes pontos do Perímetro Irrigado Morada Nova - PIMN sob as variáveis: altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, biomassa seca (radicular, parte aérea e total), razão biomassa seca radicular parte aérea⁻¹ e os índices de tolerância à salinidade. O crescimento e a produção de biomassa das plantas são acentuadamente reduzidos pelas condições de restrição hídrica e de elevada salinidade do solo, sendo aparentemente mais crítica à cultura a condição de restrição hídrica. O grau de estresse hídrico é capaz de acentuar a suscetibilidade à salinidade e as plantas qualificam-se, em termos gerais, como moderadamente tolerantes aos efeitos decorrentes da salinidade, quando combinados com a deficiência hídrica. As plantas jovens de coqueiro mostram potencial de estabelecimento nos solos salinizados do PIMN com o nível de condutividade elétrica de até 6,50 dS m⁻¹, porém apenas quando o suprimento hídrico se mantém adequado.

Palavras-chave: *Cocos nucifera* L. Crescimento. Múltiplos estresses. Salinidade. Seca.

CHAPTER 2

YOUNG PLANT ESTABLISHMENT OF COCONUT "DWARF GREEN" IN SOIL AFFECTED BY SALTS AND UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT

The objective of analyzing the ability to establish seedlings of coconut, cultivate "Green Dwarf" in salt affected soils and under water stress. In the experiment, conducted in a greenhouse, the greenhouse type, in Fortaleza, CE, were evaluated under statistical design of randomized blocks in a split plot arrangement, the effects of different levels of water deficit (plots) by imposing percentages of different replenishment of water losses by potential crop evapotranspiration - ET_{pc} (20, 40, 60, 80 and 100%), associated with subplots consisting of the increasing levels of soil salinity (1.72, 6.25; 25.80 and 40.70 dS m⁻¹) provided by the soils collected in different parts of the irrigated Morada Nova - PIMN in the variables: plant height, number of leaves, stem diameter, leaf area, dry biomass (root , shoot and total), so air-dry biomass root⁻¹ part and salinity tolerance indexes. The growth and biomass production of the plants are sharply reduced by the conditions of water stress and high soil salinity, apparently being more critical to the culture fluid restriction condition. The degree of water stress can enhance the susceptibility to salinity and plants are eligible, in general terms, as moderately tolerant to the effects of salinity, when combined with water deficiency. The coconut seedlings show establishment potential in saline soils of PIMN with the level of electrical conductivity of up to 6.50 dS m⁻¹, but only when the water supply remains adequate.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Growth. Multiple stresses. Salinity. Drought.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a salinidade é apontada como um dos principais agentes abióticos capazes de comprometer o desempenho das culturas, sobretudo, em regiões áridas e semiáridas. Este processo associa-se ao acúmulo excessivo de sais, sendo rotineiramente assinalado como uma implicação direta do manejo inadequado dos recursos solo e água, culminando até mesmo com o abandono de áreas, por torná-las inadequadas à exploração agrícola (COELHO *et al.*, 2014). O estresse salino acarreta uma progressiva diminuição do crescimento das plantas, causado pela redução do potencial osmótico e/ou acumulação excessiva de íons, podendo induzir à toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos (GARCIA *et al.*, 2010).

Uma prática que pode viabilizar o uso de solos salinos é a utilização de espécies e/ou variedades que apresentem boa tolerância a esse fator abiótico (CRUZ *et al.*, 2003). Dentre as espécies cultivadas, tem sido sugerido que o coqueiro (*Cocos nucifera* L.) possui potencial de cultivo em áreas afetadas por sais, levando-se em consideração os plantios vigentes em áreas de confirmada salinidade, como nas orlas marítimas, por exemplo. Além disso, alguns resultados de pesquisas demonstram a adaptação do coqueiro à irrigação com águas de elevada salinidade (FERREIRA NETO *et al.*, 2002).

O coqueiro é considerado uma das espécies perenes de maior importância mundial, já que o seu cultivo detém a capacidade de gerar emprego e renda em vários países, através do consumo de seus frutos *in natura*, ou da “água de coco”, ou ainda mediante a industrialização do fruto, bem como, de outros órgãos desta planta, tais como raiz, estipe, inflorescência, folha e palmito, originando mais de 100 produtos e subprodutos de significativo valor econômico. Além disso, o coqueiro é utilizado como planta paisagística, adornando espaços públicos e privados (SILVA; JERÔNIMO, 2012).

Em condições de campo, as plantas são rotineiramente submetidas às combinações de diferentes estresses abióticos, sobretudo, em regiões áridas e semiáridas, no que se relaciona ao suprimento hídrico, prioritariamente, por déficit de água (SLAMA *et al.*, 2008). De acordo com Echer *et al.* (2010), a deficiência hídrica é um dos mais severos estresses ambientais, sendo potencialmente capaz de prejudicar até mesmo mais que todos os outros estresses combinados, em decorrência da essencialidade da água e das implicações manifestadas no crescimento e na produtividade vegetal em condições de escassez hídrica. Isso ressalta a importância de se avaliar, também, o desempenho das espécies vegetais quanto

à tolerância a baixos teores de água no solo, em associação a outros agentes estressantes, como, por exemplo, a salinidade (SOUZA *et al.*, 2011).

Os processos que resultam em crescimento vegetal são particularmente sensíveis aos efeitos do déficit hídrico e da salinidade, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para a avaliação do grau de estresse, por possibilitar inferências acerca da capacidade da planta em tolerar estas condições adversas (SCALON *et al.*, 2011).

Apesar de haver publicações sobre déficit hídrico (GOMES; PRADO, 2007) e salinidade das águas de irrigação no cultivo do coqueiro (MARINHO *et al.*, 2005a; 2005b; 2005c) ainda são escassos, na literatura, trabalhos que relacionem a tolerância ou a adaptação da espécie às condições de interações entre estresses abióticos inerentes às regiões áridas e semiáridas, como déficit hídrico e salinidade do solo.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a capacidade de estabelecimento de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, sob diferentes combinações de déficit hídrico e de salinidade do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido entre outubro de 2013 e fevereiro de 2014, na Área Experimental da Estação Agrometeorológica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, no *Campus* Universitário do Pici, da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza - CE, localizado nas coordenadas geográficas: 03°45' de latitude Sul; 38°33' de longitude oeste e altitude média de aproximadamente 19 m.

Fortaleza - CE possui clima do tipo Aw' no sistema Koppen, denominado tropical chuvoso, caracterizado por apresentar duas estações bem definidas, sendo a época mais seca de ocorrência no inverno e o máximo de ocorrência de chuvas no outono (AGUIAR *et al.*, 2003).

Os dados climáticos médios do período compreendido entre os anos de 2003 e de 2013 registram os seguintes valores: temperatura máxima média anual: 31,07 °C; temperatura mínima média anual: 23,84 °C; temperatura média anual: 27,45 °C; umidade relativa média anual: 77,58%; precipitação média total mensal: 145,33 mm mês⁻¹ e pluviosidade média anual: 1.448 mm ano⁻¹ (INMET, 2014).

2.2 Estrutura física experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, do tipo telado, com estrutura metálica galvanizada do tipo arco treliçado, medindo 3,5 m de altura na parte central e 2,5 m de pé direito, 6,4 m de largura e 12,5 m de comprimento.

A cobertura consistia de filme de polietileno de baixa densidade (PEbd), com aditivo contra radiação ultravioleta, e espessura de 0,15 mm, transparência à radiação solar de 80%, apresentando tela anti-afídios nas laterais e nos fundos (Figura 1).

Figura 1 - Casa de vegetação, do tipo telado, utilizada para a condução do experimento. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014



No interior da casa de vegetação, para fins de caracterização e monitoramento das condições meteorológicas nas quais o experimento foi conduzido, foi instalado, no centro do experimento, um *data-logger* da marca Onset, modelo Hobo[®] para a determinação dos dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, com os dados coletados a cada 10 minutos; e um tanque evaporímetro do tipo Classe “A”, no qual eram realizadas leituras diárias (Figura 2).

Figura 2 - *Data-logger* da marca Onset, modelo Hobo[®] para a determinação dos dados de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade instalado no interior da casa de vegetação (A). Tanque evaporímetro do tipo Classe “A” instalado no interior da casa de vegetação para fins de monitoramento e de manejo da irrigação (B). Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014



Os valores médios de temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade e de evaporação da água mesurada no tanque do tipo Classe A, durante o período experimental foram de $29,14 \pm 2,97$ °C; $68,48 \pm 12,60\%$; $0,076 \pm 0,22$ W m⁻² (comprimento de onda de 555 nm) e $5,70 \pm 0,70$ mm dia⁻¹, respectivamente.

2.3 Material vegetal

Foram utilizadas mudas de coqueiro, cultivar “Anão Verde” do Brasil de Jiqui (AVeBrJ), com 40 dias de germinadas, certificadas e registradas junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA, produzidas pela Agroempresa COHIBRA – Coqueiro Híbrido do Brasil®, no município de Amontada, Ceará, Brasil, o que garante sua origem genética, procedência, homogeneidade e qualidade (Figura 3).

Figura 3 - Mudanças de coqueiro “Anão Verde” do Brasil de Jiqui (AVeBrJ) utilizadas no experimento. Detalhes da muda (A). Mudanças antes da realização do transplante (B). Fortaleza, Ceará, 2013/2014

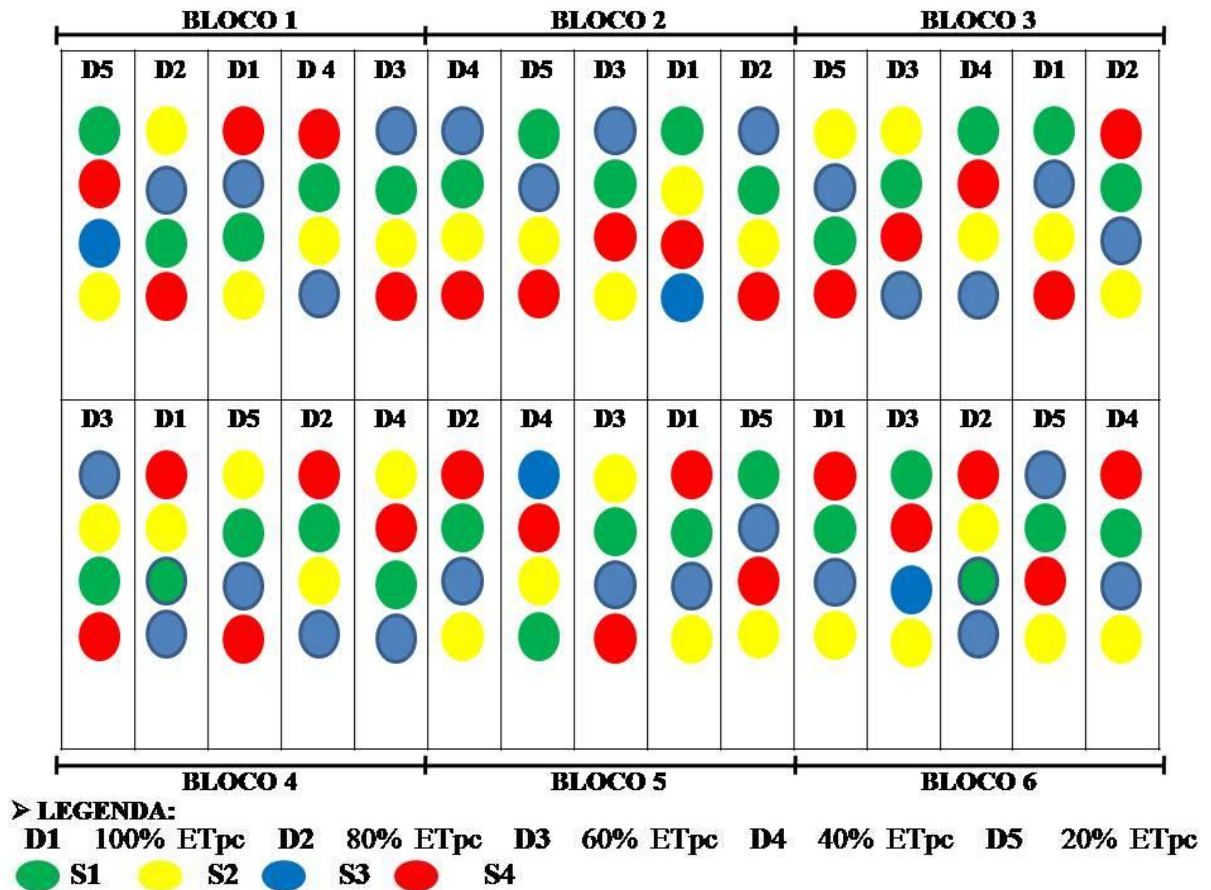


2.4 Composições dos tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido sob delineamento estatístico de blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas por diferentes níveis de deficiência hídrica - D, mediante a imposição de cinco distintos percentuais de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial da cultura - ETpc (D1 = 100% da ETpc; D2 = 80% da ETpc; D3 = 60% da ETpc; D4 = 40% da ETpc e D5 = 20% da ETpc), e as subparcelas constituídas pelos crescentes níveis de salinidade do solo - S (S1 = 1,72 dS m⁻¹; S2 = 6,25 dS m⁻¹; S3 = 25,80 dS m⁻¹ e S4 = 40,70 dS m⁻¹), conforme o exposto na Figura 4.

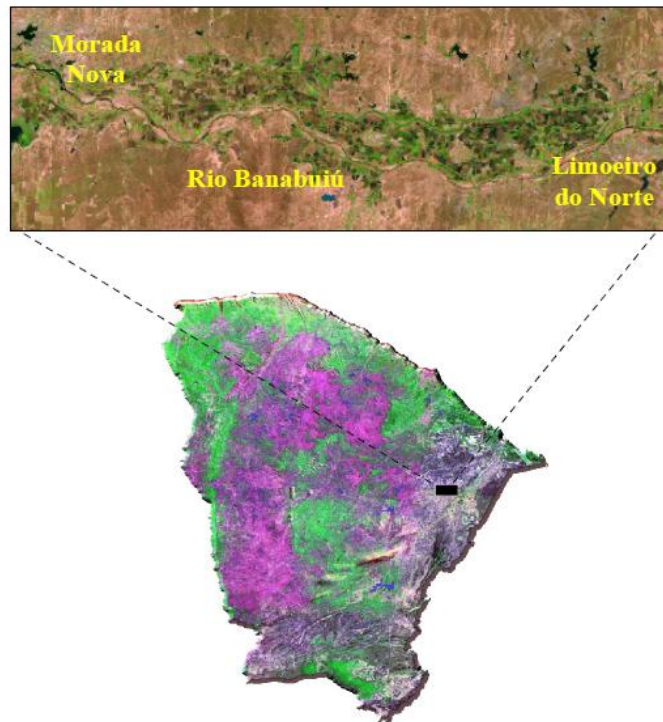
Foram utilizadas seis repetições, com uma planta por vaso, perfazendo um total de cento e vinte unidades experimentais.

Figura 4 – Croqui experimental. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



Os tratamentos alocados nas subparcelas foram proporcionados pelos solos, qualificados como Neossolos Flúvicos, segundo a classificação proposta por EMBRAPA (2013), coletados em diferentes pontos de lotes representativos do Perímetro Irrigado Morada Nova - PIMN, no estado do Ceará, Brasil (Figura 5), visando simular os diversos estágios de salinização do solo encontrados pelos produtores no Perímetro Irrigado Morada Nova, localizado entre os municípios cearenses Morada Nova e Limoeiro do Norte, bem como evidenciar o efeito interativo da salinidade e do estresse hídrico sob as plantas (Figura 6).

Figura 5 - Mapa de localização do Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará



Fonte: Teixeira *et al.* (2008).

Figura 6 - Acesso principal ao Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará. Morada Nova/ Limoeiro do Norte, Ceará, 2013/ 2014



Inicialmente, em campo, foram efetuadas medidas *in situ* da salinidade do solo, mediante a mensuração da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), utilizando o sensor Wet sensor HH2 Moisture Meter[®] (AT delta – T Devices, Cambridge, England), com o intuito de identificar os valores de CE predominantes nos solos amostrados nos lotes pertencentes ao perímetro.

Isso permitiu eleger os pontos de coleta de solo, que, posteriormente constituíram os diferentes tratamentos e estabelecer um gradiente crescente de salinidade do solo, capaz de

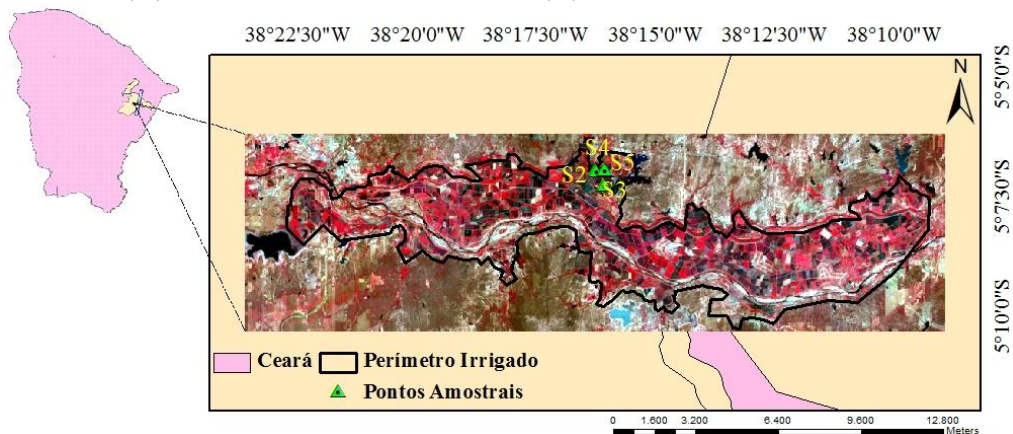
representar as diferentes condições químicas e físicas dos solos afetados por sais, inseridos no domínio do Perímetro Irrigado Morada Nova (Figura 7).

Figura 7 - Medição *in situ* da salinidade do solo com o sensor Wet sensor HH2 Moisture Meter® (AT delta – T Devices, Cambridge, England). Morada Nova, Ceará, 2013

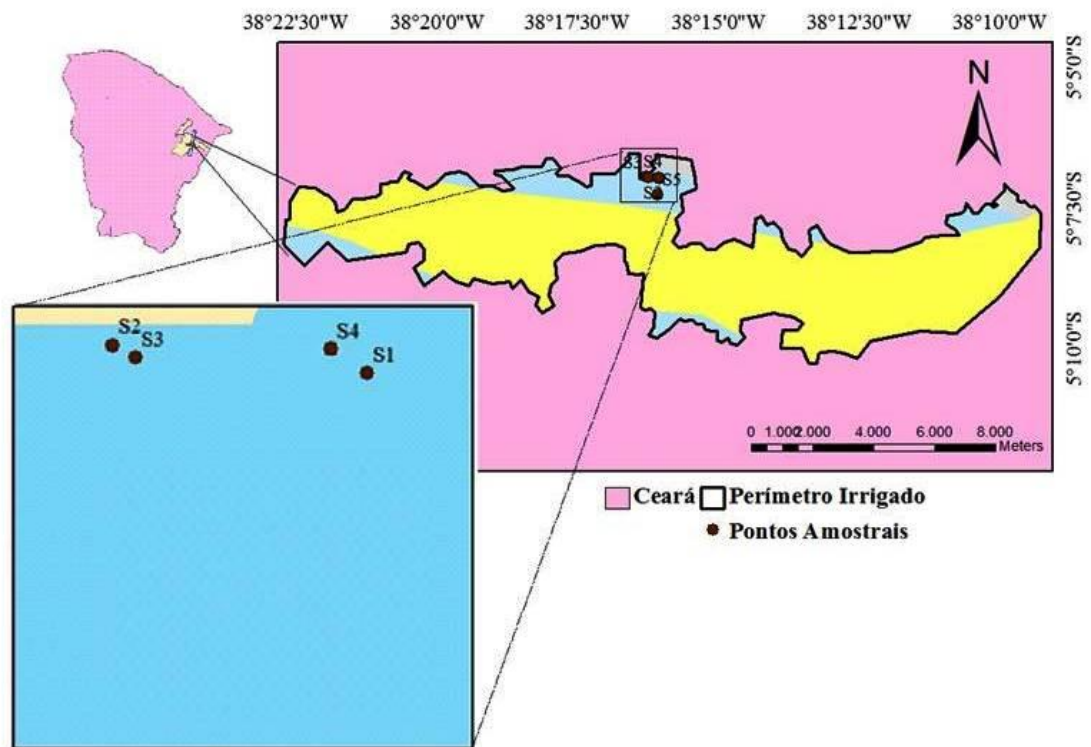


Após a identificação das salinidades (CE) predominantes nos lotes amostrados, procedeu-se a seleção dos diferentes pontos de amostragem, e em quatro diferentes pontos, procederam-se, as atividades de coleta dos solos que posteriormente seriam utilizados como substrato de enchimento dos vasos e de cultivo das plantas no experimento (Figura 8).

Figura 8 - Mapa do Estado do Ceará, destacando o Perímetro Irrigado Morada Nova e os pontos de coleta dos solos utilizados como substrato para o cultivo das plantas jovens de coqueiro no experimento. A composição colorida, datada de 12 de setembro de 2013, inclui as bandas 5, 4 e 3 do sensor multiespectral OLI/Landsat-8 em vermelho, verde e azul, respectivamente (A). Pontos de coletas dos solos (B)



(A)



(B)

Foram utilizadas amostras de solo da camada de 0 – 0,20 m, as quais foram secas ao ar e peneiradas em peneira com abertura de 4 mm. Os solos foram acondicionados em sacos do tipo ráfia, devidamente identificados e transportados até o município de Fortaleza, Ceará, Brasil, cidade na qual o experimento foi conduzido.

No momento do preenchimento dos vasos foram retiradas amostras compostas de solo para caracterização dos atributos físicos e químicos do solo, as quais foram encaminhadas ao laboratório de Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, *Campus* Limoeiro do Norte, cujos resultados estão expressos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Atributos físico-hídricos dos solos utilizados como substratos para o cultivo das plantas no experimento. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014

Salinidade	Composição granulométrica			Classe textural	Densidade		Umidade	
	Areia	Silte	Argila		Solo	Partículas	33 kPa	1.500 kPa
	(----- g kg ⁻¹ -----)				(-)	(---- kg dm ⁻³ ---)		(---- m ³ m ⁻³ ----)
S1	608	231	239	Franco arenoso	1,23	2,52	19,59	12,10
S2	532	285	332	Franco arenoso	1,33	2,56	19,63	11,55
S3	605	272	225	Franco arenoso	1,38	2,60	16,41	9,11
S4	459	368	219	Franco	1,27	2,59	23,43	12,78

Tabela 2 - Atributos químicos dos solos utilizados como substratos para o cultivo das plantas no experimento. Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014¹

Salinidade	pH	CE (dS m ⁻¹)	Complexo sortivo					
	(Água)		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺
	(-)		(----- cmol _c kg ⁻¹ -----)					
S1	6,8	1,72	6,58	4,34	0,06	4,32	2,56	0,00
S2	7,5	6,25	7,80	5,24	0,08	7,23	0,00	0,00
S3	7,4	25,80	7,51	5,69	0,05	15,78	0,00	0,00
S4	7,0	40,70	14,91	4,58	0,07	22,46	0,00	0,00

Salinidade	S	T	V	PST	C	M.O.	P _{Assimilável}	Classificação
	(--- cmol _c kg ⁻¹ ---)	(----- % -----)	(----- % -----)	(--- g kg ⁻¹ ---)	(--- g kg ⁻¹ ---)	(mg kg ⁻¹)		
S1	15,30	17,86	86	24	12,26	21,13	30	Sódico
S2	20,35	20,35	100	36	16,64	28,66	30	Salino - sódico
S3	29,03	29,03	100	54	9,22	34,88	69	Salino - sódico
S4	42,02	42,02	100	53	20,23	34,88	82	Salino - sódico

¹pH – potencial hidrogênio, 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; C - carbono orgânico; M.O. – matéria orgânica; P_{Assimilável} – Fósforo assimilável; Classificação - Richards (1954 *apud* Ribeiro, 2010).

2.5 Instalação e condução do experimento

As mudas de coqueiro foram transplantadas para vasos de material plástico flexível, com capacidade volumétrica de 25 L, os quais possuíam orifícios na extremidade inferior, que objetivavam promover a remoção dos eventuais excessos de água (Figura 9).

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, de aproximadamente 3 cm de espessura, para facilitar a livre drenagem do excedente hídrico, a qual,

seqüencialmente, foi revestida por uma manta geotêxtil do tipo Bidim (OP – 20), para evitar possíveis perdas de solo (Figura 9).

Figura 9 – Etapas de enchimento dos vasos e transplântio das mudas de coqueiro. Deposição ao fundo dos vasos de uma camada de brita nº1 (A), revestimento da brita por uma manta geotêxtil do tipo Bidim (B), início do preenchimento dos vasos com solo (C), deposição da muda (D), deposição de solo (E), acomodação da muda (F), vaso alocado no experimento (G). Fortaleza, Ceará, 2013/ 2014



Na seqüência, os vasos começaram a ser preenchidos, de tal forma que após a deposição de uma camada de aproximadamente 5 cm de solo, as mudas foram postas nos

vasos e procedeu-se o preenchimento com solo, até que a semente estivesse completamente coberta (Figura 9).

Por ocasião do enchimento dos vasos, associados ao transplantio das mudas, adicionaram-se aos solos os fertilizantes químicos sintéticos. A quantidade aplicada foi definida conforme as exigências nutricionais da cultura para a fase de desenvolvimento inicial das plantas, conforme a recomendação preconizada por Fontes, Cintra e Carvalho Filho (1998), que sugerem a aplicação de $200 \text{ g planta}^{-1}$ da formulação 15 – 10 – 15 de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente (Figura 10). No entanto, obedecendo às orientações dos referidos autores, por ocasião do transplantio, aplicaram-se apenas o equivalente a 30 g planta^{-1} , sendo o total remanescente fracionado igualmente, e aplicado mensalmente em cobertura, ao longo do período de condução do experimento.

Com o intuito de corrigir e, ou, evitar possíveis deficiências de micronutrientes, aplicou-se, ainda, por ocasião do transplantio, o equivalente a 30 g planta^{-1} 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%].

Figura 10 – Aplicação dos fertilizantes químicos sintéticos ao solo utilizado como substrato para o desenvolvimento das plantas de coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



2.6 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.

Os resultados da análise da qualidade da água pra fins de irrigação estão apresentados na Tabela 3. Dos resultados, constatou-se que a água em questão apresenta alta salinidade (C_3) e baixo conteúdo de sódio (S_1).

Tabela 3 – Resultados da análise da qualidade da água pra fins de irrigação. Fortaleza, Ceará 2013/ 2014

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		$C_3 S_1$	

Adotou-se o sistema de irrigação por gotejamento, utilizando-se emissores do tipo autocompensantes, com vazão nominal de 4 L h^{-1} , os quais foram previamente avaliados, sob condições normais de operação, conforme a metodologia descrita por Keller e Karmelli (1975). Na ocasião, o sistema de irrigação apresentou um coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) de aproximadamente 90%.

O método de manejo de irrigação adotado foi baseado nas condições climáticas. Para a determinação da evapotranspiração potencial da cultura – ETpc, adotou-se a metodologia proposta por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), onde, primeiramente, procedeu-se a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).

Para a determinação da estimativa diária da evapotranspiração de referência – ETo foi utilizado o tanque evaporímetro do tipo Classe “A”, instalado no interior da casa de vegetação, no qual, as leituras eram aferidas diariamente às 9 h.

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

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

em que,

ETo - Evapotranspiração de referência estimada através do Tanque Classe “A” (mm);

ECA - Evaporação da água estimada através do Tanque Classe “A” (mm);

Kt - Coeficiente de ajuste do tanque (adimensional).

Para as condições experimentais, considerou-se o coeficiente de ajuste do tanque (Kt) igual a 1,0, baseando-se nas informações reportadas por Evangelista e Pereira (2003), que asseguram que no interior de casa de vegetação, o referido valor de Kt, estima de forma mais precisa a evapotranspiração de referência (ETo), mediante a adoção do método do tanque Classe A.

A evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) foi estimada utilizando-se a equação 2, mediante a multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (K_c), segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006).

$$ET_{pc} = ET_o \cdot K_c \quad (2)$$

em que,

ET_{pc} - Evapotranspiração potencial da cultura (mm);

ET_o - Evapotranspiração de referência estimada através do Tanque Classe “A” (mm);

K_c - Coeficiente de cultivo.

Foi adotado o coeficiente de cultivo (K_c) igual a 0,65, determinado por Miranda *et al.* (2007) para o estágio correspondente ao desenvolvimento vegetativo do coqueiro “Anão”, nas condições edafoclimáticas do litoral Cearense.

Já o tempo de irrigação, utilizado para a realização da imposição dos diferentes tratamentos de níveis de reposição da evapotranspiração potencial da cultura - ET_{pc} foi calculado a partir da equação 3:

$$T_I = \frac{ET_{pc} \cdot A_v}{CUD \cdot q_g} \cdot F \quad (3)$$

em que,

T_I - Tempo de irrigação (h);

ET_{pc} - Evapotranspiração potencial da cultura (mm);

A_v - Área do vaso (m²) (A_v = 0,0935 m²);

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 = 4 L h⁻¹);

F - Fator de aplicação da água em função do respectivo tratamento em decimal. Os valores de F foram 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 para os tratamentos D5, D4, D3, D2 e D1, respectivamente.

Após o transplântio das mudas de coqueiro, o experimento foi irrigado diariamente com uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração potencial da cultura – ET_{pc}, a fim de garantir o estabelecimento inicial das plantas, até o início da diferenciação dos tratamentos, que se deu aos 30 dias após o transplântio – DAT, mediante a variação do tempo de irrigação, controlado através de registros.

Após a imposição dos tratamentos de deficiência hídrica, o experimento passou a ser irrigado com uma frequência equivalente a dois dias consecutivos.

2.7 Tratos culturais e controle fitossanitário

Foram realizadas pulverizações preventivas e remediativas com o inseticida piretróide de nome comercial “ICON GARDEN[®]” (SYNGENTA Proteção de Cultivos Ltda), composição química: alfa-ciano-3-fenoxibenzil-3-(2-cloro-3,3,3-trifluoroprop-1 enil)-2,2-dimetil-ciclopropano carboxilato, com o objetivo de controlar as eventuais incidências de pragas, sobretudo, após o aparecimento dos primeiros sinais de infestação da praga cochonilha – transparente – do coqueiro (*Aspidiotus destructor*), adotando-se a diluição de 5,0 g do produto comercial (pó molhável) em 1 litro de água.

As espécies vegetais daninhas que eventualmente ocorreram nos vasos foram eliminadas manualmente, a fim de evitar a competição por água e nutrientes das mesmas com as plantas jovens de coqueiro.

2.8 Variáveis analisadas

2.8.1 Variáveis de crescimento

2.8.1.1 Altura de plantas

Por ocasião do transplatio (0), e aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplatio - DAT, com o auxílio de uma trena métrica graduada em centímetros foram mensuradas as alturas das plantas, sendo considerada a distância vertical entre o colo da planta e a extremidade da maior folha esticada verticalmente, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em cm (Figura 11).

Figura 11 – Avaliação da altura das plantas de coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013, 2014



2.8.1.2 Número de folhas

O número de folhas foi obtido pela contagem manual e direta a partir da folha nº 1, baseando-se pelo ápice, sendo considerada a folha nº 1, aquela que antecede a emissão da folha mais nova, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em unidades. As avaliações foram realizadas por ocasião do transplântio (0) e aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio - DAT.

2.8.1.3 Diâmetro do caule

Com o auxílio de um paquímetro digital, por ocasião do transplântio (0) e aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio - DAT foi mensurado o diâmetro basal dos caules das plantas, a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em mm (Figura 12).

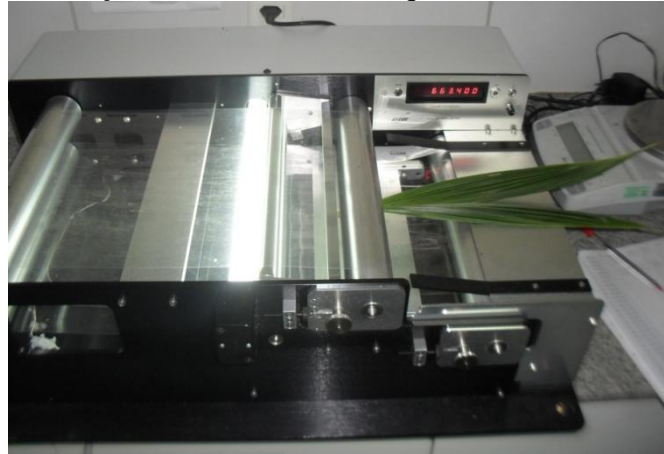
Figura 12 – Avaliação do diâmetro do caule das plantas de coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



2.8.1.4 Área foliar

Para a determinação da área foliar foi utilizado um integrador de área (LI - 3100, Li - Cor, Inc. Lincoln, NE, USA) pertencente ao Laboratório da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará (Figura 13). Para tanto, as folhas foram destacadas do caule e passadas individualmente no aparelho, sendo o valor correspondente a média aritmética de seis plantas amostradas, expresso em metros quadrados por planta. A avaliação foi realizada aos 120 dias após o transplântio.

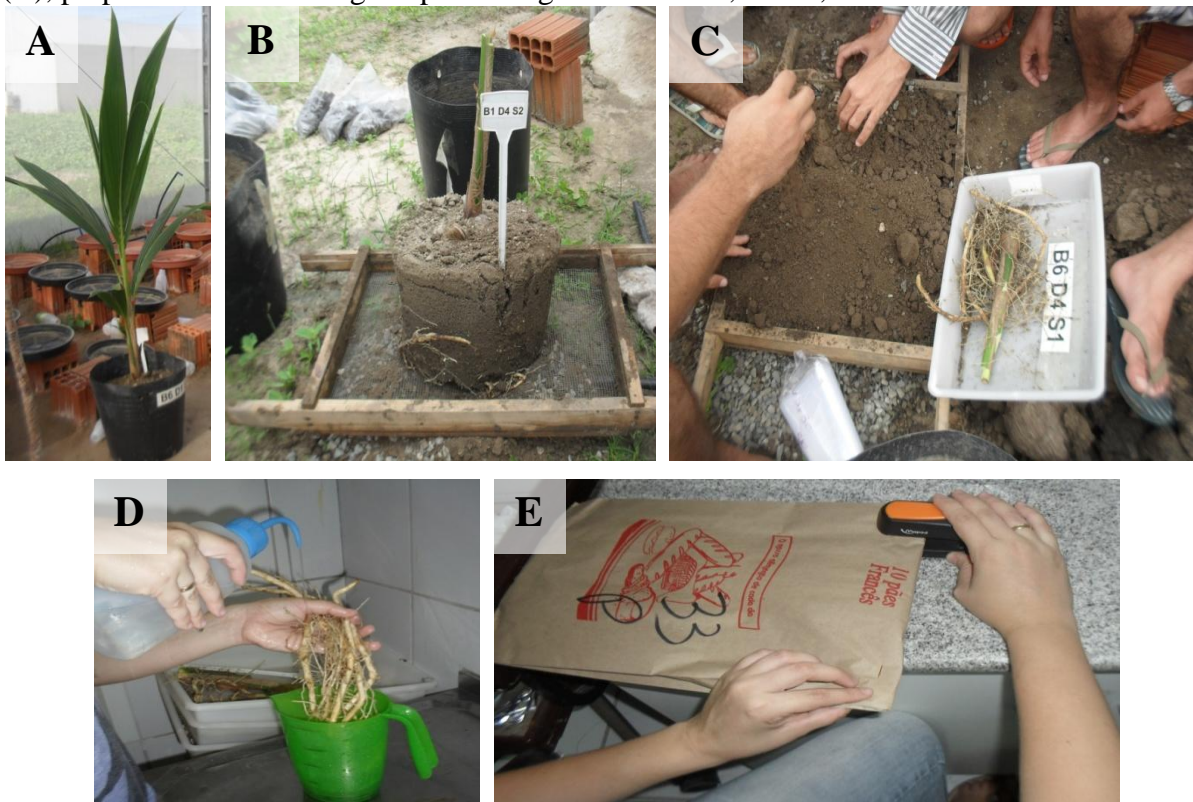
Figura 13 - Determinação da área foliar do coqueiro. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



2.8.1.5 Produção de biomassa

Após a colheita, a parte aérea de cada planta foi particionada em caule, pecíolo e limbo foliar, para a determinação da biomassa fresca de cada órgão constituinte da parte aérea (Figura 14).

Figura 14 – Procedimentos adotados para a determinação da produção de biomassa seca das plantas. Planta (A), retirada do vaso (B), separação das raízes do solo (C), lavagem das raízes (D), preparo do material vegetal para secagem. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



Na sequência, as diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçado, mantendo-se a temperatura na faixa de 65° a 70°C. O tempo de secagem foi determinado por pesagens das amostras até a manutenção de peso constante. Após a secagem, cada amostra foi pesada em balança analítica para aferição da biomassa seca acumulada em cada parte vegetal, e os valores foram expressos em gramas por planta (Figura 14).

2.8.1.6 Relação biomassa seca raiz parte aérea⁻¹

Com os dados de biomassa seca estimou-se a relação raiz: parte aérea (biomassa seca da raiz e da parte aérea⁻¹), onde se considerou como biomassa seca da parte aérea, o somatório da biomassa seca de limbo foliar, pecíolo e caule.

2.9 Tolerância à salinidade

Avaliaram-se a tolerância à salinidade, mediante a mensuração das reduções na expressão da produção de biomassas secas totais verificadas sob os diferentes níveis de salinidade avaliados (S2, S3 e S4), em relação à testemunha cultivada em solo não-salino (S1) e sem deficiência hídrica (D1), conforme a adoção da equação 8, sugerida por Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010), apresentada a seguir.

$$RP = \left[\frac{(PSTS - PCTS)}{PSTS} \right] .100 \quad (8)$$

em que,

RP - Redução da produção de biomassa seca total (%);

PSTS - Produção de biomassa seca total no tratamento sem estresse hídrico e sem salinidade (g planta⁻¹);

PCTS - Produção de biomassa seca total nos tratamentos com estresse hídrico e com salinidade (g planta⁻¹).

De posse dos valores de redução da produção, interpretaram-se os resultados, tendo por base a Tabela 4, proposta por Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010).

Tabela 4 - Classificação quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção total de biomassa seca total¹

Redução da produção de biomassa seca total (%)	Classificação	Sigla
0 – 20	Tolerante	T
21– 40	Moderadamente tolerante	MT
41 – 60	Moderadamente suscetível	MS
> 60	Suscetível	S

¹Fonte: Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010).

2.10 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas variáveis de crescimento (altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule) foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, onde os diferentes níveis de deficiência hídrica foram analisados nas parcelas, os diferentes níveis de salinidade do solo nas subparcelas e as épocas de avaliação das referidas variáveis nas subsubparcelas.

Já os dados obtidos nas demais variáveis foram submetidos à análise de variância e analisados de acordo com os procedimentos que são comuns ao delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, onde os diferentes níveis de deficiência hídrica foram analisados nas parcelas e os diferentes níveis de salinidade do solo nas subparcelas.

Quando denotado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nas diferentes variáveis foram analisados através de regressão. Quando comprovado efeito significativo nas interações entre os fatores estudados, os dados foram analisados segundo os procedimentos inerentes à análise de regressão linear múltipla e foram plotadas as respectivas superfícies de respostas.

Os modelos matemáticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico em estudo. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Excel[®] (versão 2007), ASSISTAT[®] (versão 7.6 beta) e STATISTICA[®] (versão 7.0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 5 indicam que as variáveis número de folhas, altura das plantas e diâmetro do caule foram influenciadas significativamente pelos fatores déficit hídrico, salinidade do solo e épocas de avaliação ($p \leq 0,05$ ou $p \leq 0,01$) exceto a variável altura das plantas, que não variou de forma estatisticamente significativa em função do fator déficit hídrico ($p \geq 0,05$) e também foram constatadas interações significativas entre os fatores deficiência hídrica e épocas de avaliação e salinidade do solo e épocas de avaliação ($p \leq 0,01$). Porém, não foram observados efeitos significativos das interações salinidade x déficit hídrico e das interações triplas ($p \geq 0,05$).

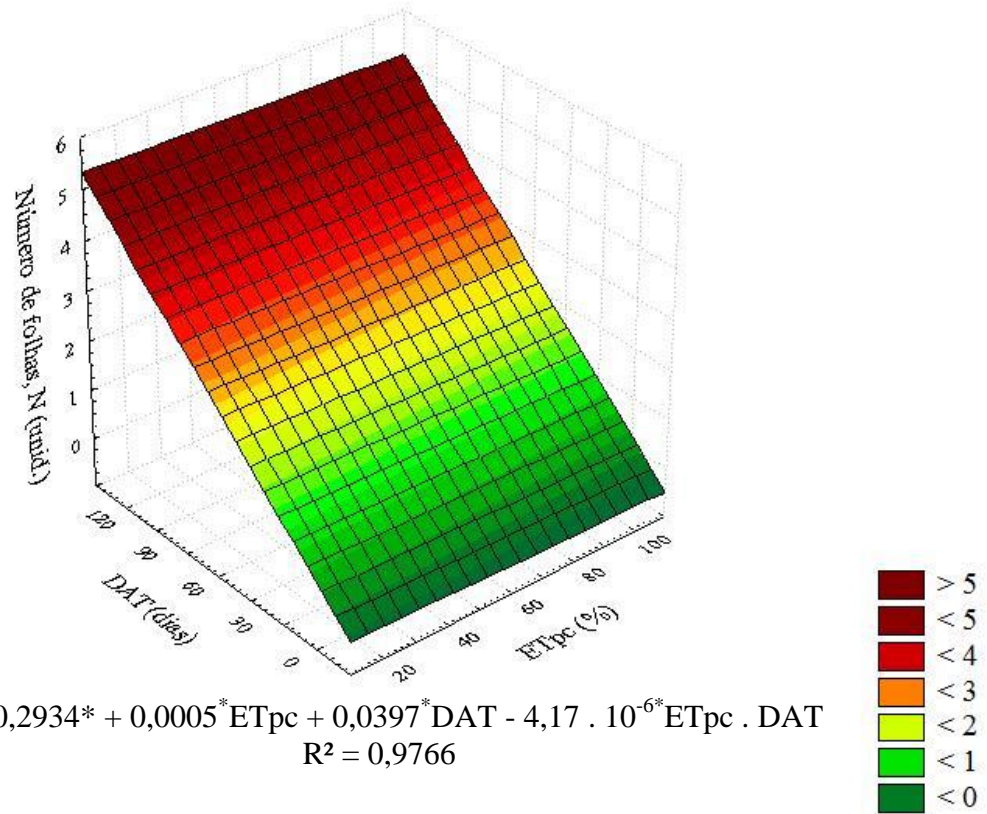
Tabela 5 - Resumo das análises das variâncias para os dados de número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule em plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios		
		Número de folhas	Altura das plantas	Diâmetro do caule
Blocos	5	3,37*	956,3 ^{ns}	21,34 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	10,78**	732,08 ^{ns}	121,32**
Resíduo - D	20	1,12	562,68	22,9
Parcelas	29			
Salinidade do solo (S)	3	5,48**	4.170,04**	233,86**
Interação S x D	12	1,14 ^{ns}	505,03 ^{ns}	25,17 ^{ns}
Resíduo - S	75	0,77	515,58	24,93
Subparcelas	119			
Épocas de avaliação (E)	4	344,19**	15.7516,32**	4.590,56**
Interação D x E	16	1,18**	284,4**	14,49**
Interação S x E	12	0,63**	413,79**	14,73**
Interação D x S x E	48	0,22 ^{ns}	102,91 ^{ns}	3,76 ^{ns}
Resíduo - E	400	0,21	94,13	4,91
Total	599			
C.V. - D (%)		43,92	42,26	25,05
C.V. - S (%)		36,49	40,45	26,14
C.V. - E (%)		19,29	17,28	11,6

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

O modelo matemático e a respectiva superfície de resposta para a variável número de folhas em função do nível de deficiência hídrica (% ETpc) e da época de avaliação (DAT) são apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Superfície de resposta para o número de folhas – N (unidade) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Verificam-se, na equação, incrementos no número de folhas quando da variação do nível de deficiência hídrica e da época de avaliação, o que significa que cada unidade acrescida na reposição das perdas de água via evapotranspiração, a cada dia após o transplante das mudas acarretam conjuntamente, ao longo do período experimental, um aumento de 0,0005 e 0,0397 folhas, respectivamente, sendo que o sinal negativo denotado no parâmetro da equação referente à interação entre os referidos fatores, permite deduzir que o efeito simultâneo dos fatores em estudo altera a expressão da magnitude das respostas dos efeitos dos fatores isolados, ainda que de forma discreta, com decréscimos da ordem de $4,17 \cdot 10^{-6}$ folhas, a cada unidade conjugada de ETpc e de DAT, respectivamente (Figura 15).

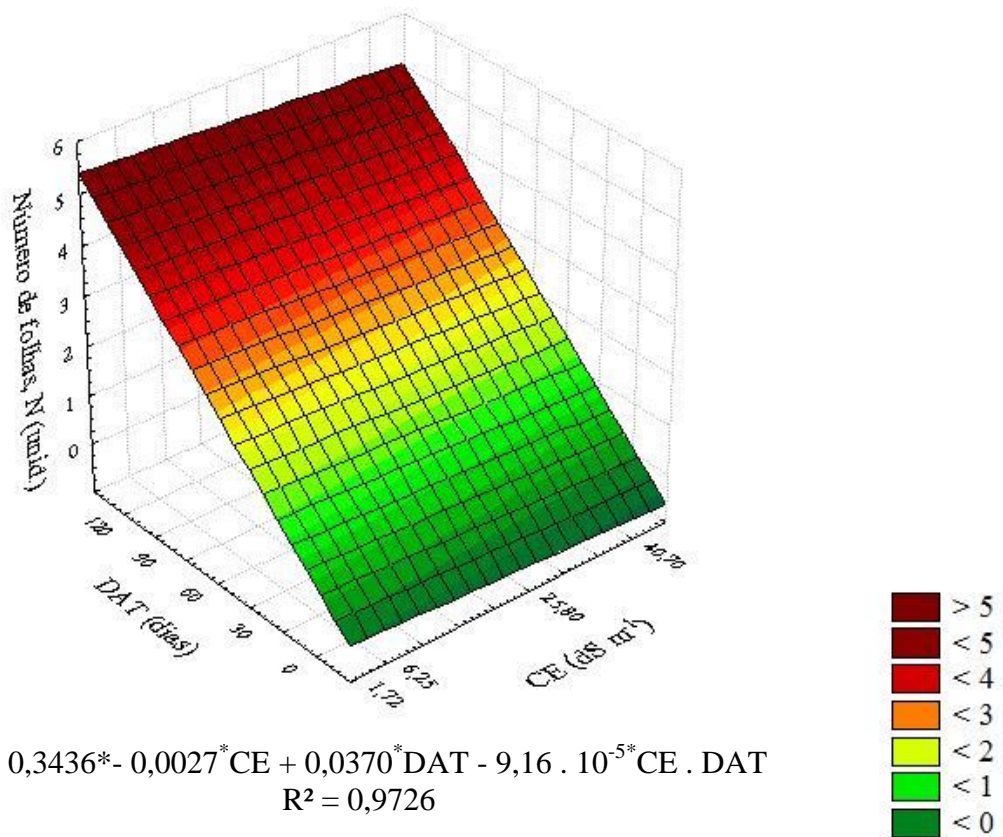
Desta forma, o modelo matemático de superfície de resposta proposto para a variável em questão prediz que o incremento na disponibilidade de água, associado ao avanço das épocas de avaliação acarretaram aumentos no número de folhas, o qual apresentou maiores valores aos 120 DAT, apresentando uma média de 5 folhas, independente do suprimento hídrico, embora a análise de variância tenha detectado efeito significativo na interação entre os referidos fatores (Tabela 5). Tais resultados evidenciam que o fator épocas de avaliação (DAT) exerceu um efeito mais proeminente sob a variável em questão, permitindo deduzir que o número de folhas da espécie é capaz de aumentar linearmente em função do tempo, mesmo sob condições de variáveis teores de água no solo.

Embora a diminuição do número de folhas em plantas sob deficiência hídrica tenha sido rotineiramente reportada, sendo considerado um mecanismo adaptativo capaz de minimizar a superfície transpirante e, por conseguinte, a perda de água, atenuando, ainda, o dispêndio metabólico necessário para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER *et al.*, 2008). Os presentes resultados de certa forma são concordantes com Leite e Encarnação (2002), ao reportarem que a disponibilidade de água no solo não influenciou no mecanismo de emissão foliar. Em contrapartida, os referidos autores afirmam que o coqueiro emite uma a duas folhas num período de 30 dias, o que acaba sendo condizente com estes resultados, tendo em vista que, sob as condições nas quais a pesquisa foi desenvolvida, a espécie produziu, em média, 1 folha mês⁻¹.

Essa baixa magnitude do efeito denotado para o fator deficiência hídrica pode ser justificada por Peçanha (2007), ao discorrer que o número de folhas do coqueiro é uma característica pouco variável, haja vista que, a espécie produz folhas a um ritmo geneticamente determinado, mostrando-se, portanto, pouco sensível às condições de suprimento hídrico na qual a planta é submetida durante a estação de cultivo.

O desdobramento dos efeitos da interação dos tratamentos salinidade do solo e épocas de avaliação para a variável número de folhas por meio da análise de regressão polinomial e sua concorrente superfície de resposta evidenciou efeitos lineares significativos para os níveis de salinidade do solo (CE) e épocas de avaliação (DAT), bem como para a interação entre CE e DAT, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Superfície de resposta para o número de folhas – N (unidade) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de salinidade do solo (CE) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Para o fator salinidade do solo (CE), observou-se efeito linear depressivo e para as épocas de avaliação (DAT), constatou-se efeito positivo, com o componente linear também significativo, já a interação entre os referidos fatores condicionou incrementos decrescentes (Figura 16).

Analisando-se a equação encontrada em função dos fatores em estudo, verifica-se que o número de folhas reduziu linearmente com os incrementos nos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, com decréscimos da ordem de 0,0027 folhas, por cada acréscimo unitário nos valores CE (Figura 16).

Em condições de estresse salino, ocorrem alterações morfológicas e anatômicas que resultam na redução do número de folhas, constituindo uma estratégia adaptativa adotada pelas plantas para assegurar a absorção de água, mediante a redução da transpiração (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Por outro lado, semelhante ao comportamento expressado na variável em questão, frente à associação entre os fatores ET_{pc} e DAT, denotou-se efeitos mais proeminentes para as diferentes épocas de avaliação, sendo estimado, através do modelo matemático, um acréscimo de 0,0370 folhas, a cada DAT, o que resulta em um prazo de aproximadamente 27 dias, para a emissão de uma nova folha (Figura 16).

O incremento da salinidade do solo exige das plantas maior dispêndio energético para absorção de água, tendo em vista que o potencial osmótico da solução do solo se torna mais negativo. As plantas respondem a esse tipo de estresse de forma análoga à deficiência hídrica, ou seja, retardam a emissão de novas folhas e sacrificam parte de sua área foliar, no intuito de assegurar sua sobrevivência. Isso resulta na redução da perda de água por transpiração, abrandando, conseqüentemente, a assimilação de carbono e a futura produção da fração de interesse econômico (FERREIRA NETO *et al.*, 2007).

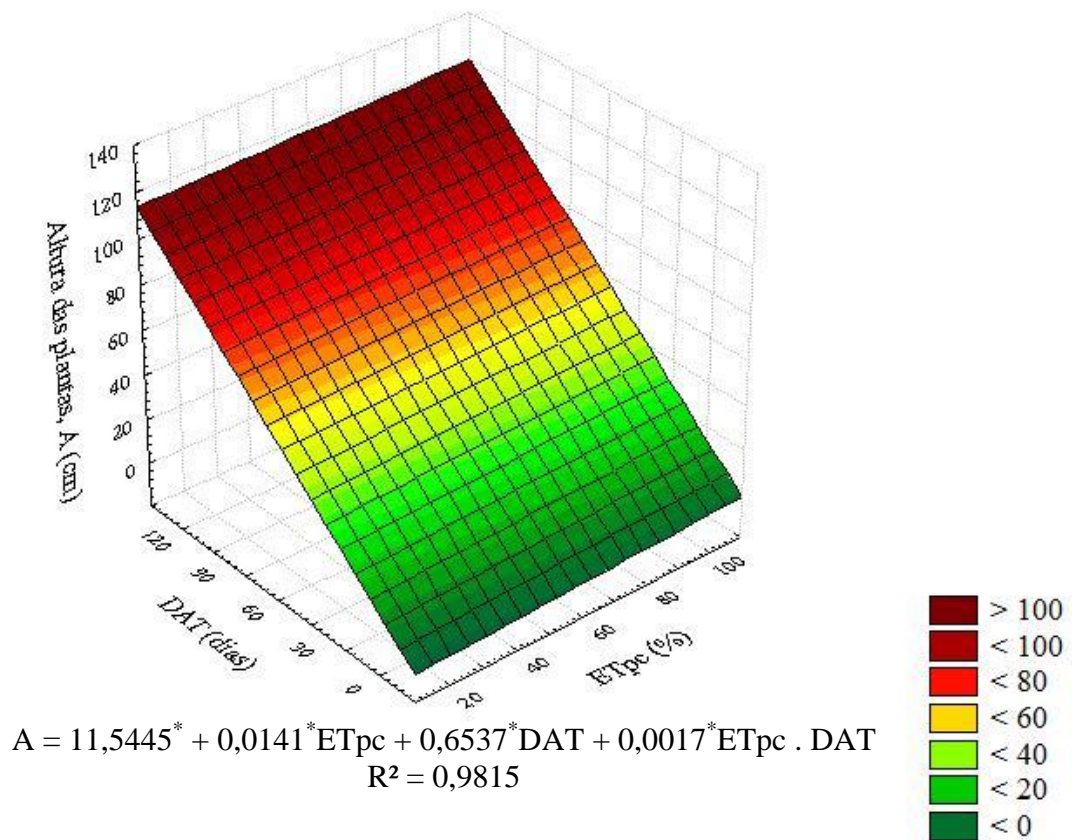
Infere-se, ainda, que o maior período de exposição ao estresse salino, potencializou ainda que de forma não tão protuberante, os efeitos do fator salinidade, fato representado pelo sinal negativo do parâmetro referente à interação entre CE e DAT (Figura 16).

Esse referido comportamento leva a supor que o número de folhas do coqueiro tende a ser reduzido à medida que o estresse salino é intensificado, sendo o efeito mais pronunciado quando o tempo de exposição é maior. O que é condizente com Freitas *et al.* (2013), ao reportarem que quanto maior o tempo de exposição à salinidade, maiores e mais complexos são os distúrbios causados, tendo em vista que os graus de influência do estresse salino sob os aspectos inerentes ao crescimento vegetal dependem da intensidade, da duração e do estágio de desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, a superioridade do efeito exercido pelo fator épocas de avaliação sob a variável em questão em detrimento à salinidade do solo restringe a magnitude da expressão desta sob a emissão foliar, o que reforça o pressuposto da forte influência do componente genético na expressão desta característica morfológica na espécie.

A Figura 17 ilustra o comportamento dos valores da altura das plantas em função dos níveis de deficiência hídrica (% ET_{pc}) e das épocas de avaliação (DAT). Assim, dos resultados, constatou-se que quanto maiores foram os níveis de ET_{pc} e os DAT, maiores foram os valores mensurados na altura das plantas, seguindo o modelo linear de predição.

Figura 17 - Superfície de resposta para a altura – A (cm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Dos resultados, estimou-se que por ocasião do transplântio (0 DAT) as plantas exibiram uma altura média de 13,78 cm, ao passo que houve um comportamento crescente ao longo do período experimental, em que as plantas apresentaram uma altura média de 30,65 cm aos 30 DAT com o nível de deficiência hídrica equivalente a 20% da ETpc para 106,96 cm sob condições ideais de suprimento hídrico (100% ETpc), obtendo-se, assim, um incremento de 248,97% (Figura 17). Conforme o modelo proposto para a variável em questão, houve aumentos de 0,0141 e 0,6537 cm, para cada incremento unitário de ETpc e DAT, respectivamente, sendo que a interação entre os referidos fatores em estudo resultaram também em incrementos na altura das plantas, da ordem de 0,0017 cm (Figura 17).

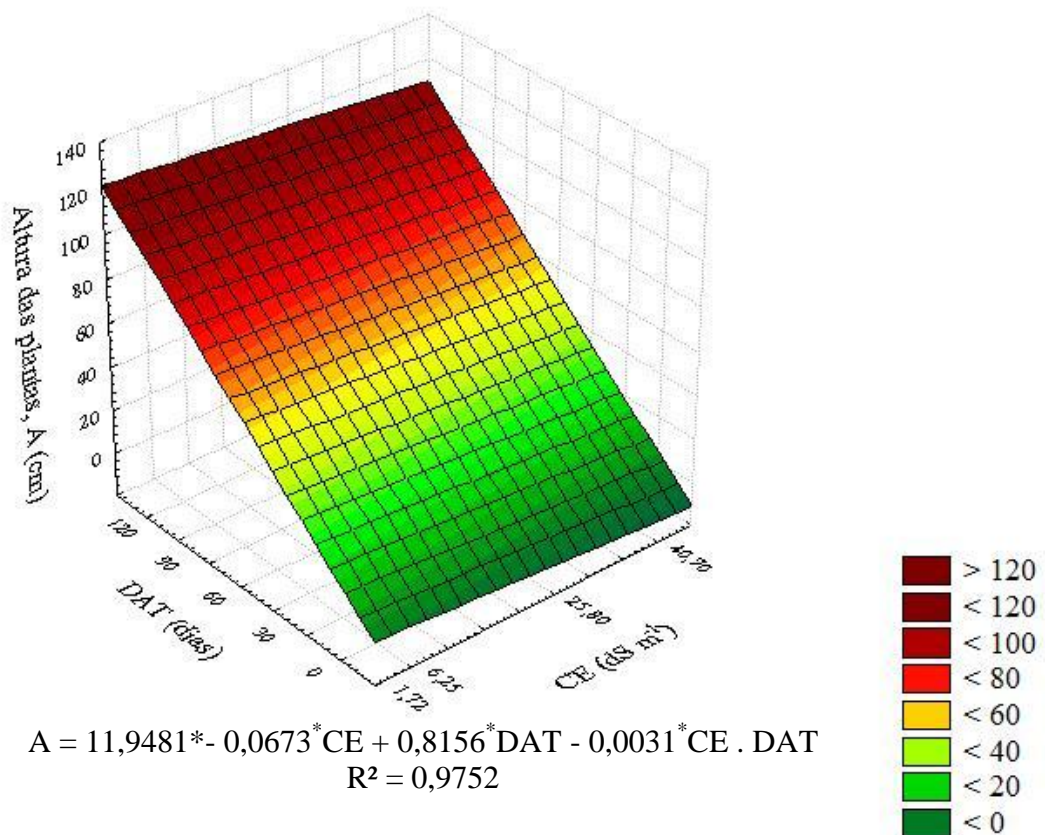
Neste sentido, constatou-se que os valores da altura das plantas se elevaram desde os 30 DAT no nível mais severo de deficiência hídrica (20% ETpc) até os 120 DAT no tratamento correspondente ao atendimento das necessidades hídricas em totalidade (100% da ETpc), sendo possível denotar que o incremento em altura ao longo da evolução do ciclo

cultural depende do nível de deficiência hídrica considerado, tendo em vista que a taxa de crescimento absoluto desta variável em função do período experimental (120 DAT) tendeu a ser maior, justamente nas plantas submetidas a 100% da ET_{pc} (0,77 cm dia⁻¹), em detrimento à aplicação deficitária equivalente a 20% da ET_{pc} (0,63 cm dia⁻¹).

Pode-se considerar que os resultados obtidos são consistentes com a literatura que, em geral, relata que as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentam porte reduzido quando comparadas às que se desenvolveram em condições adequadas de fornecimento de água. Este fato se deve à diminuição da turgescência das células e de outros fatores envolvidos nos processos fisiológicos, uma vez que para existir alongamento celular são necessários níveis mínimos de turgescência celular (SANTOS *et al.*, 2012).

O modelo de superfície de resposta estimado usando-se as médias dos tratamentos e sua respectiva representação gráfica, com relação à variável altura das plantas em função da salinidade do solo (CE) e das épocas de avaliação (DAT) é apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Superfície de resposta para altura de plantas - A (cm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de salinidade do solo (CE) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Estimou-se, através da Figura 18, que a altura das plantas partiu de um valor médio de 11,95 cm, diminuiu com o aumento da salinidade do solo, sendo estimado um decréscimo de aproximadamente 0,068 cm, por cada aumento unitário no valor da condutividade elétrica, e aumentou com as épocas de avaliação, com incrementos de aproximadamente 0,81 cm, a cada dia após o transplântio, sendo evidenciada na interação uma maximização dos efeitos dos fatores isolados, sobretudo, da salinidade do solo, o que leva a supor que o maior período de exposição ao estresse salino é capaz de exercer um efeito ainda mais deletério sobre a altura das plantas, com incrementos também decrescentes, mediante um decréscimo de aproximadamente 0,003 cm na altura das plantas, para cada incremento em CE e em DAT.

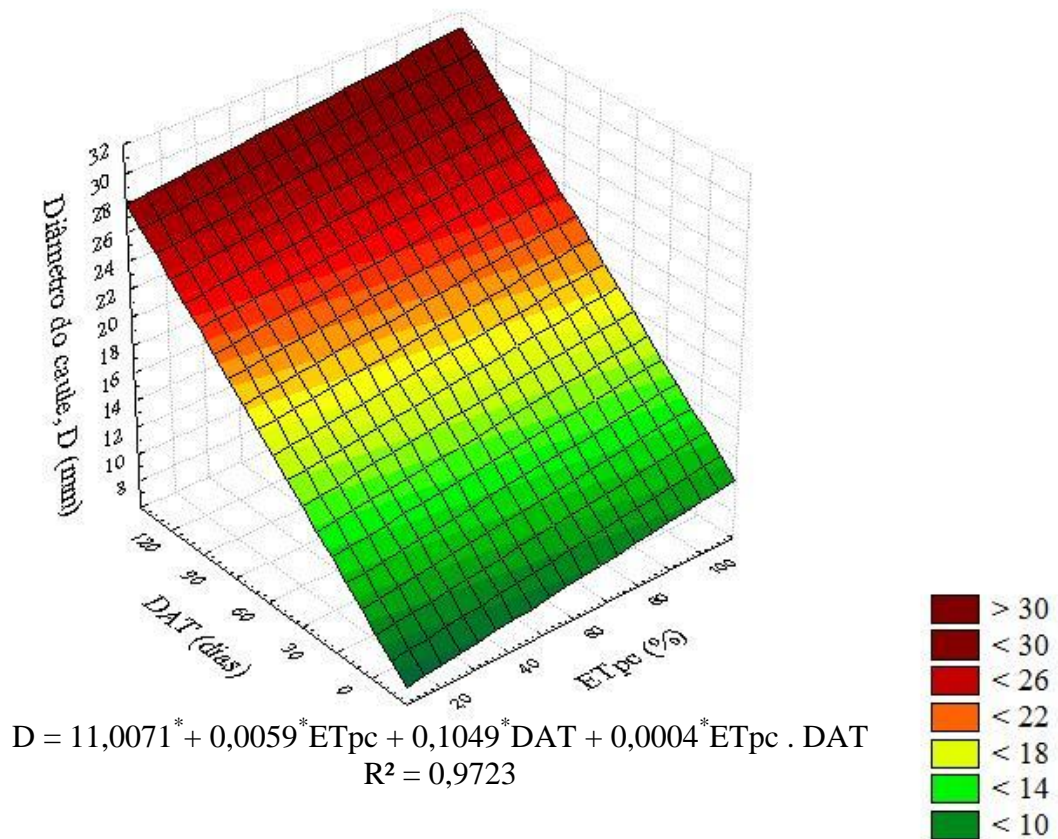
Desta forma, denota-se, através do modelo matemático proposto, que enquanto as plantas cultivadas no solo de menor salinidade ($1,72 \text{ dS m}^{-1}$) apresentaram uma taxa de crescimento absoluto médio em altura equivalente a $0,80 \text{ cm dia}^{-1}$, em detrimento, na salinidade correspondente a $40,70 \text{ dS m}^{-1}$ estimou-se um incremento médio inferior em aproximadamente 13,75% ($0,69 \text{ cm dia}^{-1}$), quando equiparado a este.

Tal comportamento é condizente com Esteves e Suzuki (2008), ao discorrerem que o acréscimo da salinidade do solo acarreta reduções significativas na altura das plantas. Segundo Carmo *et al.* (2003), o limitado crescimento vegetativo das plantas sob condições salinas relaciona-se à diminuição da capacidade de absorção de água, dado o aumento da pressão osmótica da solução do solo provocada pelo excesso de sais.

Adicionalmente, estas respostas podem ainda ser justificadas tendo por base as inferências de Silva *et al.* (2009), que mencionam a redução do crescimento das plantas expostas a elevados níveis de sais é reflexo da associação de diversos fatores que afetam a divisão e alongamento das células, tais como: o efeito tóxico dos íons que foram absorvidos, o baixo potencial osmótico e hídrico das células, a utilização de energia metabólica no processo de ajustamento osmótico e a interferência dos sais na absorção de nutrientes essenciais.

No que se relaciona ao diâmetro do caule das plantas, constatou-se que o mesmo aumentou frente aos tratamentos impostos, respondendo positivamente aos incrementos na disponibilidade hídrica e nas épocas de avaliação, tendo por base o sinal dos termos "ETpc" e "DAT" do polinômio na Figura 19, bem como no termo referente à interação entre os referidos fatores, mostrando que, em casos de restrição hídrica, ocorrem reduções no diâmetro caulinar das plantas.

Figura 19 - Superfície de resposta para o diâmetro do caule – D (mm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o modelo matemático exposto na Figura 19, estimou-se que as plantas cresceram linearmente em diâmetro ao nível de 0,0059 e 0,1049 mm, por incremento unitário do percentual de ETpc e DAT, respectivamente, acrescido, ainda de 0,0004 mm, em decorrência do efeito da associação entre os referidos fatores, atingindo um valor máximo de 28,25 mm no cultivo com 100% da ETpc, aos 120 DAT (Figura 19).

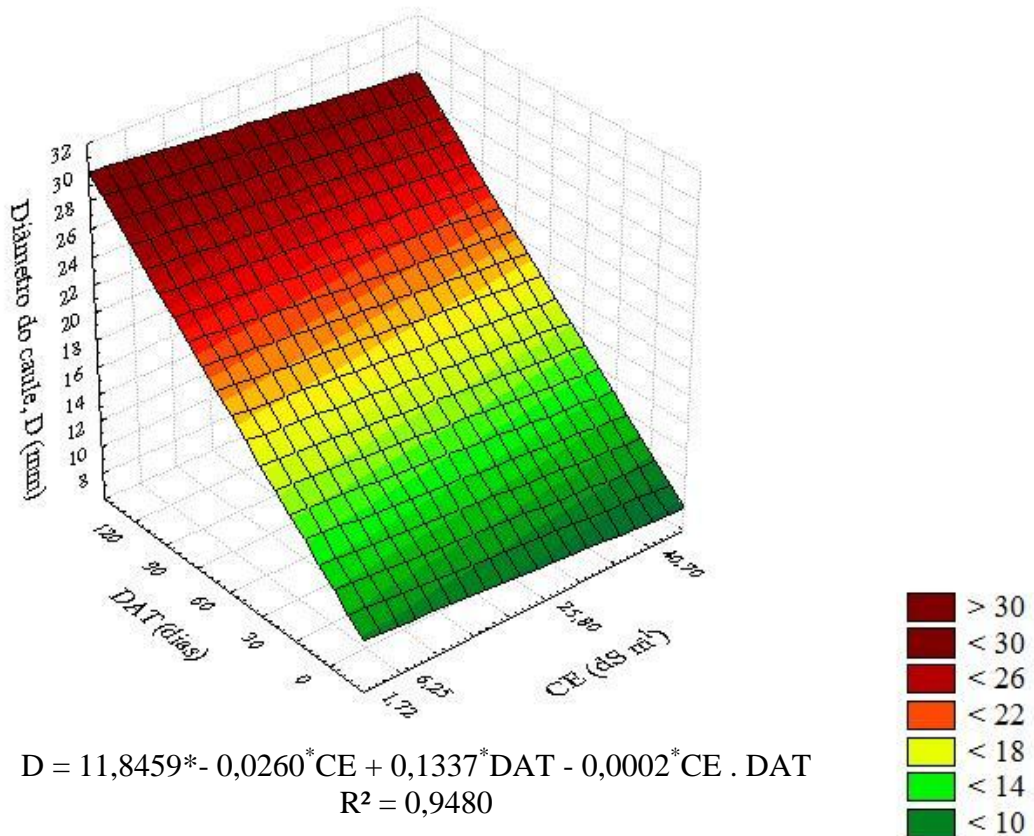
Desta forma, denota-se que a taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar depende do nível de deficiência hídrica considerado, o que pode ser comprovado levando-se em consideração que quando as plantas foram submetidas à irrigação deficitária no nível equivalente a 20% da ETpc o diâmetro caulinar apresentou uma taxa de incremento média de 0,10 mm dia⁻¹, enquanto sob condições de pleno suprimento hídrico (100% da ETpc), esta taxa média foi de 0,13 mm dia⁻¹.

A redução ou, por conseguinte, a cessação completa dos padrões de crescimento pode ser apontada como uma das primeiras consequências fisiológicas apresentadas em plantas submetidas à deficiência hídrica. Tal fato é consequência do comprometimento dos

processos de alongamento e de diferenciação celular, influenciados pela restrição hídrica imposta pelos tratamentos adotados, que refletem, diretamente, no diâmetro caulinar (NASCIMENTO *et al.*, 2011). Complementarmente, para Taiz e Zeiger (2013), é presumível que o crescimento do caule seja influenciado pelos mesmos princípios que governam a restrição do crescimento das folhas, diante do déficit hídrico.

O desdobramento da interação dupla entre os fatores salinidade do solo e épocas de avaliação para a variável diâmetro do caule é apresentado através da superfície de resposta e de seu respectivo modelo matemático exposto na Figura 20.

Figura 20 - Superfície de resposta para o diâmetro do caule - D (mm) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de salinidade do solo (CE) e de épocas de avaliação (DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o modelo matemático, estimou-se que os incrementos nos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, associados ao avanço do ciclo cultural, representado pelos dias após o transplante, resultaram em efeitos depressivos e positivos, respectivamente, com decréscimos no diâmetro caulinar de 0,0260 mm, para cada incremento

unitário de CE e acréscimos da ordem de 0,1337 mm, a cada DAT, sendo que o maior período de exposição ao estresse salino, potencializou o efeito adverso desse estressor sob a variável em questão, com decréscimos de aproximadamente 0,0002 mm (Figura 20).

De acordo com Araújo *et al.* (2013), o contato das raízes com o meio adversamente salino contribui para maior e mais rápida absorção de sais que podem ultrapassar os limites toleráveis pelas células de todos os órgãos das plantas, inclusive do caule, o que pode justificar as respostas da variável em questão, frente aos incrementos da salinidade do solo.

Adicionalmente, conforme as inferências de Schossler *et al.* (2012), o estresse salino ocasiona desequilíbrio nutricional devido à elevada concentração iônica e à inibição da absorção de outros cátions pelo sódio, aliado ao efeito tóxico dos íons sódio e cloreto, os quais, dentre as prováveis consequências, impossibilitaram o acúmulo de fitomassa do caule, comprometendo o seu respectivo crescimento em diâmetro, fato que pode justificar o desempenho desta variável frente à crescente salinidade do solo.

Por outro lado, mesmo diante da denotação de efeito estatisticamente significativo para a interação entre os fatores ETpc e DAT, as taxas de crescimento absoluto em diâmetro caulinar exibidas pelas plantas diante dos níveis extremos de reposição da evapotranspiração potencial da cultura convergiram para 0,12 e 0,13 mm dia⁻¹, nos níveis correspondentes a 20 e a 100% da ETpc, respectivamente. Esta similaridade entre os aludidos valores justificam-se pelo efeito mais proeminente do fator épocas de avaliação sob a variável em questão (Figura 20).

No geral, resultados semelhantes foram constatados por Pordeus *et al.* (2012), ao avaliar o crescimento do coqueiro submetido a diferentes volumes de água de irrigação, onde constataram efeitos positivos do favorecimento hídrico sob as características morfológicas da espécie. Peçanha (2007) também averiguou comprometimento nas características biométricas do coqueiro como implicação decorrente dos efeitos do déficit hídrico. Por outro lado, resultados divergentes foram obtidos por Santos (2007) ao demonstrarem ausência de diferenças estatisticamente significativas entre as lâminas de irrigação avaliadas para as variáveis altura das plantas e diâmetro do caule em plantas de coqueiro.

Quanto aos efeitos decorrentes da salinidade, constata-se que os presentes resultados são consistentes com a literatura que embora apontem à reconhecida tolerância a seca da cultura do coqueiro, concomitantemente, reportam-se efeitos depressivos do excesso de sais no solo sob as características de crescimento da espécie (LIMA, 2014; MARINHO, GHEYI; FERNANDES, 2005; MARINHO *et al.*, 2005a).

3.2 Área foliar e produção de biomassa

Pelo resumo das análises das variâncias para os dados de área foliar - AF ($\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$), biomassa seca radicular - BSR (g planta^{-1}), biomassa seca da parte aérea - BSPA (g planta^{-1}), biomassa seca total - BST (g planta^{-1}) e a razão entre a biomassa seca radicular e da parte aérea (BSR BSPA^{-1}) verificou-se que a variação de efeitos principais, de déficit hídrico e de salinidade do solo foi significativa pelo teste F ($p \leq 0,05$ ou $p \leq 0,01$), em quase todas as variáveis supracitadas, exceto para a influência isolada do déficit hídrico sobre a variável biomassa seca radicular ($p \geq 0,05$). Complementarmente, a interação déficit hídrico x salinidade do solo foi sempre significativa ($p \leq 0,01$), como resultado da dependência entre estes fatores, segundo o teste F (Tabela 6).

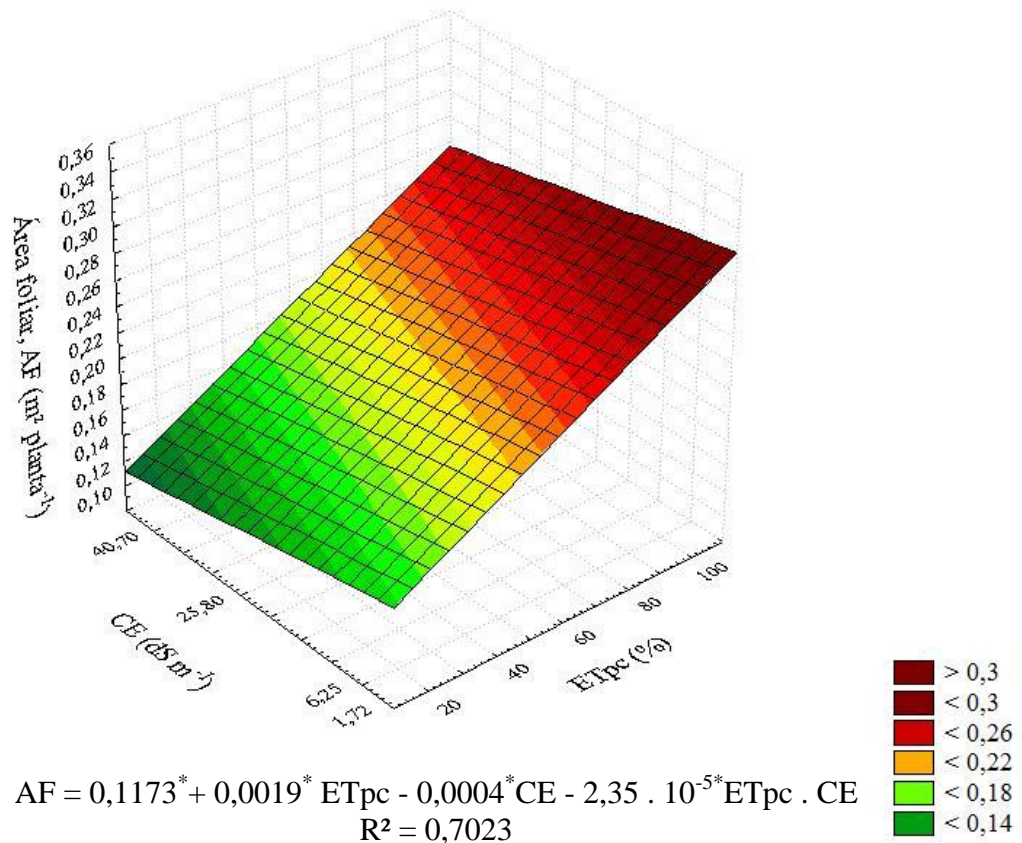
Tabela 6 - Resumo das análises das variâncias para os dados de área foliar - AF ($\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$), biomassa seca radicular - BSR (g planta^{-1}), biomassa seca da parte aérea - BSPA (g planta^{-1}), biomassa seca total - BST (g planta^{-1}), razão biomassa seca radicular parte aérea⁻¹ (BSR BSPA^{-1}) em plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios				
		AF	BSR	BSPA	BST	BSR BSPA^{-1}
Blocos	5	0,00122 ^{ns}	7,58 ^{ns}	64,83 ^{ns}	45,40 ^{ns}	0,00432 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	0,05875 ^{**}	8,21 ^{ns}	5.736,23 ^{**}	5.871,76 ^{**}	0,02694 ^{**}
Resíduo - D	20	0,00064	4,57	49,51	47,41	0,00205
Parcelas	29					
Salinidade do solo (S)	3	0,01476 ^{**}	9,31 [*]	9.336,17 ^{**}	9.161,10 ^{**}	0,05071 ^{**}
Interação D x S	12	0,00591 ^{**}	6,67 [*]	3.103,35 ^{**}	2.973,22 ^{**}	0,02818 ^{**}
Resíduo - S	75	0,00061	3,16	66,97	61,47	0,00254
Total	119					
C.V. - D (%)		11,96	13,43	8,70	12,23	20,43
C.V. - E (%)		11,73	11,16	10,12	11,90	22,73

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

Na Figura 21 apresenta-se a superfície de resposta e o respectivo modelo matemático para a variável área foliar – AF ($\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$), em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de níveis de salinidade do solo, aos 120 dias após o transplantio.

Figura 21 - Superfície de resposta para a área foliar – AF ($\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o modelo matemático proposto, a área foliar do coqueiro é acrescida linearmente em $0,0019 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, a cada incremento unitário de ETpc e reduzida também de forma linear, com decréscimos de aproximadamente $0,0004 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, a cada incremento em CE, sendo que a associação dos efeitos reflete em reduções na área foliar da ordem de $2,35 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, a cada associação dos fatores isolados (Figura 21).

Assim, a análise da superfície de resposta para os dados de área foliar do coqueiro, mostra que embora influenciada pelas interações entre os estressores, os efeitos decorrentes da deficiência hídrica foram mais proeminentes em detrimento aos próprios efeitos da salinidade do solo (Figura 21).

Isso pode ser constatado devido à expressão dos gradientes de declive das linhas, que compõem a superfície de resposta, bem como o parâmetro matemático do modelo serem mais acentuados para os níveis do fator deficiência hídrica, quando comparados aos níveis de salinidade do solo (Figura 21).

Para a variável área foliar, estimou-se que o nível de reposição hídrica que proporciona o máximo valor da variável em questão (0,3428 m² por planta) é o 100% da ET_{pc} associado à salinidade de 1,72 dS m⁻¹. Por outro lado, a combinação entre o menor nível de suprimento hídrico (20% ET_{pc}) e o máximo nível de salinidade do solo avaliado (40,70 dS m⁻¹) resulta no menor dos valores de área foliar (0,1200 m² por planta), inferior em aproximadamente 65%, quando comparado ao máximo valor obtido para esta variável (Figura 21).

A deficiência hídrica do solo influencia significativamente a área foliar do coqueiro durante a fase de desenvolvimento inicial, conferindo a variável um comportamento linear, indicando que a maior lâmina de água propicia maior desenvolvimento vegetativo na espécie (PEÇANHA, 2007).

Como a salinidade, em geral, demonstra sintomas morfológicos similares ao do estresse hídrico (OLIVEIRA *et al.*, 2012), pode-se considerar que a redução da expansão foliar pode ser uma estratégia de sobrevivência capaz de possibilitar a conservação de água em períodos críticos, uma vez que uma menor superfície foliar resulta em redução do total de água transpirada (TAIZ; ZEIGER, 2013). Mesquita *et al.* (2012a) citam ainda que a redução da área foliar é também conveniente às plantas, por provocar diminuição do carregamento de Na⁺ e de Cl⁻ no xilema, além de possibilitar a conservação da água nos tecidos vegetais.

No entanto, de acordo com Azevedo Neto e Tabosa (2000), esta inferência não se adéqua fundamentalmente ao caso do estresse salino, onde a disponibilidade de água para o crescimento, geralmente não é limitante, na medida em que o gradiente de potencial hídrico favorece a absorção, em virtude da osmorregulação. Segundo os referidos autores, a redução na área foliar, como consequência do estresse salino, pode ser um reflexo da incapacidade das plantas em diferenciar os estresses hídricos e salinos, ao invés de um mecanismo de adaptação propriamente dito.

A interação significativa constatada entre os fatores estressantes deficiência hídrica e salinidade do solo provavelmente reflete o proeminente efeito do potencial osmótico da solução do solo, inibindo a absorção de água pela planta (FARIAS *et al.*, 2003).

Por outro lado, sob condições adequadas de suprimento hídrico, este efeito foi minorado, haja vista que se estimou que na condutividade elétrica de 40,70 dS m⁻¹, a área foliar mensurada na condição de 100% da ET_{pc} apresentou um valor superior em aproximadamente 74% quando equiparada ao obtido sob condições de severo déficit hídrico (20% ET_{pc}). Resposta similar foi constada em condição de menor salinidade (1,72 dS m⁻¹),

onde se estimou que a aplicação de 100% da ET_{pc} proporcionou uma área foliar superior em aproximadamente 63% aquela obtida em 20% da ET_{pc}.

No entanto, possivelmente, a menor área foliar das plantas cultivadas sob a influência mútua de 100% ET_{pc} e CE = 40,70 dS m⁻¹ quando comparada a associação entre 100% da ET_{pc} e CE = 1,72 dS m⁻¹, ratifica o efeito da concentração salina, ao ponto de restringir a magnitude da resposta da variável frente ao favorecimento hídrico, destacando, novamente, o relevante efeito que a salinidade do solo é capaz de exercer sob a variável em questão.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc}, estimaram-se acréscimos na área foliar de 1,90; 1,05; 0,89 e 0,72% por aumento unitário do % da ET_{pc}, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,63; 0,62; 0,47; 0,36; 0,30% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc}, respectivamente (Figura 21).

Cumprе salientar que os danos provocados pelo excesso de sais nos vegetais ocorrem não somente devido aos efeitos osmóticos e até mesmo oxidativos, mas também podem suceder como consequências diretas e/ou indiretas de efeitos tóxicos e nutricionais. Esses componentes, em conjunto, irão refletir diretamente na produção de área foliar, tendo em vista que os danos mencionados comprometerão absolutamente a prosperidade dos processos fotossintéticos, que são diretamente responsáveis pela produção de fotoassimilados a serem utilizados no crescimento dos diferentes órgãos da planta, inclusive para o surgimento de novas folhas (QUEIROGA *et al.*, 2006).

Diante dos presentes resultados, hipotetiza-se que a redução da área foliar do coqueiro perante a ação conjunta da deficiência hídrica e da salinidade do solo se dá pela diminuição na expansão e também pela redução do número de folhas, conforme o exposto nas Figuras 16 e 21, respectivamente.

Isso se verificou em decorrência do provável efeito direto que estes agentes estressantes exerceram sobre as trocas gasosas foliares, principalmente, mediante a efetiva regulação estomática, ocasionando, dentre seus prejuízos, diminuição na taxa de assimilação líquida de CO₂, acarretando, inevitavelmente, comprometimento da síntese dos fotoassimilados que promoveriam o surgimento e o crescimento de novas folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013), conforme o exposto no capítulo 3 do presente trabalho.

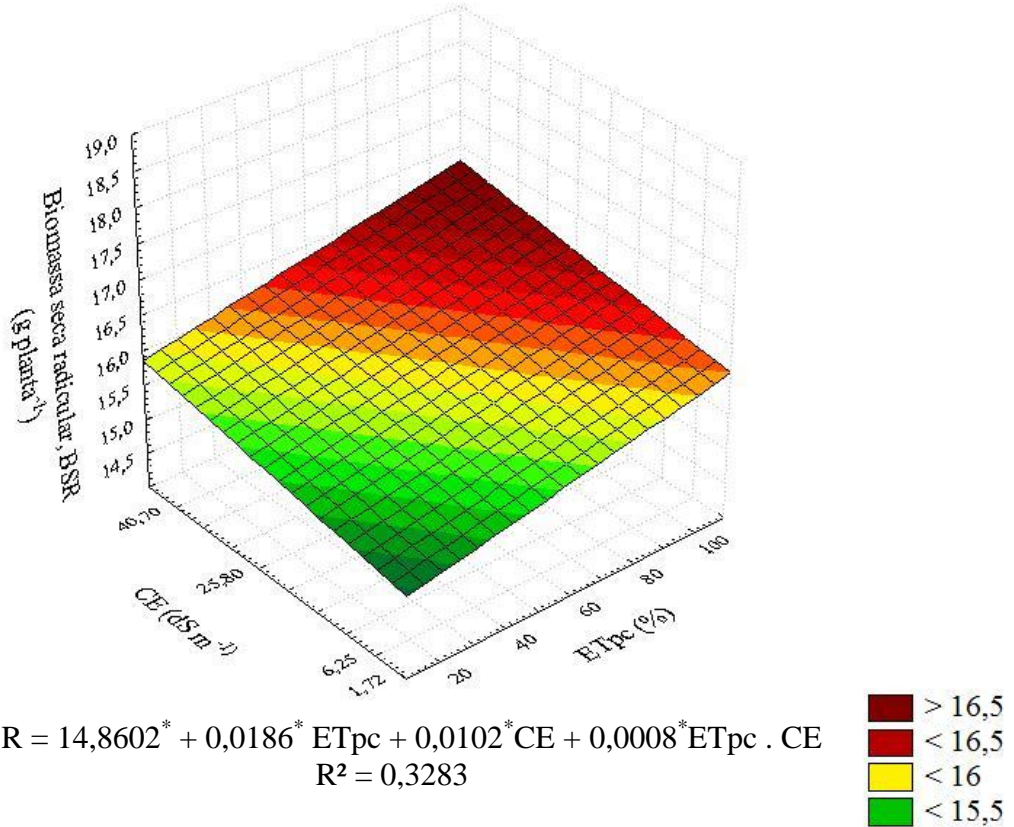
Adicionalmente, presume-se que esta restrição à abertura estomática e à assimilação fotossintética do CO₂ tornou-se proporcionalmente mais severa à medida que os níveis dos gradientes de deficiência hídrica e de salinidade do solo foram incrementados.

Os presentes resultados estão em consonância com os obtidos por Silva Júnior, Passos e Gheyi (2002), que avaliaram os efeitos do déficit hídrico e da irrigação com água de diferentes níveis de salinidade, nas respostas do coqueiro "Gigante do Brasil" e constataram que uma das primeiras consequências do estresse hídrico e do acúmulo de sais no solo para a espécie foi à redução da área foliar, o que é atribuído à perda de folhas, bem como a redução na emissão foliar, como estratégia de adaptação aos estressores.

No que se relaciona a variável biomassa seca radicular, apresenta-se na Figura 22 a superfície de resposta e o referente modelo matemático ajustado através das médias obtidas nas diferentes associações entre os fatores em estudo para a variável em questão.

Através do modelo matemático proposto, observaram-se efeitos lineares positivos e significativos para os fatores ET_{pc} e CE, com acréscimos estimados da ordem de 0,0186 e de 0,0102 g planta⁻¹, para cada respectivo incremento unitário nos fatores supracitados, sendo que a interação entre os mesmos resultou também em efeitos lineares positivos, com contribuição de 0,0008 g planta⁻¹, diante dos incrementos nos fatores combinados (Figura 22). No entanto, o ajuste da equação de regressão apresentou baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,3283$), mesmo diante da significância dos parâmetros estimadores no modelo.

Figura 22 - Superfície de resposta para a biomassa seca radicular – BSR (g planta^{-1}) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Dos resultados, estimou-se que o menor valor ($14,22 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtido nas plantas que foram submetidas à associação entre 20% da ETpc e CE de $1,72 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto o maior dos valores ($18,61 \text{ g planta}^{-1}$) foi estimado nas plantas sem restrição hídrica (100% da ETpc), no maior nível salino ($40,70 \text{ dS m}^{-1}$), conforme o exposto na Figura 22.

Os resultados do presente estudo contradizem Echer *et al.* (2010), ao discorrerem que dentre os mecanismos básicos adotados pelas plantas para resistir ao déficit hídrico destacam-se o aumento e/ou aprofundamento da raiz, podendo ser pelo crescimento (alongamento celular) ou pelo ganho de massa seca (crescimento e aumento de espessura das paredes celulares), tendo em vista que, no presente caso, o favorecimento hídrico, expresso pelos incrementos em ETpc, tenderam a acarretar incrementos nos valores de biomassa radicular.

No que se relaciona aos efeitos da salinidade, denotou-se que o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo proporcionou estímulos ao

desenvolvimento radicular, o que se refletiu em incrementos na biomassa do referido órgão (Figura 22).

Estes incrementos na biomassa seca radicular frente aos tratamentos salinos impostos à cultura evidenciam mais uma aparente estratégia morfológica adotada pela espécie sob condições adversas, com a provável finalidade de facilitar a absorção de água, mesmo sob condições de baixo potencial osmótico (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Para Graciano *et al.* (2011), tal fato possibilita uma melhor distribuição das raízes, habilitando a planta a explorar um maior volume de solo, resultando, conseqüentemente, em maior eficiência na absorção de água e de nutrientes, conferindo, à espécie, uma melhor capacidade de estabelecimento sob condições salinas. Por outro lado, os resultados obtidos no presente estudo contrapõem as tendências gerais apresentadas pelas plantas, tendo em vista que os efeitos da salinidade sobre o crescimento radicular são quase sempre deletérios, em decorrência da redução da expansão da parede das células que compõem as raízes, comumente observada sob condições salinas (MESQUITA *et al.*, 2012b).

Segundo Guimarães *et al.* (2013), as raízes são altamente suscetíveis ao estresse salino, tendo em vista que a ação deste agente estressante resulta em considerável decréscimo em sua biomassa seca, uma vez que o crescimento radicular é caracterizado por uma alta atividade metabólica, aliado ao fato de que a raiz é, na verdade, o único órgão diretamente exposto ao excesso de sais no solo.

O efeito da interação entre os fatores em estudo permite deduzir que o maior acúmulo de biomassa no sistema radicular resultou da associação entre os mais elevados níveis de reposição hídrica e de salinidade, com destaque para a influência exercida pelo fator disponibilidade hídrica, o que é constatado pelo maior valor referente a este parâmetro no modelo matemático proposto, aliado ao fato do maior gradiente de declive denotado na Figura 22.

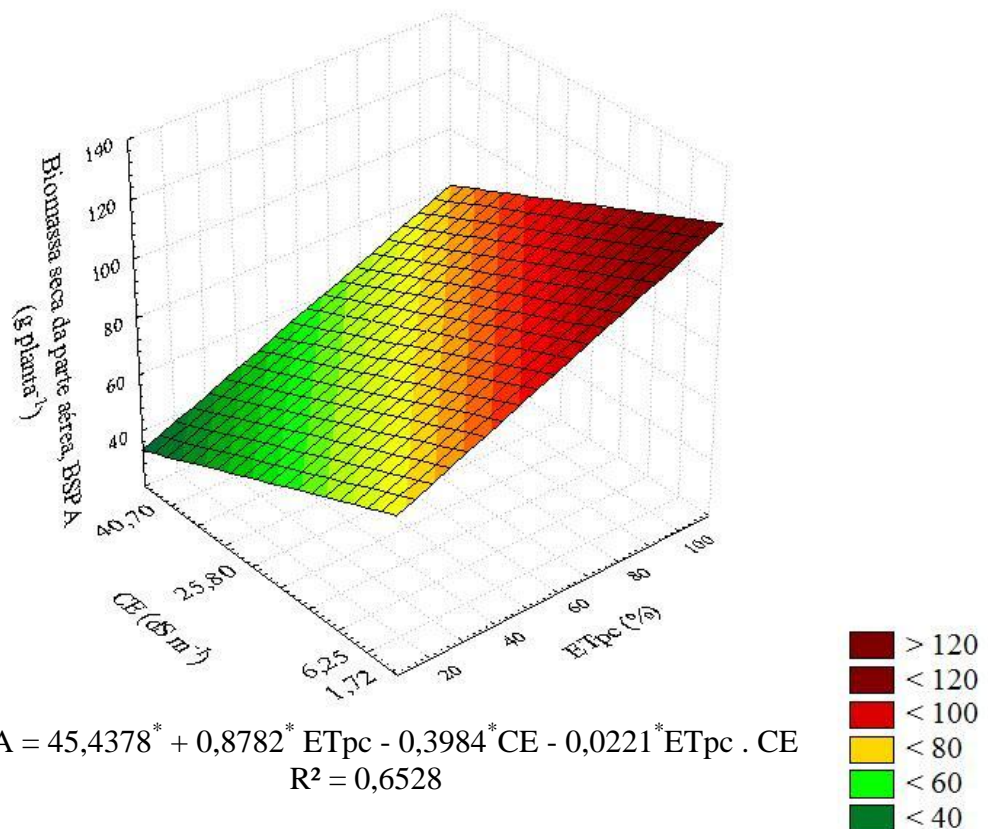
Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc}, estimaram-se acréscimos de 0,22; 0,08; 0,07; e 0,023% por aumento unitário do % da ET_{pc}, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se acréscimos de 0,10; 0,10; 0,01; 0,05 e 6,54 x 10⁻⁵% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc}, respectivamente.

Diante da referida resposta, supõe-se que o adequado suprimento hídrico é capaz de potencializar qualquer eventual efeito deletério inerente à salinidade sobre a biomassa seca

radicular, ao ponto de maximizar a amplitude da resposta, justamente, sob alta salinidade (Figura 22).

A interação significativa entre os fatores déficit hídrico x salinidade para a biomassa seca da parte aérea (BSPA) está apresentada na Figura 23.

Figura 23 - Superfície de resposta para a biomassa seca da parte aérea – BSPA (g planta^{-1}) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplante. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

O modelo matemático ao qual os dados melhor se adequaram para as plantas cultivadas frente à variação dos níveis dos fatores em estudo foi o linear, cujos acréscimos sobre a BSPA foram de $0,8782 \text{ g planta}^{-1}$ para cada incremento unitário da ETpc. Quando as plantas foram submetidas às crescentes salinidades, houve uma diminuição na BSPA de $0,3984 \text{ g planta}^{-1}$, para cada incremento unitário de CE (Figura 23).

Suplementarmente, a associação entre ETpc e CE fortaleceu os efeitos depressivos da salinidade, acarretando declínios de aproximadamente $0,0221 \text{ g planta}^{-1}$, diante dos respectivos incrementos unitários. No entanto, cumpre salientar novamente o efeito mais

pronunciado do déficit hídrico em detrimento à própria salinidade do solo, na variável em questão (Figura 23).

Dos resultados, estimou-se que o menor dos valores para a variável em questão foi obtido na associação entre 20% da ET_{pc}, no nível de salinidade correspondente a 40,70 dS m⁻¹, ao passo que o cultivo sob 100% da ET_{pc}, na salinidade equivalente a 1,72 dS m⁻¹, acarretou a maior produção de biomassa na parte aérea (Figura 23).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc}, estimaram-se acréscimos na biomassa seca da parte aérea de 1,99; 1,51; 0,31 e 0,10% por aumento unitário do % da ET_{pc}, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,79; 1,30; 0,75; 0,023 e 0,01% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc}, respectivamente (Figura 23).

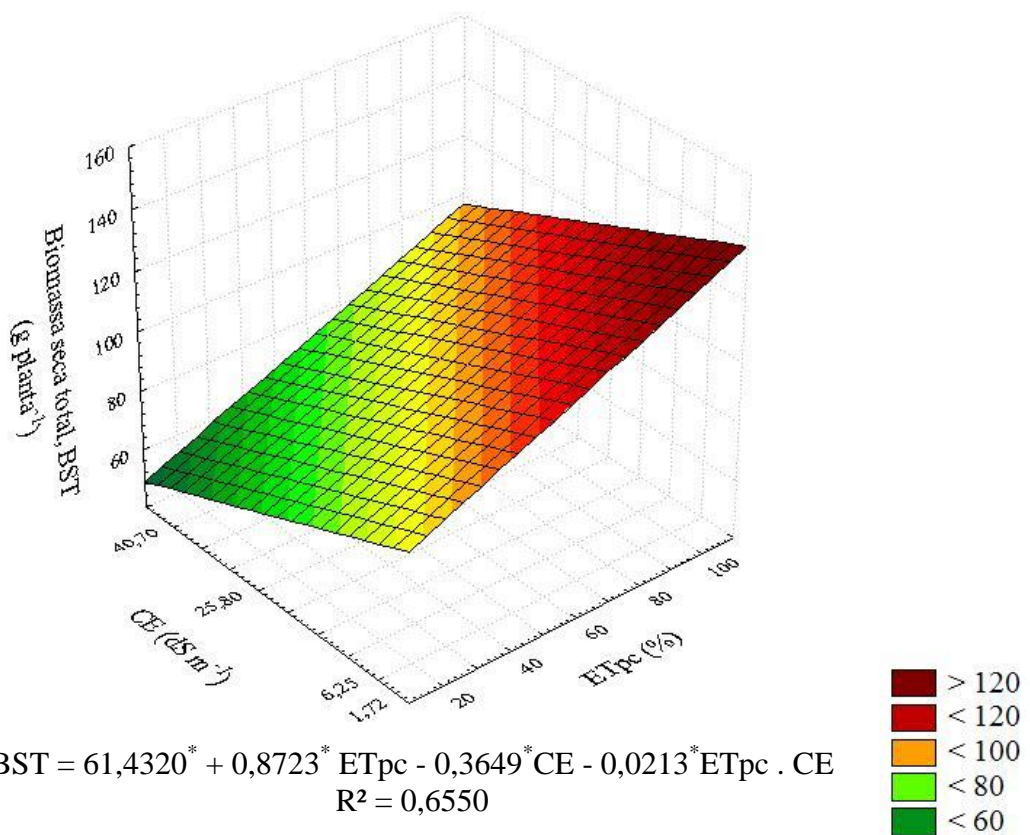
A restrição hídrica age abreviando a celeridade dos processos fisiológicos e bioquímicos nos vegetais e, com isso, as plantas de coqueiro nas condições de reduzido suprimento hídrico apresentam menor desenvolvimento da parte aérea (ÁVILA *et al.*, 2007). O estresse hídrico restringe a produção de matéria seca da cultura e esta redução depende, em parte, das proporções com que o estresse tenha afetado as áreas de atividade fotossintética (COSTA; PINHO; PARRY, 2008).

Quanto ao efeito da salinidade sob a variável em questão, pode-se supor que a redução da biomassa na parte aérea diante dos crescentes níveis de CE é uma implicação direta do comprometimento da taxa fotossintética e do desvio de parte da energia que seria designada ao crescimento para a ativação e a manutenção de uma série de atividades metabólicas que juntas são capazes de conferir a planta adaptação à salinidade. Dentre essas alterações, pode-se destacar: manutenção da integridade das membranas, síntese de solutos orgânicos para a osmorregulação e/ou proteção de macromoléculas e a regulação do transporte e distribuição iônica em vários órgãos ou até mesmo dentro das células (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2012).

Contrariando o observado na biomassa seca radicular, as associações entre os níveis dos fatores em estudo sinalizam o provável antagonismo existente entre o favorecimento hídrico e à salinidade, no tocante a acumulação de biomassa seca na parte aérea, haja vista que o incremento no nível salino restringiu a expressão do plausível efeito benéfico exercido pelo incremento no suprimento de água, denotando-se, portanto, reduções na expressão da resposta ao longo do gradiente de salinidade avaliado (Figura 23).

Na Figura 24 apresenta-se a superfície de resposta para a biomassa seca total, expressa em g planta^{-1} das plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de níveis de salinidade do solo, aos 120 dias após o transplante.

Figura 24 - Superfície de resposta para a biomassa seca total – BST (g planta^{-1}) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplante. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o modelo linear proposto para os fatores em estudo conferem-se, na variável em questão, acréscimos seguidos de decréscimos para os incrementos unitários de ETpc e de CE, com contribuições da ordem de 0,8723 e de -0,3649 g planta^{-1} , respectivamente, sendo a interação entre os fatores responsável por restringir de forma ainda mais intensa a produção de biomassa seca total sob os fatores estressantes, com decréscimos estimados da ordem de 0,0213 g planta^{-1} (Figura 24).

Evidencia-se, ainda, através da Figura 24 que de forma semelhante ao comportamento das demais variáveis, o fator deficiência hídrica foi mais limitante na

produção de biomassa seca total do que o fator salinidade do solo, fato este, mais uma vez, comprovado pela maior declividade da linha do fator déficit hídrico na superfície de resposta.

Para a produção de biomassa seca total, é possível estimar que o ponto para o valor máximo ($145,15 \text{ g planta}^{-1}$) foi encontrado no nível de reposição hídrica correspondente a 100% da ET_{pc} , no solo de salinidade de $1,72 \text{ dS m}^{-1}$, em contrapartida, o menor dos valores ($63,09 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtido como resultado da associação entre o correspondente ao nível de 20% da ET_{pc} e a salinidade de $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, que por sua vez é inferior em aproximadamente 57%, quando equiparado ao máximo (Figura 24).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc} , estimaram-se acréscimos na biomassa seca total de 2,35; 1,58; 0,72 e 0,46% por aumento unitário do % da ET_{pc} , nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,05; 1,04; 0,84; 0,39 e 0,22% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc} , respectivamente (Figura 24).

O estudo da superfície de resposta para a produção de biomassa seca total mostrou a relação contrária entre os fatores de estudo, sendo que em condições de elevado conteúdo de sais no solo, mesmo com o incremento na disponibilidade hídrica, a produção de biomassa seca era pronunciadamente restringida, e de forma antagonicamente recíproca, sob condições de baixa salinidade, a escassez de água acaba limitando o potencial de produção de biomassa seca total das plantas jovens de coqueiro (Figura 24).

Tal assertiva pode ser ratificada ao considerar que o incremento estimado na produção de biomassa seca total entre os níveis correspondentes a 20 e 100% da ET_{pc} foi de aproximadamente 92% sob condições de baixa salinidade ($1,72\%$), enquanto sob alta salinidade ($40,70 \text{ dS m}^{-1}$), este incremento restringiu-se apenas a aproximadamente 14%.

No coqueiro uma das primeiras repostas ao déficit hídrico, decorrente da própria escassez de água e/ou ocasionado pelo conteúdo de sais é o fechamento estomático, uma vez que a resistência difusiva ao vapor de água reduz a transpiração e acarreta danos na capacidade fotossintética, pois o suprimento de CO_2 se torna reduzido. Isso irá refletir no crescimento, fato também evidenciado pelo desempenho exibido pela variável área foliar e de modo ainda mais evidente no rendimento da produção de biomassa seca (GOMES *et al.*, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013), conforme o exposto no capítulo 3 do presente trabalho.

Dessa forma, acredita-se que o funcionamento dos estômatos e a área foliar influenciam a produção de biomassa do vegetal. O primeiro fator porque controla a absorção

de CO₂ e o segundo por determinar o potencial de interceptação luminosa (COSTA; MARENCO, 2007).

Adicionalmente, de acordo com Silva e Amorim (2009), a alta concentração de íons no solo, pode ocasionar a quebra do equilíbrio no potencial de água do sistema solo-planta e, ainda, desbalanço iônico, gerando toxicidade no vegetal, acarretando obstáculos ao crescimento e a produção de biomassa, possivelmente, por acarretar restrições na aquisição de nutrientes minerais essenciais.

No que se relacionam aos efeitos principais do fator salinidade do solo, pode-se considerar que, tais resultados, são condizentes com as informações de Lima (2014), que ao avaliar cinco níveis de salinidade da água (0,9; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 dS m⁻¹) na irrigação na cultura do coqueiro, durante a fase de formação das mudas, constatou que para a produção de biomassa seca total, houve influência significativa dos efeitos da salinidade da água de irrigação, sendo verificado comportamento linear decrescente.

Marinho *et al.* (2005b) também constataram que a salinidade da água de irrigação (2,2; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 dS m⁻¹) afetou significativamente a produção de biomassa, reduzindo-a linearmente aos 120 dias após o transplante, durante o crescimento inicial de plantas de coqueiro, cultivar “Anão Verde”.

Segundo Gomes e Prado (2010), no coqueiro, como respostas de curto prazo ao estresse por escassez hídrica averiguam-se reduções na condutância estomática. Para os autores, tais ocorrências, muitas vezes, prejudicam a fotossíntese e a transpiração, acarretando, dentre as suas indesejáveis consequências, reduções na expansão foliar, na acumulação de biomassa, bem como mudanças nos padrões de partição de biomassa entre as diferentes partes constituintes do vegetal.

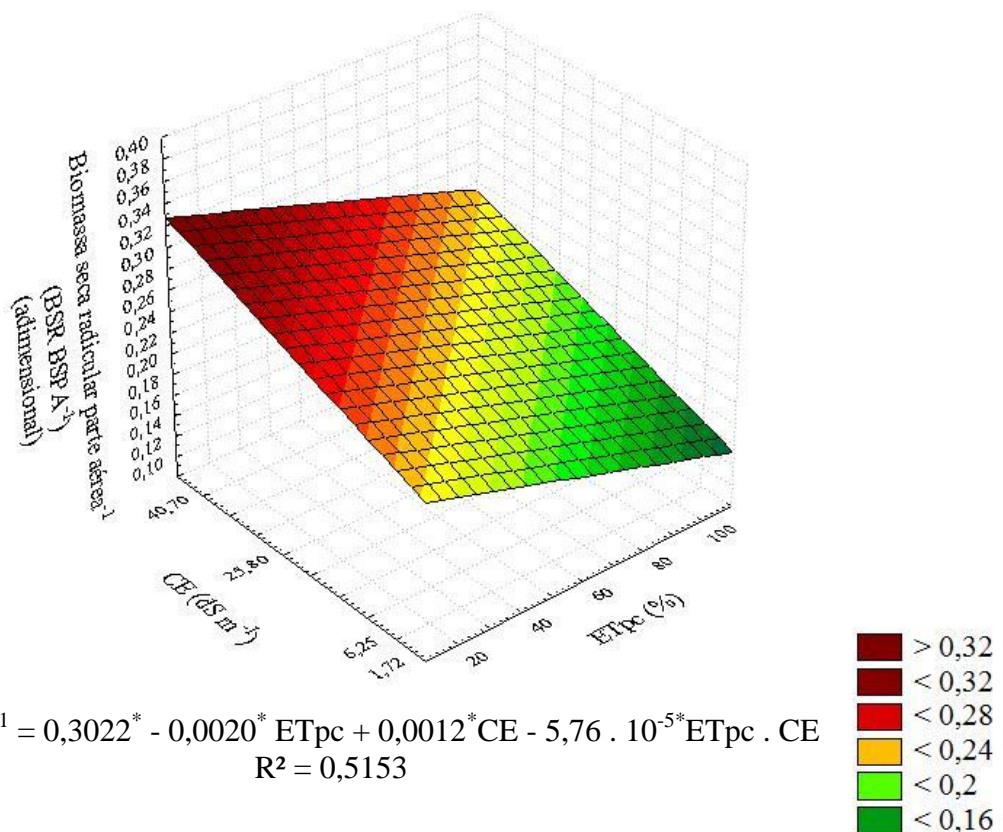
As respostas para a produção de biomassa seca total da cultura do coqueiro diante das condições interativas dos estresses abióticos salinidade e deficiência hídrica demonstram a sensibilidade da cultura a estes estressores e ratificam a hipótese proposta por Syvertsen e Garcia-Sanchez (2014), de que as respostas das plantas aos estresses simultâneos podem ter o efeito de aumentar a susceptibilidade à salinidade e/ou à própria deficiência hídrica. Para autores como Munns (2002) e Chaves, Flexas e Pinheiro (2009), a seca e a salinidade são frequentemente considerados como fatores de estresse aditivos para as plantas.

Esta inferência é condizente, e melhor justificada apoiando-se nas induções de Srivastava e Singh (2009), que reportam que a restrita disponibilidade hídrica, em solo salino agrava a toxicidade aos sais, o que pode restringir fortemente a aquisição de água do solo e, portanto, a capacidade de resistência das plantas ao estresse hídrico.

Adiciona-se, ainda, que reduções no crescimento e/ou na produção de biomassa também podem relacionar-se a uma acumulação gradual de níveis tóxicos dos íons Cl^- e Na^+ nas folhas. Neste órgão, os sais podem se concentrar no apoplasto e desidratar as células, podendo, ainda, serem acumulados no citoplasma e nos cloroplastos, inibindo a atividade de enzimas envolvidas nos processos fotossintéticos, comprometendo, diretamente, o metabolismo de carboidratos. Em suma, essas alterações irão refletir diretamente na produção de biomassa pela espécie (MUNNS; TESTER, 2008).

Na Figura 25 apresenta-se a superfície de resposta e o respectivo modelo matemático ajustado para a variável razão de biomassa seca radicular e parte aérea (BSR BSPA⁻¹) em função dos níveis dos fatores ETpc e CE avaliados.

Figura 25 - Superfície de resposta para a razão biomassa seca radicular parte aérea⁻¹ - BSR BSPA⁻¹ (adimensional) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(**), significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados da referida variável propôs decréscimos e acréscimos lineares de aproximadamente 0,0020 e 0,0012 unidades para cada

incremento unitário em ETpc e em CE, respectivamente; e na associação ETpc x CE estimaram-se também decréscimos de $- 5,76 \cdot 10^{-5}$ unidades, para cada respectivo incremento simultâneo entre os níveis dos fatores em estudo (Figura 25).

Estimaram-se, conforme a Figura 25, que o maior dos valores (0,3711) foi obtido através da associação entre 60% da ETpc e CE = 25,8 dS m⁻¹. Em contrapartida, o menor dos valores (0,1118), inferior em aproximadamente 70%, foi obtido sob condições ideais de suprimento hídrico (100% da ETpc), no menor nível de salinidade avaliado (1,72 dS m⁻¹).

Estes resultados corroboram com as inferências de Reis *et al.* (2006), ao mencionarem que a relação raiz parte aérea⁻¹ pode aumentar com a elevação da deficiência hídrica, tendo em vista que se espera que as plantas apresentem sistema radicular proporcionalmente mais desenvolvido que a parte aérea quando cultivadas sob acentuada escassez de água. Desta forma, de acordo com o modelo matemático estimado, o favorecimento hídrico, representado pelo incremento em ETpc tende a reduzir o valor da razão biomassa seca radicular parte aérea⁻¹ (Figura 25).

Adicionalmente, Scaloni *et al.* (2011) advertem que em condição de déficit hídrico, o crescimento radicular é priorizado, o que é reflexo da maior alocação de fotoassimilados para as raízes, no intuito de favorecer a absorção de água e de minimizar sua perda por transpiração, sendo a maior razão entre raiz e parte aérea, uma importante característica capaz de conferir às plantas uma maior capacidade de sobrevivência sob estresse hídrico.

De forma contrária ao comportamento da variável em questão para o fator deficiência hídrica, a razão biomassa seca radicular parte aérea⁻¹ das plantas foi positivamente relacionada com os níveis de salinidade do solo, evidenciando uma provável alteração na alocação da biomassa seca em favor das raízes, em detrimento à parte aérea, diante dos crescentes níveis de CE.

Estas respostas podem ser ratificadas, considerando-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se decréscimos na razão biomassa seca raiz parte aérea⁻¹ de 0,35; 0,32; 0,17; 0,11% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se acréscimos de 5,21; 3,88; 0,55; 0,25 e de $9,21 \times 10^{-2}$ % por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc (Figura 25).

Cruz *et al.* (2003) discorrem que a relevância da manutenção de uma maior relação raiz parte aérea⁻¹ em plantas cultivadas sob condições salinas tem sido motivo de

contestações na literatura. Para alguns autores, um maior investimento em biomassa no sistema radicular pode beneficiar o crescimento das plantas, haja vista a possibilidade que esta estratégia detém de conferir às plantas a capacidade de explorar um maior volume de solo, possibilitando o acesso à água e aos elementos minerais essenciais. Isso é particularmente importante em solos que apresentam limitada capacidade de fornecimento de nutrientes, a exemplo, em solos com elevada concentração salina (SOUSA *et al.*, 2009).

Sob condições adversas de salinidade no solo, no entanto, maior crescimento radicular, ao mesmo tempo, pode induzir uma maior absorção de íons Na^+ e Cl^- , chegando a alcançar até mesmo níveis tóxicos às espécies vegetais, aliado ao fato que seu consequente carregamento para a parte aérea, pode comprometer o crescimento de todos os demais órgãos constituintes da planta (COELHO *et al.*, 2014).

Quanto à ação simultânea dos fatores em estudo, denota-se aumento na relação biomassa seca raiz parte aérea⁻¹ na proporção em que se elevaram os níveis de salinidade do solo. Contrariamente, com os maiores percentuais de reposição das perdas de água via evapotranspiração, a relação foi reduzida mesmo em baixa concentração salina, sendo esse efeito majorado à medida que o conteúdo de sais no solo foi elevado, o que ratifica o antagonismo entre os fatores em estudo sobre a expressão das respostas da variável em questão (Figura 25).

3.3 Tolerância à salinidade

Na Tabela 7, apresenta-se a redução relativa da produção de biomassa seca total – RP, expressa em percentagem, e a classificação quanto à tolerância à salinidade de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de níveis de salinidade do solo, segundo Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010).

Tabela 7 – Redução da produção de biomassa seca total - RP (%) e classificação quanto à tolerância a salinidade de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE), aos 120 dias após o transplantio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

Deficiência hídrica (% ETpc)	Salinidade do solo (dS m ⁻¹)				Médias
	1,72	6,25	25,80	40,70	
20	41 (MS)	48 (MS)	50 (MS)	54 (MS)	48 (MS)
40	37 (MT)	39 (MT)	42 (MS)	43 (MS)	40 (MT)
60	5 (T)	38 (MT)	40 (MT)	31 (MT)	29 (MT)
80	0 (T)	8 (T)	43 (MS)	34 (MT)	21 (MT)
100	Controle	3 (T)	54 (MS)	57 (MS)	38 (MT)
Médias	21 (MT)	27 (MT)	46 (MS)	44 (MS)	35 (MT)

¹Classificação de tolerância à salinidade segundo Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010): (T) = Tolerante, (MT) = Moderadamente tolerante, (MS) = Moderadamente suscetível, (S) = Suscetível.

De acordo com os resultados obtidos, infere-se que, em termos gerais, as plantas jovens de coqueiro se mostraram moderadamente tolerantes aos efeitos decorrentes da salinidade na produção de biomassa seca total, com redução percentual de média de 35%, quando comparada a associação de tratamentos convencionada controle (100% ETpc; 1,72 dS m⁻¹). No entanto, as análises dos valores pontuais obtidos na redução de biomassa seca total nas diversas combinações de tratamentos avaliadas permitem constatar que, do total, em 25% das interações entre os tratamentos as mudas de coqueiro foram classificadas como tolerantes à salinidade, 30% como moderadamente tolerantes e 45% como moderadamente suscetíveis.

Da Tabela 7 é possível constatar, ainda, que o grau de estresse hídrico é capaz de acentuar a suscetibilidade à salinidade, tendo em vista que ao se comparar os valores de redução da produção que determinam a classificação da tolerância à salinidade com os extremos de deficiência hídrica (20% da ETpc e Controle: 100% da ETpc), averigua-se que as plantas cultivadas no nível mais severo de deficiência hídrica (20%) da ETpc, expuseram uma moderada suscetibilidade à salinidade, com reduções nas produções de biomassas secas totais situadas entre 41 e 60%, independente do nível de salinidade do solo. Já sob condições ideais de suprimento hídrico (100% da ETpc), as plantas só passaram a demonstrar esta moderada suscetibilidade à salinidade a partir do nível de condutividade elétrica equivalente a 25,80 dS m⁻¹.

De forma análoga, a interação entre os níveis dos tratamentos deficiência hídrica e salinidade que culminaram em tolerância à salinidade, coincidiram, justamente, com os menores níveis de salinidade do solo (1,72; 6,25 dS m⁻¹) associados ao atendimento de no mínimo 60% das necessidades hídricas da cultura.

Por outro lado, as plantas jovens de coqueiro mostram moderada tolerância à salinidade no nível de condutividade elétrica de $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, quando as necessidades hídricas (% ET_{pc}) foram atendidas parcialmente, com valores situados entre 60 e 80%, ao passo que o atendimento pleno das necessidades hídricas (100% da ET_{pc}), já qualifica a espécie como moderadamente suscetível ao excesso de sais.

Lima (2014) constatou que o coqueiro classificou-se como tolerante à salinidade da água de irrigação até o valor de condutividade elétrica equivalente a 5 dS m^{-1} , ao passo que em 10 dS m^{-1} , a cultura exibiu reduções percentuais na produção de matéria seca total que a qualificam como moderadamente tolerante. Tais diferenças, quando comparadas aos presentes resultados, podem ser atribuídas ao fato da salinidade imposta às plantas pelo aludido autor ser inerente à água de irrigação, ao passo que, no presente ensaio, a salinidade intrínseca ao próprio solo, pode ter acentuado os efeitos adversos que esse estresse abiótico confere às espécies vegetais, acarretando, como resposta, maiores restrições à produção de biomassa seca total.

4 CONCLUSÕES

A produção de biomassa das plantas jovens de coqueiro é acentuadamente reduzida pelas condições de restrição hídrica e de elevada salinidade do solo, sendo aparentemente mais crítica à cultura a condição de restrição hídrica.

Os fatores de estresse deficiência hídrica e salinidade do solo interagem sinergicamente, reduzindo a área foliar e a produção de biomassa no coqueiro.

O grau de estresse hídrico é capaz de acentuar a suscetibilidade à salinidade e as plantas de coqueiro qualificam-se, em termos gerais, como moderadamente tolerantes aos efeitos decorrentes da salinidade quando combinados com a deficiência hídrica.

As plantas de coqueiro mostram potencial de estabelecimento nos solos com o nível de condutividade elétrica de até $6,50 \text{ dS m}^{-1}$, porém apenas quando o suprimento hídrico se mantém adequado.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. DE J. N.; VIANA, T. V. de A.; AGUIAR, J. V. de; LIMA, J. B. de; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R. R.; AQUINO, F. C. de; BARRETO JÚNIOR, J. H. C. **Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2002**. Fortaleza: Embrapa Tropical, 2003.19 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos 75).
- ARAÚJO, W. L. de; SOUSA, J. R. M. de; SOUSA JUNIOR, J. R. de; SILVA, S. S. da; ALEIXO, D. de L.; PEREIRA, E. B. Produção de mudas de maracujazeiro-amarelo irrigadas com água salina. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, n.4, p 15-19, 2013.
- ÁVILA, MARIZANGELA RIZZATTI; BRACCINI, ALESSANDRO DE LUCCA E; SCAPIM, CARLOS ALBERTO; FAGLIARI, JÚLIO ROBERTO; SANTOS, JOSELITO LINS dos. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 29, n.1, p.98-106, 2007.
- AZEVEDO NETO, A. D. de; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte 1 - análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.159-164, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- CARMO, G. A.; MEDEIROS, J. F.; TAVARES, J. C.; GHEYI, H.R.; SOUZA, A. M.; PALÁCIO, E. A. Q. Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.513-518, 2003.
- CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551-560, 2009.
- COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; MENDES, A. M. S.; DANTAS, B. F.; RODRIGUES, J. A. S.; SOUZA, M. A. de. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.25-30, 2014.
- COSTA, G. F. da; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n.2, p. 229 – 234, 2007.
- COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N. de; 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.
- CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F.; DIAS, A. T.; PAES, R. A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 528-531, 2003.

ECHER, F. R.; CUSTÓDIO, C. C.; HOSSOMI, S. T.; DOMINATO, J. C.; MACHADO NETO, N. B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 638-645, 2010.

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

ESTEVES, B. dos S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 662 - 679, 2008.

EVANGELISTA, A. W. P.; PEREIRA, G. M. Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da demanda evaporativa do ar (ET) no interior de casa-de-vegetação, em Lavras – MG. **Ciência agrotécnica**, v. 27, n.6, p.1348-1353, 2003.

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.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010, cap. 13, p.205-218.

FARIAS, C. H. DE A.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. de; COSTA, M. da C.; NASCIMENTO, I. B. do; SILVA, M. C. de C. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.445-450, 2003.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, 2007.

FERREIRA NETO, MIGUEL; GHEYI, HANS R.; HOLANDA, JOSÉ S. de; MEDEIROS, JOSÉ F. de; FERNANDES, PEDRO D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.69-75, 2002.

FONTES, H.R.; CINTRA, F.L.D.; CARVALHO FILHO, O.M. de. Implantação e manejo da cultura do coqueiro. *In*: FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. (Ed.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, - SPI, 1998, cap. 5, p. 99 - 128.

FREITAS, V. S.; MARQUES, E. C.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e acúmulo de íons em plantas de cajueiro anão precoce em diferentes tempos de exposição à salinidade. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3341-3351, 2013.

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.

GOMES, F. P.; OLIVA, M. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; AQUINO, L. A. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, s.n, p. 379 – 384, 2010.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, 2007.

GOMES, F.P.; PRADO, C.H.B.A. Coconut palm: ecophysiology under water deficit conditions *In*: Damatta, F.M. (Ed.). **Ecophysiology of Tropical Tree Crops**, Nova Science Publishers: New York p. 151 – 179, 2010.

GRACIANO, E. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, D. R. M.; PACHECO, C. M.; SANTOS, R. C. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 794 - 800, 2011.

GUIMARÃES, I. P.; OLIVEIRA, F. N.; VIEIRA, F. E. R.; TORRES, S. B. Efeito da salinidade da água de irrigação na emergência e crescimento inicial de plântulas de mulungu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 137 - 142, 2013.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados climáticos – Fortaleza**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 14 Jun. 2014.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trikler irrigation desing**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 182 p.

LEITE, I. R. do M.; ENCARNAÇÃO, C. R. F. da. Fenologia do coqueiro na zona costeira de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.745-752, 2002.

LIMA, B. L. de C. **Respostas fisiológicas e morfométricas na produção de mudas de coqueiro anão irrigado com água salina**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MARINHO, F. J. L.; FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; VIANA, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocos nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.359-364, 2005 a.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.334-340, 2005 b.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA NETO, M. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.370-374, 2005 c.

MESQUITA, F. de O.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; REBEQUI, A. M.; LIMA NETO, A. J. de; NUNES, J. C. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo submetidas à salinidade em solo com biofertilizante bovino. **Ciencia Del Suelo**, v. 30, n.1, p. 31- 41, 2012 a.

- MESQUITA, F. O. REBEQUI, A. M. CAVALCANTI, L. F. SOUTO, A. G. L. Crescimento absoluto e relativo de mudas de maracujazeiro sob biofertilizante e águas salinas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n.1, 2012 b.
- MIRANDA, F. R. de; GOMES, A. R. M.; OLIVEIRA, C. H. C. de; MONTENEGRO, A. A. T.; BEZERRA, F. M. L. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.2, p.129-135, 2007.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.
- NASCIMENTO, H. H. C. do; Nogueira, R. J. M. C.; SILVA, E. C. da; SILVA, M. A. da. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.617-626, 2011.
- OLIVEIRA, F. de A. de; CARRILHO, M. J. S. de O.; MEDEIROS, J. F. de; MARACAJÁ, P. B.; OLIVEIRA, M. K. T. de. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.771-777, 2011.
- OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. R. A. de; FREIRE, A. G.; SOARES, L. C. da S. Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.2, 2012.
- PEÇANHA, A. L. **Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.
- PORDEUS, R. V.; AZEVEDO, C. A. V. de; SILVA, S. S. da; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. Influência da irrigação e cobertura do solo nas variáveis de desenvolvimento inicial do coqueiro anão verde. **Centro Científico Conhecer**, p. 1.067 – 1.081, v.8, n.15, 2012.
- QUEIROGA, R.C.; ANDRADE NETO, R.C.; NUNES, G.H.S.; MEDEIROS, J.F., ARAÚJO, W.B.M. Germinação e crescimento inicial de híbridos de meloeiro em função da salinidade. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.3, p.315-319, 2006.
- REIS, GERALDO GONÇALVES dos; REIS, MARIA das GRAÇAS FERREIRA; FONTAN, IVAN da COSTA ILHÉU; MONTE, MARCO ANTONIO; GOMES, ANTÔNIO NASCIMENTO; OLIVEIRA, CARLOS HENRIQUE RODRIGUES de. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v.30, n.6, p.921-931, 2006.
- RIBEIRO, A. de A.; SEABRA FILHO, M.; MOREIRA, F. J. C.; SOUZA, M. C. M. R. de; MENEZES, A. S. Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo irrigado com água salina em

dois substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 133 - 142, 2013.

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, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2010. p. 9 – 19.

SANTOS, C. G. da F. **Influência da irrigação e cobertura do solo no crescimento e desenvolvimento inicial do coqueiro anão verde**. 2007. 63 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.836–842, 2012.

SCALON, S. de P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. de M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R. de; PIAUILINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p. 15 63 - 1578, 2012.

SILVA JÚNIOR, C. D. da; PASSOS, E. E. M.; GHEYI, H. R. Aplicação de água salina no desenvolvimento e comportamento fisiológico do coqueiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.39-44, 2002.

SILVA JUNIOR, G. de S. E; MORAIS, M. B. de; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. Crescimento de genótipos diplóides de bananeira submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1145–1151, 2012.

SILVA, M. G.; AMORIM, S. M. C. de. Estresse salino em plantas de *Spondias tuberosa* Arruda (Câmara) colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 91-96, 2009.

SILVA, R. L. de O.; MARTINS, L. S. S.; GOMES, E. W. F.; FERRAZ, G. de M. G.; SILVA, S. de O. E.; WILLADINO, L. Avaliação de diplóides de bananeira (*Musa spp.*) quanto à tolerância a salinidade. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 4, p.1084 1091, 2009.

SILVA; G. O.; JERÔNIMO, C. E. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Revista Monografias Ambientais**, v. 10, n. 10, p. 2193 – 2208, 2012.

SILVEIRA, J. A. G.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A.. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *In*: GHEYI, H.R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 1a. ed. Campina Grande: INCTSal, 2010, v., p. 161-180.

SLAMA, I.; GHNAYA, T.; SAVOURÉ, A.; ABDELLY, C. Combined effects of long term salinity and soil drying on growth, water relations, nutrient status and proline accumulation of *Sesuvium portulacastrum*. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, s.n, p.442 - 451, 2008.

SOUSA, MARLIANA ARAÚJO de; LIMA, MARIA DOLORES BARBOSA; SIMON, GUSTAVO ANDRÉ; ANDRADE, JOSÉ WÉSELLI de SÁ. Efeito do estresse hídrico na densidade do comprimento radicular em estádios de desenvolvimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2009.

SOUZA, E. R. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do; MONTENEGRO, A. A. de A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. de. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.477-483, 2011.

SRIVASTAVA, A.K., SINGH, S., Citrus decline: soil fertility and plant nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, n.1, p. 197-245, 2009.

SYVERTSENA, J.P.; GARCIA-SANCHEZBA, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, n.1, p. 128 – 137, 2014.

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

TEIXEIRA, Z. A.; QUESADO JÚNIOR, N.; O., G. N. D. de; SUCUPIRA, P. A. P.; OLIVEIRA FILHO, R. L. **Relatório de Monitoramento do Perímetro Irrigado de Morada Nova – PIMN**. Fortaleza: COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2008. 15 p.

CAPÍTULO 3

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE PLANTAS JOVENS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA, EM SOLOS AFETADOS POR SAIS

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar aspectos fisiológicos que podem influenciar a habilidade das plantas jovens de coqueiro em adaptarem-se às diferentes condições de déficit hídrico e/ou de salinidade do solo, durante seu estágio inicial de crescimento. O estudo foi realizado sob condições controladas e avaliaram-se as trocas gasosas foliares, o rendimento quântico da fluorescência da clorofila a, os teores relativos de clorofila total (índice Spad), os teores totais de clorofilas (a + b) e de carotenóides e o potencial hídrico foliar. O experimento foi conduzido sob delineamento estatístico de blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas por diferentes níveis de deficiência hídrica - D, mediante a imposição de cinco distintos percentuais de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial da cultura - ETpc (D1 = 100% da ETpc; D2 = 80% da ETpc; D3 = 60% da ETpc; D4 = 40% da ETpc e D5 = 20% da ETpc), e as subparcelas constituídas pelos crescentes níveis de salinidade do solo - S (S1 = 1,72 dS m⁻¹; S2 = 6,25 dS m⁻¹; S3 = 25,80 dS m⁻¹ e S4 = 40,70 dS m⁻¹). Foram utilizadas seis repetições, com uma planta por vaso e um total de cento e vinte unidades experimentais. Os mecanismos fisiológicos são efetivamente limitados quando a deficiência hídrica e a salinidade atuam isoladamente e/ou em conjunto. Os efeitos do estresse hídrico se mostram mais efetivos nas reduções dos parâmetros fisiológicos, em detrimento à salinidade do solo. As magnitudes das respostas das plantas ao suprimento hídrico e à salinidade dependem da intensidade do estresse e das épocas de avaliação. As respostas fisiológicas adaptativas das plantas estão relacionadas, principalmente, à regulação estomática. O coqueiro apresenta uma série de mecanismos de ajustes fisiológicos que conferem à espécie uma parcial tolerância ao estresse hídrico e/ou salino, tornando-a capaz de revegetar áreas salinizadas, desde que as necessidades hídricas sejam ao menos parcialmente atendidas.

Palavras-chave: *Cocos nucifera* L. Tolerância. Estresses hídrico e salino. Fisiologia.

CHAPTER 3

PHYSIOLOGICAL OF COCONUT YOUNG PLANTS ANSWERS "GREEN DWARF" UNDER WATER STRESS IN SOIL AFFECTED BY SAIS

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate physiological aspects that may influence the ability of young plants in coconut adapt to different conditions of drought and / or soil salinity, during its initial stage of growth. The study was performed under controlled conditions and evaluated the leaf gas exchange, the quantum yield of fluorescence of chlorophyll, on the levels of total chlorophyll (SPAD), the total chlorophyll content (a + b), and carotenoids, and the leaf water potential. The experiment was conducted under experimental design of randomized blocks in a split plot arrangement, with portions consist of different levels of water stress - D, by imposing five percentage distinct replacement of water losses by potential crop evapotranspiration - ET_{pc} (D1 = 100% of ET_{pc}; D2 = 80% of ET_{pc}; D3 = 60% of ET_{pc}; = 40% of D4 and D5 ET_{pc} of ET_{pc} = 20%), and the split formed by growing soil salinity levels - S (S1 = 1.72 dS m⁻¹; S2 = 6.25 dS m⁻¹; S3 = 25.80 dS m⁻¹ and S4 = 40.70 dS m⁻¹). Six replicates, with one plant per pot and a total of one hundred and twenty treatments were used. The physiological mechanisms are effectively limited when water stress and salinity act separately and / or together. The effects of water stress are more effective in the reduction of physiological parameters, to the detriment soil salinity. The magnitudes of the responses of plants to water supply and salinity depend on the intensity of stress and evaluation periods. Adaptive physiological responses of plants are related mainly to stomatal regulation. The coconut has a number of physiological adjustments mechanisms that give the species a partial tolerance to drought stress and / or salt, making it able to revegetate salinity areas, where the water needs to be at least partially met.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Tolerance. Water and salt stress. Physiology.

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo com uma necessidade sempre crescente de alimentos, fibras e energia de origem vegetal, vastas áreas são inadequadas à agricultura por apresentarem condições ambientais desfavoráveis às plantas, como períodos de déficit hídrico do solo e da atmosfera, bem como alta salinidade no solo (RAMEGOWDA; KUMAR, 2015).

O crescimento das plantas é resultado de processos fisiológicos regulados e integrados. Sabe-se que em condições de déficit hídrico e/ou estresse salino as culturas sofrem diversos distúrbios fisiológicos, que levam à redução no crescimento e, conseqüentemente, decréscimos em seus rendimentos agrônômicos (PARIDA; DAS, 2005).

Uma maneira de transformar as áreas estéreis pela salinidade natural ou artificial, provocadas pelo manejo inadequado dos recursos solos e águas, em áreas de uso agrícola, poderia ser a utilização de plantas tolerantes às altas concentrações de sais no solo (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

O cultivo do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) se dá principalmente nas áreas costeiras de praias, onde predominam os “Neossolos Quartzarênicos”, de texturas arenosas, geralmente caracterizadas por deterem fertilidade baixa e/ou elevada salinidade. No estado do Ceará, nos Perímetros de Irrigação Morada Nova e Curu - Pentecoste, comumente cultiva-se a espécie em “Neossolos Flúvicos”, os quais apresentam as mais variadas classes texturais, bem como os mais diversificados graus de salinidade e/ou de sodicidade, sobretudo, em decorrência do inadequado manejo dos sistemas de irrigação e de drenagem natural e/ou artificial. Mesmo assim, a cocoicultura mostra-se uma atividade importante no Brasil e tem crescido expressivamente nos últimos anos, não só na América Latina, mas em várias partes do mundo (MOURA *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2011).

Neste sentido, supõe-se que as plantas de coqueiro podem crescer em ambientes salinos, por desenvolverem uma série de mecanismos fisiológicos adaptativos, o que aliado ao seu potencial econômico como planta cultivada, permite indicar tal espécie como promissora para fins de reabilitação de solos afetados por sais no nordeste brasileiro (FERREIRA NETO *et al.*, 2007; LIMA, 2014; MARINHO *et al.*, 2005a; 2005b; 2005c; MARINHO *et al.*, 2006).

Na avaliação das diferentes respostas das espécies vegetais de importância agrícola, aos efeitos isolados e/ou combinados da deficiência hídrica e da salinidade, estudos relacionados às trocas gasosas foliares (ÁLVAREZ *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014), à fluorescência da clorofila (AZEVEDO NETO *et al.*, 2011; CRUZ *et al.*, 2009), aos teores relativos de clorofila total e de carotenóides (JESUS; MARENCO, 2008; TORRES NETO *et*

al., 2005), e ao potencial hídrico foliar (BENZARTI *et al.*, 2014; FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015) têm se mostrado bem sucedidos.

Acredita-se ser possível identificar, mediante estas características supracitadas, se determinada espécie vegetal apresenta tolerância e/ou capacidade de desenvolvimento diante destas condições adversas, mediante a indução de mecanismos fisiológicos para combater essas condições desfavoráveis que são inerentes às áreas afetadas por saís no nordeste brasileiro (SILVA *et al.*, 2014).

Para o coqueiro, embora existam registros de pesquisas que avaliaram fisiologicamente os efeitos isolados da deficiência hídrica (GOMES *et al.*, 2008; GOMES *et al.*, 2010) e da salinidade, inerente à qualidade da água de irrigação (LIMA, 2014; MARINHO *et al.*, 2005a, 2005b, 2005c), não há relatos sobre a influência mútua desses agentes estressantes para a espécie, sendo escassas também informações sobre sua fisiologia, diante da influência recíproca de múltiplos estresses abióticos.

Chaves, Flexas e Pinheiro (2009) sugerem que as respostas fisiológicas observadas nas espécies sob uma combinação de agentes estressantes (por exemplo, seca e salinidade) são únicas e não podem ser extrapoladas a partir das respostas apresentadas pelas plantas frente à atuação do fator de estresse atuando isoladamente.

Desta forma, objetivou-se com este trabalho proceder à avaliação de aspectos fisiológicos que, direta ou indiretamente, podem influenciar a habilidade das plantas jovens de coqueiro em adaptarem-se às diferentes condições de déficit hídrico e/ou de salinidade do solo, durante seu estágio inicial de crescimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Vide capítulo 1.

2.2 Estrutura física experimental

Vide capítulo 1.

2.3 Material vegetal

Vide capítulo 1.

2.4 Composições dos tratamentos e delineamento experimental

Vide capítulo 1.

2.5 Instalação e condução do experimento

Vide capítulo 1.

2.6 Sistema e manejo da irrigação

Vide capítulo 1.

2.7 Tratos culturais e controle fitossanitário

Vide capítulo 1.

2.8 Variáveis analisadas

2.8.1 Trocas gasosas foliares: condutância estomática, transpiração, fotossíntese, eficiência instantânea e intrínseca de uso da água

Foram realizadas medições de condutância estomática (gs), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A) em folhas totalmente expandidas, aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio das mudas - DAT, utilizando-se analisador de gases infravermelho portátil - IRGA (LCpro, ADC, Hoddesdon, UK).

As medições foram realizadas sempre no período da manhã, entre 8:00 e 11:00 h, preservando as condições de temperatura e de umidade relativa do ar incidentes no interior da casa de vegetação. A intensidade luminosa utilizada nas medições foi constante e de $1.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo fornecida através de uma fonte de luz artificial, acoplada ao IRGA, onde, aos 30 DAT utilizou-se como padrão de avaliação a primeira folha totalmente expandida contada a partir do ápice, ao passo que nas demais épocas de avaliação (60, 90 e 120 DAT), escolheram-se a segunda folha totalmente expandida também referenciada a partir do ápice (Figura 1).

Figura 1 – Avaliação das trocas gasosas foliares. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



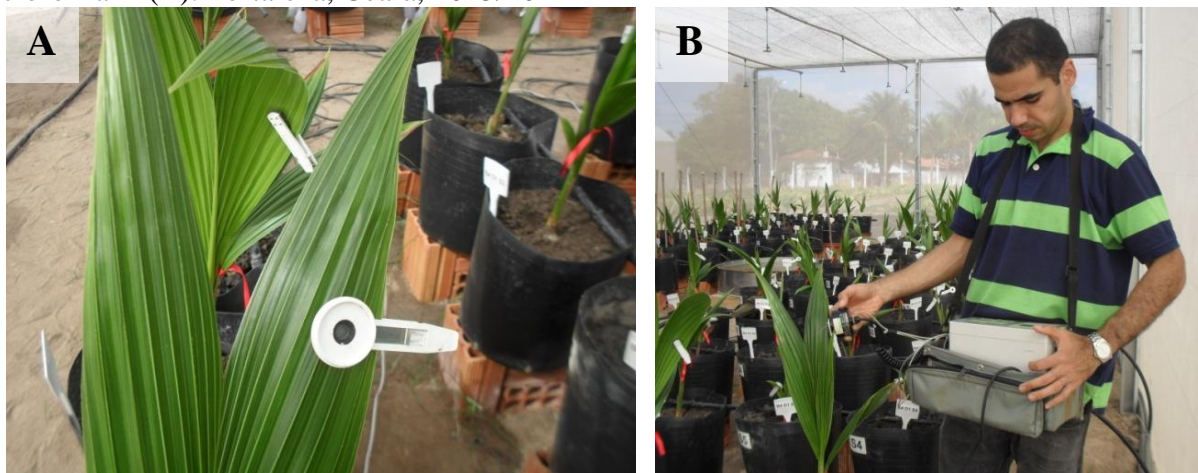
Com os dados de trocas gasosas foram determinadas a eficiência instantânea de uso da água, calculada pela razão entre fotossíntese e transpiração ($A E^{-1}$), e a eficiência intrínseca de uso da água, calculada pela razão entre fotossíntese e condutância estomática ($A g_s^{-1}$).

As avaliações das referidas variáveis foram realizadas em apenas quatro, das seis unidades experimentais.

2.8.2 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila a ($F_v F_m^{-1}$)

As avaliações da emissão de fluorescência da clorofila a das folhas das plantas de coqueiro foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplante, nas seis unidades experimentais, com o auxílio de fluorômetro portátil de luz modulada (PEA, HANDSATECH, Lynn King, Reino Unido) (Figura 2).

Figura 2 – Adaptação das folhas ao escuro (A) e aferição dos parâmetros de fluorescência da clorofila A (B). Fortaleza, Ceará, 2013/2014



As áreas das folhas a serem avaliadas foram mantidas no escuro por um período de 30 minutos para completa oxidação dos componentes do sistema de transporte de elétrons, seguida de irradiação com uma densidade de fluxo de fótons de $3.000 \mu\text{mol fótons m}^2 \text{s}^{-1}$ por 5 segundos, sendo os seguintes parâmetros foram determinados: fluorescência máxima (F_m) e fluorescência variável (F_v), o que possibilitou estimar o rendimento quântico da fluorescência da clorofila a ($F_v F_m^{-1}$).

As avaliações aconteceram nas mesmas épocas daquelas de trocas gasosas foliares, contudo em outro horário, sempre entre 11:00 e 13:00 h, o qual foi selecionado por ser o mais crítico na região, no que diz respeito à temperatura e à incidência da radiação solar.

Aos 30 DAT utilizou-se como padrão de avaliação a primeira folha totalmente expandida contada a partir do ápice, ao passo que nas demais épocas de avaliação (60, 90 e 120 DAT), escolheram-se a segunda folha totalmente expandida também referenciada a partir do ápice.

2.8.3 Teores relativos de clorofila total: índice Spad

Os teores relativos de clorofila total (índice SPAD) foram determinados nas seis unidades experimentais aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplante, com o auxílio de um medidor portátil (SPAD 502, Minolta Co, Ltd, Osaka, Japan), sendo os resultados expressos em unidades de leitura do aparelho (unidades SPAD), conforme exposto na Figura 3.

Figura 3 – Aferição dos teores relativos de clorofila total através do índice Spad. Fortaleza, Ceará, 2013/2014



Aos 30 DAT utilizou-se como padrão de avaliação a primeira folha totalmente expandida contada a partir do ápice, ao passo que nas demais épocas de avaliação (60, 90 e 120 DAT), escolheram-se a segunda folha totalmente expandida também referenciada a partir do ápice.

2.8.4 Teores totais de clorofilas (a+b) e de carotenóides

Para a determinação dos pigmentos foliares, aos 121 dias após o transplante, foram retirados dois discos foliares de 5 mm de diâmetro, a partir da terceira folha contada a partir da base, em apenas quatro, das seis unidades experimentais.

Os discos foliares foram incubados em 5 mL de solução de dimetilsufóxido (DMSO), por um período de quarenta e oito horas em solução saturada com carbonato de cálcio (CaCO_3), em vidros emerticamente fechados e revestidos com papel alumínio, com o objetivo de proteger contra a luz. Após o período de incubação, determinou-se a absorbância das amostras, utilizando cubeta de quartzo de 10 mm de caminho ótico, em espectrofotômetro. As leituras foram realizadas em 663, 645 e 470 nm e as equações para os cálculos dos teores totais de clorofilas e de carotenóides foram baseadas na metodologia descrita por Wellburn (1994).

2.8.5 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi determinado antes do nascer do sol (“predawn”) ao término do experimento (121 DAT), utilizando-se uma bomba de pressão do tipo Scholander (Figura 4).

A determinação consistiu na coleta de amostras de folíolos do terço médio da segunda folha totalmente expandida referenciada a partir da base, os quais foram colocados na câmara da bomba de pressão, onde, em seguida, foi aplicada pressão até ocorrer à exsudação pelo corte feito no pecíolo do folíolo, para a leitura da pressão aplicada (TURNER, 1981).

A avaliação da referida variável foi realizada em apenas quatro, das seis unidades experimentais.

Figura 4 – Aferição do potencial hídrico foliar. Fortaleza, Ceará, 2014



2.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas variáveis trocas gasosas foliares, rendimento quântico da fluorescência da clorofila a e teores relativos de clorofila total (índice Spad) foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, onde os diferentes níveis de deficiência hídrica foram analisados nas parcelas, os diferentes níveis de salinidade do solo nas subparcelas e as épocas de avaliação das referidas variáveis nas subsubparcelas.

Já os dados obtidos nos teores totais de clorofilas (a+b) e de carotenóides e no potencial hídrico foliar foram submetidos à análise de variância e analisados de acordo com os procedimentos que são comuns ao delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, onde os diferentes níveis de deficiência hídrica foram analisados nas parcelas e os diferentes níveis de salinidade do solo, nas subparcelas.

Quando denotado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nas diferentes variáveis foram analisados através de regressão. Na sequência, quando comprovado efeito significativo nas interações entre os fatores estudados, os dados foram analisados segundo os procedimentos inerentes à análise de regressão linear múltipla e foram plotadas as respectivas superfícies de respostas.

Os modelos matemáticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico em estudo. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Excel (versão 2007), ASSISTAT (versão 7.6 beta) e STATISTICA (versão 7.0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida, eficiência instantânea e intrínseca de uso da água

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 1 indicam que as variáveis de trocas gasosas foram influenciadas significativamente pelos fatores déficit hídrico, salinidade do solo e época de avaliação ($p \leq 0,01$), exceto na eficiência instantânea de uso da água ($A E^{-1}$), a qual não sofreu influência da salinidade do solo ($p \geq 0,05$). Além disso, foram constatados efeitos significativos de todas as interações duplas ($p \leq 0,01$) e da interação tripla ($p \leq 0,01$), para todas as variáveis.

Tabela 1 - Resumo das análises das variâncias para os dados de condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese (A), eficiência instantânea de uso da água ($A E^{-1}$) e eficiência intrínseca de uso da água ($A gs^{-1}$) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplante. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios				
		gs	E	A	$A E^{-1}$	$A gs^{-1}$
Blocos	3	0,00144*	0,26936**	2,47630**	0,01209 ^{ns}	67,84712 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	0,22764**	46,08957**	518,24074**	1,64294**	5.634,41432**
Resíduo – D	12	0,00037	0,03036	0,18508	0,01184	62,99614
Parcelas	19					
Salinidade do solo (S)	3	0,02094**	3,49716**	36,81467**	0,03408 ^{ns}	421,86945**
Interação S x D	12	0,00396**	0,25696**	1,12011**	0,17665**	581,81303**
Resíduo – S	45	0,00012	0,01072	0,10637	0,01782	78,52452
Subparcelas	79					
Épocas de avaliação (E)	3	0,22495**	62,41610**	907,68968**	31,93572**	9.101,99036**
Interação D x E	12	0,02007**	2,29278**	40,74256**	0,77600**	927,79658**
Interação S x E	9	0,00119**	0,04052**	2,39176**	0,22761**	257,24432**
Interação D x S x E	36	0,00024**	0,07776**	0,64452**	0,13687**	236,31398**
Resíduo – E	180	0,00010	0,00579**	0,03389	0,02414	34,45805
Total	319					
C.V. - D (%)		24,24	21,40	18,72	13,58	21,51
C.V. - S (%)		13,88	16,78	16,61	14,39	12,90
C.V. - E (%)		12,36	14,98	13,73	15,11	18,54

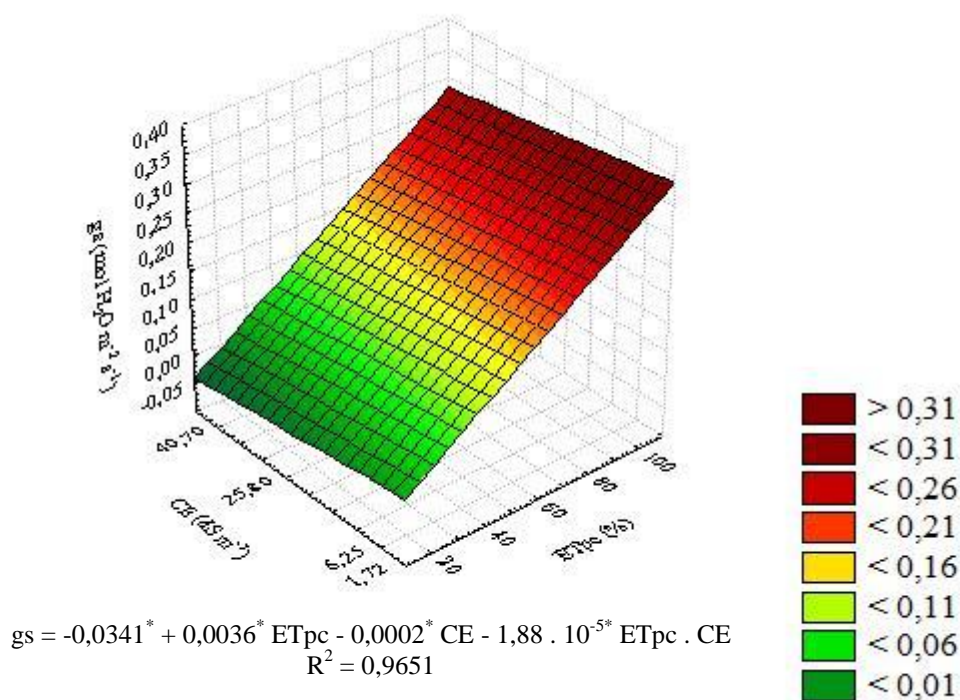
¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * : significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Esses resultados indicam que as diferenças nas variáveis relacionadas às trocas gasosas foliares entre os níveis de deficiência hídrica, não são as mesmas nos níveis de salinidade do solo, e, por outro lado, as diferenças entre os níveis de salinidade do solo dependem do nível de deficiência hídrica considerado em todas as épocas de avaliação analisadas.

Considerando a finalidade específica do estudo, independentemente de a interação déficit hídrico x salinidade do solo x épocas de avaliação ser significativa, optou-se pelo desdobramento da interação dupla déficit hídrico x salinidade do solo, haja vista que o fator épocas de avaliação possui uma importância secundária, em relação aos demais fatores em estudo, sendo este incluído para conferir uma maior consistência aos resultados.

Na Figura 5, apresenta-se a superfície de resposta associada ao respectivo modelo matemático que descreve a relação funcional entre os fatores em estudo para a variável condutância estomática em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo.

Figura 5 - Superfície de resposta para a condutância estomática (gs) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Como visualizado na Figura 5, o polinômio que melhor se ajustou aos dados para a modelagem do comportamento da variável condutância estomática, diante das variações dos níveis dos fatores em estudo foi o linear, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9651.

O favorecimento hídrico, condicionado pelo acréscimo unitário no percentual da quantidade de água disponibilizada à cultura do coqueiro, acarretou acréscimos lineares positivos na condutância estomática de aproximadamente $0,0036 \text{ mol H}_2\text{O s}^{-1}$ (Figura 5).

No que se relaciona a variação da salinidade do solo, se denotou efeitos depressivos dos níveis salinos sobre a variável, sendo cada aumento unitário de CE responsável por reduzir aproximadamente $0,0002 \text{ mol H}_2\text{O s}^{-1}$ (Figura 5).

Em contrapartida, o modelo matemático sugere que as interações entre os fatores déficit hídrico e salinidade do solo maximizam os potenciais efeitos depressivos que a salinidade exerce sobre a variável em questão, o que é evidenciado por meio do sinal negativo no parâmetro referente à interação no modelo matemático, ainda que este apresente reduzido valor para este parâmetro, o que evidencia a fraca contribuição dos efeitos do termo da interação na expressão da resposta da variável em questão (Figura 5).

Os menores valores de condutância estomática resultaram da aplicação de 20% da ETpc nos solos com salinidade equivalente a $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, ao passo que as maiores médias para a variável em questão foram obtidas com o uso combinado de 100% da ETpc com a menor das salinidades avaliadas ($1,72 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 5).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, houve acréscimos na condutância estomática de 10,34; 8,82; 7,7 e 4,54% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,24; 0,90; 0,62; 0,58 e 0,42% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente.

O fechamento estomático é uma das respostas mais rápidas e intensas que ocorrem em plantas submetidas aos agentes estressantes que comprometem seu estado hídrico, como a seca e a salinidade. Essa resposta estomática é regulada por vias de sinalização que ocorrem nas raízes, modulada pela síntese e pela distribuição do ácido abscísico (DAVIES; WILKINSON; LOVEYS, 2002). Para Gomes e Prado (2007), os estômatos do coqueiro exercem um eficiente controle das perdas de água.

Pela Figura 5, se evidencia, ainda, uma influência significativamente superior dos níveis de deficiência hídrica para a variável condutância estomática, indicando, desta forma,

que o fator deficiência hídrica foi mais limitante à abertura dos estômatos que o próprio fator salinidade do solo.

Tal inferência pode ser constatada face aos gradientes de declive das linhas, que compõem a superfície de resposta, serem mais acentuados para o fator deficiência hídrica, quando comparados aos níveis de salinidade do solo, o que leva a entender que embora o processo de abertura estomática seja influenciado conjuntamente pelos fatores estressantes estudados, o mesmo se mostra mais sensível às mudanças nos níveis de deficiência hídrica, quando comparado às mudanças nos níveis de salinidade do solo (Figura 5).

Por outro lado, o referido comportamento leva a supor que os efeitos decorrentes da salinidade do solo podem ter acentuado ainda mais o grau de estresse hídrico nos quais as plantas estavam submetidas, tendo em vista as consequências que os sais acarretam sob a capacidade de absorção de água do sistema radicular. O que é evidenciado pelas respostas exibidas pela condutância estomática, diante das combinações dos agentes de estresses deficiência hídrica e salinidade do solo.

Tais inferências podem ser justificadas apoiadas nas informações reportadas por Dias e Blanco (2010), quando advertem que, a elevação da concentração de sais na solução do solo acarreta acréscimo das forças de retenção, devido aos efeitos dos sais sob o potencial osmótico, acentuando a magnitude do problema de insuficiência de água na planta. Segundo os referidos autores, o acréscimo da pressão osmótica, movido pelo excesso de sais solúveis, é capaz de alcançar uma condição, na qual, as plantas não terão forças de sucção satisfatória para ultrapassar esse potencial osmótico e, como resultado, a planta não será capaz de absorver água, mesmo em um solo claramente úmido.

Silva Júnior, Passos e Gheyi (2002) também constataram que o déficit hídrico e o acúmulo de sais no solo proporcionaram sérias restrições quanto ao comportamento estomático em plantas de coqueiro. Estes autores advertem ainda que, mesmo em algumas espécies vegetais tolerantes à salinidade, e até mesmo naquelas classificadas como halófitas, quando os níveis salinos aos quais as mesmas são submetidas são elevados, podem-se constatar reduções da abertura estomática, induzindo a diminuição da transpiração e, conseqüentemente, da produção primária de fotossintatos.

Kusvuran (2012) afirma que a salinidade elevada exerce efeito prejudicial no processo de abertura estomática das plantas, por aumentar a resistência à difusão de CO₂. O fechamento dos estômatos pode agir como sinal para ativar múltiplas respostas ao estresse, incluindo a inibição do crescimento de plantas, o que pode ser prejudicial em termos de rendimento (RUGGIERO *et al.*, 2004). Por outro lado, o fechamento estomático evita a

ocorrência de danos aos sistemas metabólicos, ajustando-os ao déficit hídrico na planta, seja ele decorrente da escassez de água e/ou do excesso de sais (MATOS; TEIXEIRA JÚNIOR; SILVEIRA, 2003).

Os resultados aqui apresentados corroboram com as observações de Passos, Passos e Prado (2005), que reportam que sob as condições de estresse hídrico, durante a estação seca, as variedades de coqueiro “Anão” avaliadas responderam aos efeitos do estresse hídrico, reduzindo significativamente a condutância estomática.

Resultados divergentes foram obtidos por Peçanha (2007), que evidenciou que o conteúdo de água no solo não denotou qualquer efeito sobre as trocas gasosas foliares em plantas de coqueiro. No tocante aos efeitos dos níveis de salinidade do solo, considera-se que os presentes resultados corroboram com Lima (2014), que também constatou efeito significativo da salinidade da água de irrigação para a aludida variável. O que é condizente com Silva Júnior, Passos e Gheyi (2002), ao discorrerem que, o coqueiro, quando irrigado com água salina, apresenta mecanismos para evitar o estresse hídrico, através do fechamento dos estômatos, comprometendo substancialmente as trocas gasosas. Adicionalmente, Marinho *et al.* (2005c), também constataram redução na condutância estomática em plantas de coqueiro, com o incremento da salinidade da água de irrigação.

Na Figura 6, representa-se na forma de gráfico de superfície de resposta, com seu referente modelo matemático, o comportamento da variável transpiração em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo.

O desdobramento dos efeitos das associações entre os tratamentos para a variável transpiração por meio da análise de regressão polinomial evidenciou efeito linear para os níveis de déficit hídrico e de salinidade do solo, bem como na interação entre os referidos fatores, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9925 (Figura 6).

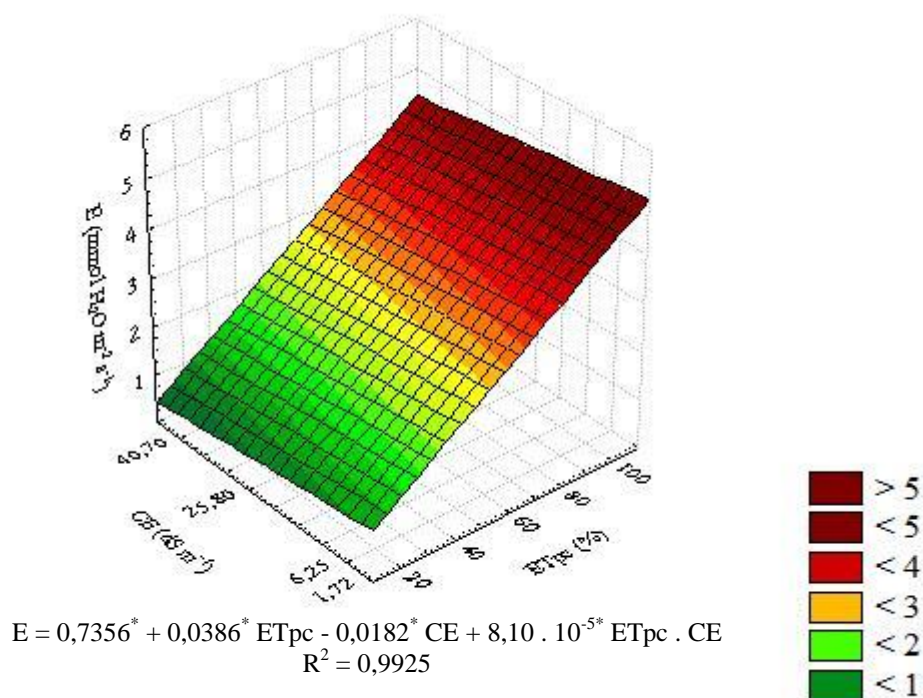
Pela superfície de resposta, constatou-se que as taxas de transpiração das plantas aumentaram linearmente com a elevação dos níveis de ET_{pc}, sendo estimado que cada acréscimo unitário nos valores de ET_{pc} resulta em acréscimos de aproximadamente 0,0386 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (Figura 6).

Os aumentos unitários nos níveis do fator salinidade do solo ocasionam decréscimos na transpiração da ordem de 0,0182 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (Figura 6).

Quanto ao parâmetro referente ao termo da interação entre ET_{pc} e CE, de forma semelhante ao reportado para a variável condutância estomática, presume-se que as associações entre os níveis dos fatores em estudo exercem efeitos depressivos sobre os valores

de transpiração, tendo por base o sinal negativo estimado para este referido parâmetro do modelo (Figura 6).

Figura 6 - Superfície de resposta para a transpiração (E) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

As máximas transpirações foram obtidas com as reposições de 100% das necessidades hídricas da cultura (% ETpc) combinados com os cultivos nos solos que possuem a menor das salinidades (1,72 dS m⁻¹). Por outro lado, os menores valores registrados para a referida variável advêm das associações entre os mais severos níveis dos agentes estressantes avaliados, ou seja, 20% da ETpc e 40,70 dS m⁻¹ (Figura 6).

À medida que a água se torna limitante, a transpiração é reduzida (TRENTIN *et al.*, 2011). Os menores valores de transpiração nas plantas submetidas ao estresse hídrico e salino refletem, justamente, os efeitos que tais agentes estressantes exercem sob o fechamento estomático (Figura 6).

Esse fechamento é resultado da redução do potencial osmótico do solo pelo incremento do nível salino. Tal fenômeno, junto com o efeito iônico, pode induzir fechamento estomático, desbalanço iônico, deficiência nutricional, acarretando também, dentre as consequências, redução da produção de biomassa (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Dos resultados, estimaram-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc}, houveram acréscimos nas taxas de transpiração de 135,48; 12,34; 7,23 e 5,16% por aumento unitário do % da ET_{pc}, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,08; 0,72; 0,38; 0,30 e 0,20% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc}, respectivamente (Figura 6).

A variação da transpiração apresentou tendência semelhante à condutância estomática, sendo que o favorecimento hídrico tendeu a beneficiar a transpiração, que acabou tendo sua expressão maximizada, porém limitada em decorrência da redução do nível de salinidade do solo e de forma semelhante, vê-se que o fator deficiência hídrica foi mais limitante a transpiração que o fator salinidade do solo, como relatado para a variável condutância estomática, ao passo que o adequado suprimento de água aparenta mitigar o efeito da salinidade sob as taxas de transpiração, conferindo às plantas menores decréscimos nas taxas transpiratórias (Figura 6).

Ressalva-se que os menores valores de transpiração foram constatados na combinação dos tratamentos que condicionaram também os menores valores de condutância estomática. Esta analogia direta entre transpiração e condutância estomática é previsível, levando-se em consideração que à medida que se fecha os estômatos, ocorrem reduções no fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, nas taxas de transpiração (GONÇALVES *et al.*, 2010).

Os presentes resultados indicam que as reduções na condutância estomática e na transpiração podem comprometer parcialmente a atividade fotossintética. No entanto, baseando-se nas inferências de Orsini *et al.* (2012), pode-se considerar que, tais respostas, também podem proteger as plantas de uma desidratação rápida, assegurando sua sobrevivência sob condições estressantes, além disso, através da regulação estomática, as plantas podem evitar a incidência de uma série de manifestações de outros sinais que afetariam ainda mais os seus respectivos desempenhos agrônômicos.

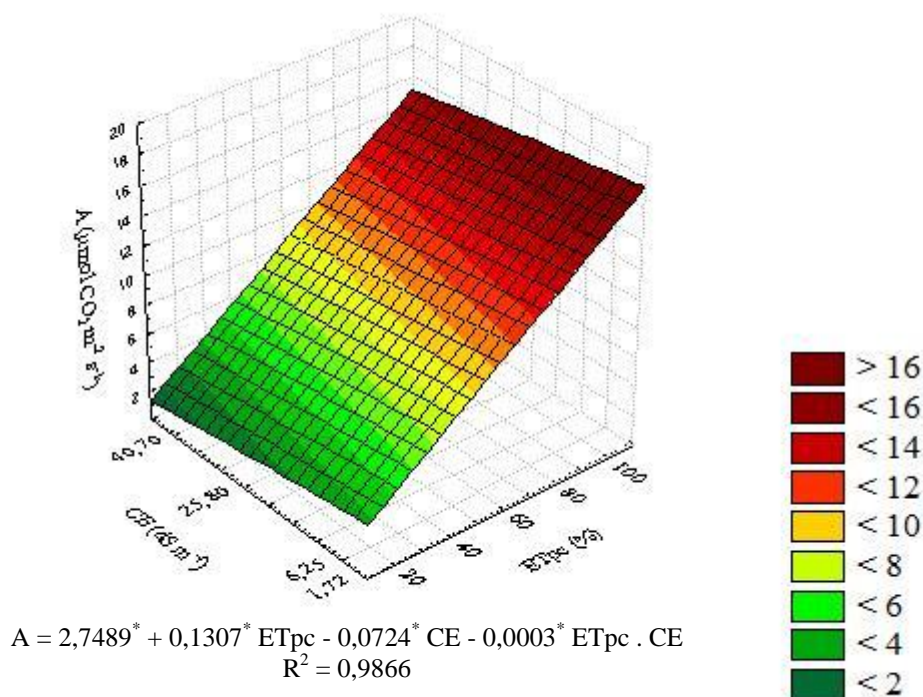
De acordo com Cruz *et al.* (2003), quando as plantas são submetidas às condições salinas, elas tendem a fechar os estômatos, reduzindo a quantidade de água transpirada, a qual pode contribuir para a redução na absorção e carregamento de íons tóxicos como Na⁺ e Cl⁻ para o interior das plantas, constituindo mais uma estratégia adaptativa de sobrevivência sob o predomínio destas condições estressantes.

Desta forma, tais inferências podem justificar a capacidade de sobrevivência das plantas diante das associações entre os níveis dos agentes estressantes ETpc e CE, sendo suposto que a regulação da abertura dos estômatos e, por conseguinte, o controle da perda de água, são mecanismos adotados por parte das espécies vegetais para se ajustarem às condições adversas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Tais assertivas corroboram com as inferências propostas por Sucre e Suárez (2011), ao discorrerem que as plantas respondem à seca e à salinidade, fechando os estômatos, o que reduz a transpiração foliar e/ou impede o desenvolvimento de uma situação de déficit excessivo de água nos tecidos, permitindo que a folha assegure a conservação de um potencial hídrico capaz de garantir a manutenção de sua capacidade de ajuste e/ou de recuperação diante dos danos causados pelos agentes estressantes, sejam eles isolados e/ou combinados.

Na Figura 7 apresenta-se a superfície de resposta para a variável fotossíntese em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de níveis de salinidade do solo, junto ao respectivo modelo matemático que descreve o comportamento da presente variável face aos diferentes níveis dos fatores estressantes em estudo.

Figura 7 - Superfície de resposta para a fotossíntese (A) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Com relação à fotossíntese, o coeficiente de determinação (R^2) estimado para o modelo proposto foi de 0,9866. De acordo com o mesmo, observam-se efeitos lineares do déficit hídrico e da salinidade do solo, aumentando e reduzindo as taxas fotossintéticas, respectivamente (Figura 7).

Neste sentido, a equação proposta permite estimar que cada incremento unitário nos valores de ETpc resulta em elevação das taxas fotossintéticas, com contribuições de $0,1307 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Todavia, ao se elevar uma unidade no nível de CE, estimou-se declínios de $0,0724 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 7).

Adicionalmente, no parâmetro estimado para a interação entre ambos os fatores, o efeito foi depressivo, tendo por base o sinal negativo estimado para o mesmo, o que denota a magnitude da expressão do efeito da salinidade sobre a variável em questão, mesmo diante do reduzido valor estimado para este parâmetro no modelo (Figura 7).

As maiores taxas fotossintéticas foram obtidas com o nível controle de deficiência hídrica (100% ETpc), na menor das salinidades avaliadas ($1,72 \text{ dS m}^{-1}$). Já as menores taxas fotossintéticas, foram mensuradas com o nível de deficiência hídrica correspondente a 20% da ETpc, em associação ao solo caracterizado por possuir o maior nível de salinidade ($40,70 \text{ dS m}^{-1}$), sendo que, a extensão da redução foi extremamente dependente da intensidade dos níveis de déficit hídrico e de sais (Figura 7).

Dos resultados, estimou-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, houve acréscimos das taxas fotossintéticas de 41,07; 11,58; 6,23 e 4,97% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,31; 0,82; 0,44; 0,32 e 0,25% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente (Figura 7).

Semelhante ao comportamento observado nas variáveis condutância estomática e transpiração, no que se relacionam às taxas fotossintéticas, observa-se um efeito mais pronunciado do fator deficiência hídrica, evidenciando sua implicação mais depressiva sob a fotossíntese, em detrimento aos níveis de salinidade do solo, justamente, também, pelo fato dos gradientes de declive das linhas que compõem a superfície de resposta da variável em questão serem também mais acentuados para o fator deficiência hídrica, que para o fator salinidade do solo (Figura 7).

Este comportamento contrapõe as observações reportadas por Sucre e Suárez (2011), ao relatarem que alguns estudos evidenciam que nas combinações de salinidade e de

déficit hídrico as plantas apresentam uma maior capacidade de sobrevivência, ao passo que, sob a predominância destas condições adversas, a fisiologia das plantas é menos comprometida, quando comparadas às situações nas quais as plantas são afetadas apenas por seca ou por salinidade, isoladamente.

Assim, as tendências gerais exibidas pela associação dos fatores estressantes em estudo reforçam a hipótese de que as combinações de agentes estressores podem potencializar os efeitos isolados dos agentes causadores de estresses (LACHER, 2006).

De forma semelhante ao observado por Bezerra *et al.* (2005), em plantas de cajueiro, presume-se que grande parte da redução da fotossíntese nas plantas de coqueiro parece ter sido também decorrente de limitação estomática.

Resultados semelhantes também foram obtidos por Silva *et al.* (2010), ao constatarem que plantas de pinhão-manso também exibiram uma forte restrição da fotossíntese, via fechamento dos estômatos, como uma das estratégias de prevenção para ambas as condições estressantes, estresse hídrico e salinidade.

Silva *et al.* (2011a) reportam que ocorre a diminuição da fotossíntese, associada à baixa condutância estomática foliar, em plantas submetidas às condições de salinidade e de deficiência hídrica.

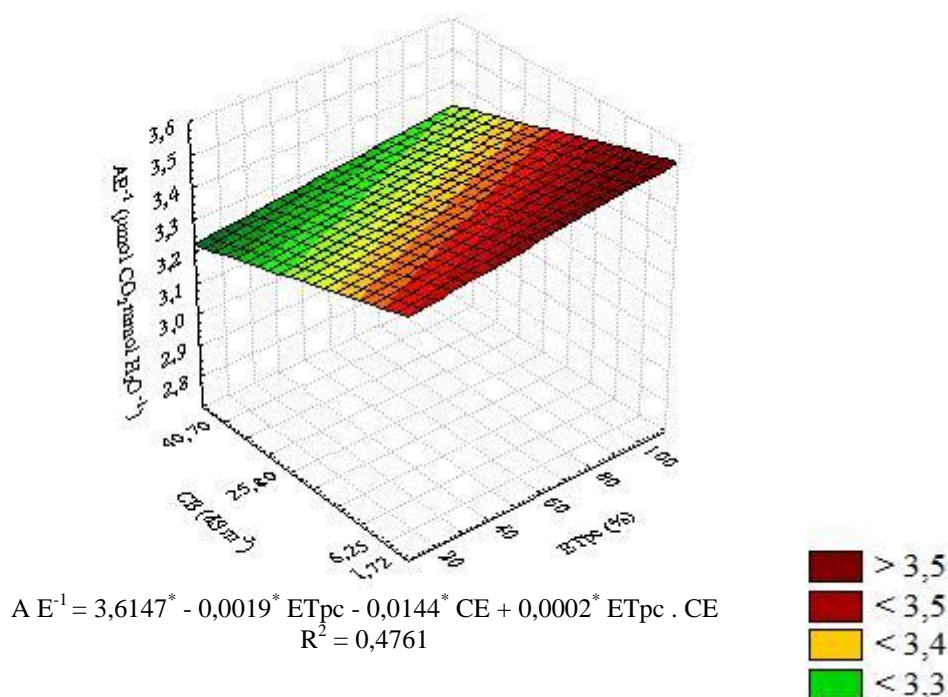
Embora a redução na fotossíntese seja decorrente em grande parte à diminuição da condutância estomática, pode haver, além disso, aumento da resistência ao transporte interno de CO₂, danos causados pelos agentes estressantes ao próprio aparelho fotossintético (MEDINA; MACHADO; PINTO, 1998), alterações bioquímicas que podem comprometer diretamente a eficiência fotossintética (LIMA, 2009), até efeito do sal sob os cloroplastos, em particular sobre o transporte de elétrons e sobre os processos secundários (LARCHER, 2006). Além disso, a diminuição da fotossíntese sob condições estressantes pode se relacionar com próprias as reduções que ocorrem no tamanho das folhas (SANTOS *et al.*, 2012).

De acordo com Gomes e Prado (2007), em plantas de coqueiro, reduções nas taxas fotossintéticas induzidas pela deficiência hídrica são inicialmente atribuídas à limitação da difusão de CO₂ a partir da atmosfera para os espaços intercelulares, como resultado do fechamento dos estômatos. Para os autores, adicionalmente, constata-se também que fatores não estomáticos contribuem para a redução da fotossíntese, tanto durante um período de acentuado déficit hídrico, bem como durante a fase de recuperação após o reinício da irrigação, sendo que, fatores não-estomáticos se mostram mais relevantes que a própria atividade estomática na modulação da fotossíntese, durante a fase de recuperação, após um severo estresse decorrente da escassez hídrica.

Segundo Sabra, Daayf e Renault (2012), as limitações não-estomáticas que são potencialmente capazes de restringir às atividades fotossintéticas são de naturezas bioquímicas e, dentre as principais, propõem-se, a inibição da atividade da Rubisco e da síntese de ATP, como respostas complementares às estomáticas, diante de condições estressantes aos vegetais.

Na Figura 8 tem-se a superfície de resposta, associada ao seu respectivo modelo matemático, que presume a relação funcional entre os fatores déficit hídrico e salinidade do solo sob a variável eficiência instantânea de uso da água.

Figura 8 - Superfície de resposta para a eficiência instantânea de uso da água ($A E^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Observou-se tendência de ligeira redução dos valores de $A E^{-1}$, diante dos incrementos nos níveis de salinidade do solo, de tal forma que os menores valores foram registrados nos solos com CE de 40,70 dS m⁻¹, muito embora o favorecimento hídrico, proporcionado pela elevação nos valores de ETpc (%), tenha colaborado para com a elevação desta variável, o mesmo agiu de forma não tão expressiva, o que leva a supor um efeito mais pronunciado da salinidade do solo sob a variável em questão. Por outro lado, pode-se considerar que mesmo diante da denotação da significância estatística da interação ETpc x

CE, os resultados de $A E^{-1}$, mostraram-se pouco variáveis em função das modificações dos níveis dos fatores em estudo (Figura 8).

De acordo com Silva *et al.* (2014), plantas que possuem a habilidade de majorar a eficiência no uso da água sob condições adversas de salinidade, como o observado no coqueiro, provavelmente, possuem alta capacidade de tolerância ao estresse salino, o que pode estar sendo assegurado pelo próprio mecanismo de exclusão de sais pelas raízes, tendo em vista que, menores valores de transpiração evidenciam diretamente em reduções no consumo de água do solo, acarretando, por conseguinte, redução na absorção de íons específicos, evitando, portanto, os eventuais efeitos tóxicos que os mesmos possam acarretar as plantas, quando absorvidos.

Através do estudo de superfície de resposta, constatou-se que as associações entre os diferentes níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo na variável eficiência instantânea de uso da água foram mais bem ajustadas a um modelo linear, com efeitos significativos para todos os parâmetros da equação e coeficiente de determinação (R^2) de 0,4761 (Figura 8).

A assimilação de CO_2 do meio exterior causa perda de água, e a redução desta perda, ao mesmo tempo, limita à entrada de CO_2 (FERRAZ *et al.*, 2012).

De uma maneira geral, em condições de maiores valores de ET_{pc} , o coqueiro apresentou maior eficiência instantânea de uso da água, como consequência dos elevados valores de taxas fotossintéticas proporcionados pelos maiores valores de condutância estomática, sugerindo um menor consumo de água por unidade de dióxido de carbono assimilado, em contrapartida, a expressão da magnitude da resposta acabou sendo suprimida, em decorrência dos efeitos da elevação da concentração salina do solo (Figura 8).

Ao se tratar dos efeitos do fator déficit hídrico, mediante a metodologia da superfície de resposta, constatou-se que os incrementos unitários nos valores de ET_{pc} condicionaram reduções de $0,0019 \mu\text{mol } CO_2 \text{ mmol } H_2O^{-1}$ na variável citada, o que conduz a suposição de que o fechamento estomático compromete a transpiração de forma mais expressiva, em detrimento à fotossíntese (Figura 8).

O que corrobora com as informações de Gomes e Prado (2007), ao afirmarem que, no coqueiro, existe uma forte evidência para o eficiente controle estomático do estado da água da planta sob condições de déficit hídrico.

Brito *et al.* (2012) também constataram que decréscimos na disponibilidade hídrica reduzem a eficiência instantânea de uso da água em plantas de citros.

Quanto à variação da salinidade do solo, o incremento unitário no nível salino do solo participou da modulação das respostas da variável $A E^{-1}$, com decréscimos lineares de $0,0144 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ (Figura 8).

Semelhante ao comportamento da relação $A E^{-1}$ no presente estudo, o efeito benéfico da salinidade na maximização da eficiência instantânea de uso da água em plantas de coqueiro foi também evidenciado por Lima (2014), ao constatar que as estimativas da variável mencionada aumentaram, com o incremento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Para o autor, embora as taxas fotossintéticas sejam reduzidas com o aumento da salinidade, o fechamento parcial dos estômatos, evidenciado pelos reduzidos valores de condutância estomática, diante dos crescentes níveis de salinidade do solo, contribui para com a elevação da eficiência de uso da água, tendo em vista que, este mecanismo acaba refletindo em menores perdas de água via transpiração e, por conseguinte em maiores valores de $A E^{-1}$.

Por outro lado, resultados divergentes foram obtidos por Soares *et al.* (2013), ao constatarem que a eficiência instantânea de uso da água foi afetada de forma negativa pela salinidade em plantas de feijão-caupi, cv. BRS Pajeú. Conforme os referidos autores, esse comportamento da eficiência de uso da água sob salinidade associa-se à diminuição do potencial osmótico celular originado pela acumulação de solutos orgânicos, o que colabora na manutenção da absorção de água e na manutenção da turgescência celular, permitindo a continuidade de processos fisiológicos, vitais aos vegetais, tais como: abertura estomática, fotossíntese e expansão celular.

O parâmetro do modelo matemático mostra que as interações entre ET_{pc} e CE contribuem, positivamente com a variável, embora apresente reduzido valor (Figura 8).

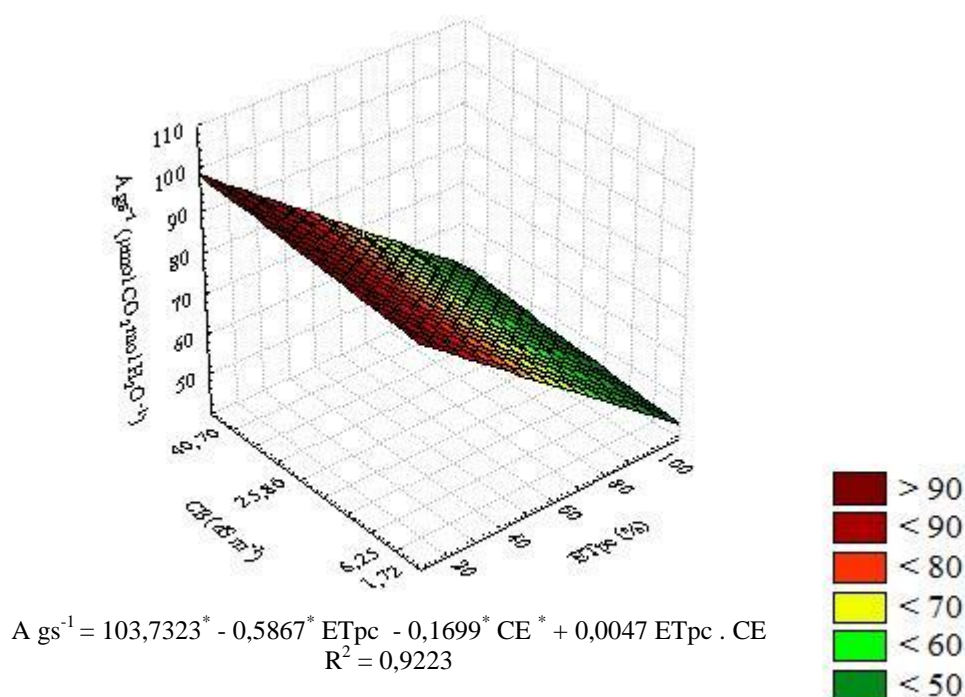
Dos resultados, estimou-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc} , houve decréscimos dos valores de eficiência instantânea de uso da água de 1,70; 0,03; 0,02 e 0,01% por aumento unitário do % da ET_{pc} , nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m^{-1} , respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,45; 0,11; 0,11; 0,11 e 0,06% por aumento unitário da CE , nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc} (Figura 8).

Silveira *et al.* (2013) advertem que, a eficiência instantânea de uso da água, além de ser influenciada por fatores ambientais, como déficit hídrico e salinidade do solo, mostra-se altamente variável em função do tipo de metabolismo do carbono da espécie, e por outras características morfofisiológicas que são capazes de conferir uma maior resistência às perdas de água, como densidade e abertura dos estômatos, revestimento da superfície foliar (presença

de tricomas, cerosidade nas folhas) e posicionamento dos estômatos em relação à superfície da folha (planos ou em cavidades).

As respostas obtidas para a variável eficiência intrínseca de uso da água perante as interações entre os fatores déficit hídrico e salinidade do solo são apresentadas na Figura 9, através do estudo de superfície de resposta.

Figura 9 - Superfície de resposta para a eficiência intrínseca de uso da água ($A \text{ gs}^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Através do modelo de superfície de resposta para predição dos valores de eficiência intrínseca de uso água, frente às variações entre os níveis de ETpc e de CE avaliados, verificaram-se respostas lineares decrescentes nos parâmetros dos modelos, à medida que se eleva cada unidade dos níveis de déficit hídrico e de salinidade do solo, dentro dos intervalos de variações adotados como tratamentos, com decréscimos unitários da ordem de 0,5867 para cada unidade aumentada em ETpc e de 0,1699, diante dos incrementos unitários de CE (Figura 9).

Por outro lado, o parâmetro estimado no modelo matemático para o termo referente à associação entre os fatores em estudo permite deduzir que a interação entre os

agentes estressantes contribui para com a elevação dos valores de eficiência intrínseca de uso da água (Figura 9).

Analisando os valores estimados nas relações $A \text{ gs}^{-1}$, verifica-se que diante das alterações entre os níveis dos fatores em estudo, convergência de maiores valores nas associações que condicionam o grau mais severo de deficiência hídrica (20% ETpc) no menor nível salino avaliado ($1,72 \text{ dS m}^{-1}$), sendo os valores reduzidos com a elevação dos níveis de ambos os fatores em estudo, com um efeito mais proeminente do fator déficit hídrico sob a variável em questão (Figura 9).

Dos resultados, estimou-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, houve decréscimos dos valores de eficiência instantânea de uso da água de 0,58; 0,50; 0,50 e 0,39% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,10; 0,22; 0,36; 0,41 e 0,45% nos níveis de reposições da ETpc correspondentes a 20; 40, 60, 80 e 100% da ETpc, respectivamente (Figura 9).

Estes resultados corroboram com Álvarez *et al.* (2011), ao evidenciarem que a eficiência intrínseca do uso da água aumentou progressivamente em plantas estressadas, indicando o predomínio do controle estomático sobre a fotossíntese. Também Passos, Passos e Prado (2005), constataram que sob condições de escassez hídrica, o coqueiro apresentou aumento significativo nos valores de eficiência intrínseca do uso da água.

Quanto aos efeitos decorrentes da salinidade, os presentes resultados corroboram com Lacerda *et al.* (2009), que denotaram que a eficiência intrínseca no uso da água (EUA) também reduziu linearmente com o aumento da salinidade, em plantas de feijão - caupi.

Este comportamento pode ser justificado apoiando-se nas inferências propostas por Furtado *et al.* (2013), ao discorrerem que a abertura e o fechamento estomático regulam as trocas gasosas foliares, que promovem perda de água em função da entrada de CO_2 . Sob condições estressantes, de seca e/ou de salinidade, a diminuição da perda de água por meio do maior grau de fechamento dos estômatos também restringe a entrada de CO_2 . Para os autores, as maiores eficiências intrínsecas no uso da água garantem maiores absorções de CO_2 com mínimas perdas de água.

O que leva a supor que no presente trabalho, a redução da eficiência intrínseca de uso da água, relaciona-se à redução das taxas de fotossíntese, de transpiração e de condutância estomática, em função dos potenciais danos que são decorrentes do estresse salino.

3.2 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila a ($F_v F_m^{-1}$)

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 2 indicam que a relação $F_v F_m^{-1}$ foi influenciada significativamente pelos fatores déficit hídrico ($p \leq 0,01$) e salinidade do solo ($p \leq 0,05$), de forma isolada, e também foi constatado efeito significativo das interações duplas ($p \leq 0,05$ ou $p \leq 0,01$) e da interação tripla ($p \leq 0,01$).

Tabela 2 - Resumo das análises das variâncias para os dados de rendimento quântico da fluorescência da clorofila a - $F_v F_m^{-1}$ (adimensional) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios
		$F_v F_m^{-1}$
Blocos	5	0,00031 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	0,00760 ^{**}
Resíduo - D	20	0,00132
Parcelas	29	
Salinidade do solo (S)	3	0,00436 [*]
Interação S x D	12	0,00372 ^{**}
Resíduo - S	75	0,00131
Subparcelas	119	
Épocas de avaliação (E)	3	0,00024 ^{ns}
Interação D x E	12	0,00439 ^{**}
Interação S x E	9	0,00368 [*]
Interação D x S x E	36	0,00470 ^{**}
Resíduo - E	300	0,00152
Total	479	
C.V. - D (%)		4,65
C.V. - S (%)		4,63
C.V. - E (%)		4,99

¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

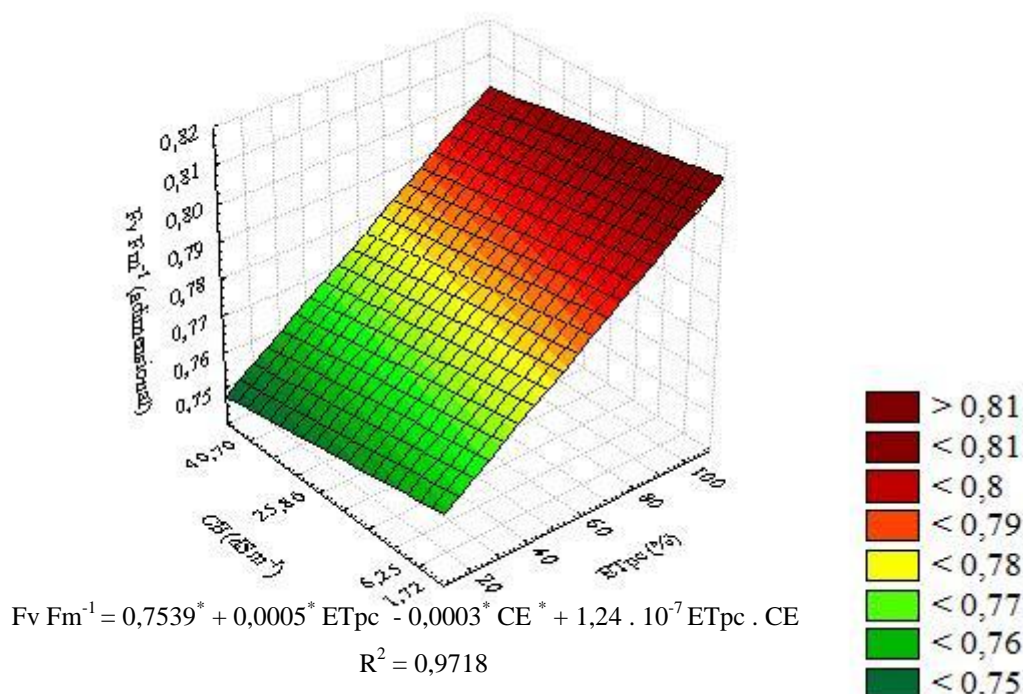
Assim como para as variáveis relacionadas às trocas gasosas foliares, optou-se pelo desdobramento da interação dupla déficit hídrico x salinidade do solo.

Quanto ao modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de rendimento quântico da fluorescência da clorofila a, frente aos acréscimos nos níveis de ET_{pc} e de CE avaliados, estimou-se que, os efeitos do favorecimento hídrico condicionaram elevações

lineares nos valores de $F_v F_m^{-1}$ de 0,0005 para cada acréscimo unitário de ETpc, ao passo que as elevações unitárias nos valores de CE resultaram em decréscimos lineares de 0,0003 unidades de $F_v F_m^{-1}$ (Figura 10).

Já o parâmetro referente à interação entre os fatores em estudo pouco contribuiu para com as expressões das respostas, de tal forma que o valor mostrou-se reduzido, porém significativo, com efeito linear positivo (Figura 10).

Figura 10 - Superfície de resposta para o rendimento quântico da fluorescência da clorofila a ($F_v F_m^{-1}$) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Dos resultados, estimou-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, houve acréscimos dos valores de rendimento quântico da fluorescência da clorofila a ($F_v F_m^{-1}$) de 0,08; 0,08; 0,07 e 0,06% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,04% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20, 40 e 60% da ETpc, e de 0,02 e 0,01% para os níveis de ETpc correspondentes a 80 e 100%, respectivamente (Figura 10).

Analisando-se conjuntamente o comportamento exibido pela relação $F_v F_m^{-1}$, diante da influência mútua dos fatores deficiência hídrica e salinidade do solo, denotam-se evidências dos prováveis efeitos opostos que as associações entre os diferentes níveis dos fatores em estudo são capazes de exercer sob a variável em questão, tendo em vista que o favorecimento hídrico, condicionado pelos crescentes níveis de ET_{pc} promoveu elevação na relação $F_v F_m^{-1}$, que por outro lado, teve a magnitude da resposta restringida, em decorrência das influências dos acréscimos nos níveis de salinidade do solo (Figura 10).

Em termos gerais, de forma semelhante ao reportado por Silva *et al.* (2014), em híbridos de citros sob estresse salino, pode-se considerar que os resultados de rendimento quântico da fluorescência da clorofila a apresentaram-se em concordância com as repostas evidenciadas nas variáveis relacionadas às trocas gasosas foliares.

Ao se tratar das influências isoladas do fator salinidade, infere-se que tais resultados são divergentes dos obtidos por Marinho *et al.* (2005c), quando verificaram que a salinidade da água de irrigação não afetou as variáveis que se relacionam com a eficiência do aparelho fotossintético do coqueiro, em nenhuma das épocas nas quais as avaliações foram procedidas em seu respectivo ensaio.

Por outro lado, tais resultados são semelhantes aos obtidos por Lima (2014), ao conferir também decréscimos lineares estatisticamente significativos na relação $F_v F_m^{-1}$, quando o coqueiro foi submetido às irrigações com águas de crescentes salinidades.

Segundo Azevedo Neto *et al.* (2011), a relação $F_v F_m^{-1}$ é uma estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do fotossistema II (PS2), quando todos os centros de reação do PS2 estão abertos.

Para os referidos autores, valores mensurados na relação $F_v F_m^{-1}$ evidenciam perturbações no sistema fotossintético que são originados pelo estresse salino, levando-se em consideração que, sua redução, sugere um declínio na eficiência fotoquímica do PS2, além de sinalizar a ocorrência de distúrbios e/ou danos ao aparato fotossintético, em resposta aos efeitos adversos inerentes à salinidade.

Por outro lado, levando-se em consideração que os valores obtidos para a variável citada no nível mais severo de deficiência hídrica (20% da ET_{pc}) associados à menor das salinidades (1,72 dS m⁻¹), mostraram-se inferiores àqueles obtidos na combinação entre o pleno suprimento de água (100% da ET_{pc}) e a salinidade mais crítica (40,70 dS m⁻¹), pode-se considerar que a deficiência hídrica exerceu um efeito mais pronunciado sob a variável em questão, de tal forma que o adequado suprimento hídrico aparenta atenuar os efeitos adversos da salinidade sob o aparato fotossintético (Figura 10).

Segundo Araújo *et al.* (2010), a diminuição da relação $F_v F_m^{-1}$ quando as plantas estão sujeitas a atuação de algum agente estressor faz alusão ao efeito fotoinibitório, e pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível, quanto uma inativação irreversível do PS2.

Para os referidos autores, quanto às implicações decorrentes dos efeitos da deficiência hídrica na referida variável, tem sido demonstrado que plantas submetidas ao estresse hídrico, frequentemente, apresentam marcante efeito inibidor na fotossíntese, o que é caracterizado por decréscimos significativos no rendimento quântico do PS2.

Gomes *et al.* (2008) observaram também, em plantas de coqueiro, reduções estatisticamente significativas na relação $F_v F_m^{-1}$ nos dois genótipos que foram cultivados sob escassez de água em seu ensaio, o que leva a supor que o estresse hídrico acarretou fotoinibição nos genótipos de coqueiro. Para os autores, além da alta irradiância, qualquer restrição ambiental capaz de limitar direta ou indiretamente a capacidade fotossintética, é potencialmente capaz de induzir a fotoinibição.

Por outro lado, corroborando com Araújo *et al.* (2010), os referidos autores hipotetizam, ainda, que as reduções na relação $F_v F_m^{-1}$ sob condições estressantes podem, na verdade, derivar de alguns ajustes fotoquímicos que podem estar sendo adotados pelas plantas sob condições climáticas e edáficas adversas, em detrimento à própria ocorrência de danos ao fotossistema II, salientando que o declínio na relação $F_v F_m^{-1}$ pode se dar em resposta ao aumento da fluorescência inicial (F_o).

O que é condizente com informações de Cruz *et al.* (2009), ao reportarem que a elevação da fluorescência inicial (F_o) ocasiona aumento da perda de energia de excitação durante a transferência desta entre os pigmentos - antena e o centro de reação, constituindo um fator que contribui expressivamente para a redução da relação $F_v F_m^{-1}$.

De acordo com Gonçalves *et al.* (2010), não há consenso na literatura no que diz respeito aos efeitos que os decréscimos na disponibilidade hídrica do solo são capazes de acarretar na relação $F_v F_m^{-1}$, tendo em vista que alguns autores afirmam que, em geral, as plantas apresentam rápido decréscimo na relação $F_v F_m^{-1}$ sempre que o conteúdo de água do solo é reduzido, enquanto que outros defendem que a capacidade de transporte de elétrons não é alterada em função do estresse hídrico, o que é reflexo da invariabilidade da relação $F_v F_m^{-1}$, sob a predominância das condições de insuficiência de água.

Embora estatisticamente significativas, as diferenças nos valores da relação $F_v F_m^{-1}$, entre os distintos níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo foram relativamente pequenas, independente das épocas de avaliação e, de forma geral, constataram-

se que os valores situaram-se dentro do intervalo compreendido entre 0,49 e 1,00, com um valor médio geral de $0,78 \pm 0,04$, o que indica que parte das associações entre os níveis dos fatores em estudo nas diferentes épocas de avaliação resultaram em danos nos centros de reações do fotossistema II (PS2), conforme o exposto na Figura 10.

Tais inferências apóiam-se nas afirmações de Silva *et al.* (2013), quando relatam que a razão $F_v F_m^{-1}$ deve estar sempre próxima de 0,8; para a eficiência ser considerada satisfatória, uma vez que valores inferiores a 0,75 indicam redução do potencial fotossintético dos vegetais devido à incidência de algum tipo de estresse. Ao passo que a capacidade de manter alta relação $F_v F_m^{-1}$ ($> 0,80$) indica alta eficiência de uso da radiação pelas reações de assimilação de carbono, mesmo diante da predominância de condições adversas aos vegetais.

3.3 Teores relativos de clorofila total: índice Spad

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 3 indicam que os teores relativos de clorofila (índice SPAD) foram influenciados significativamente pelos fatores déficit hídrico, salinidade do solo e época de avaliação ($p \leq 0,01$), de forma isolada, e também foi constatado efeito significativo das interações duplas e tripla ($p \leq 0,01$).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os dados de teores relativos de clorofila total (índice SPAD) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplante. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

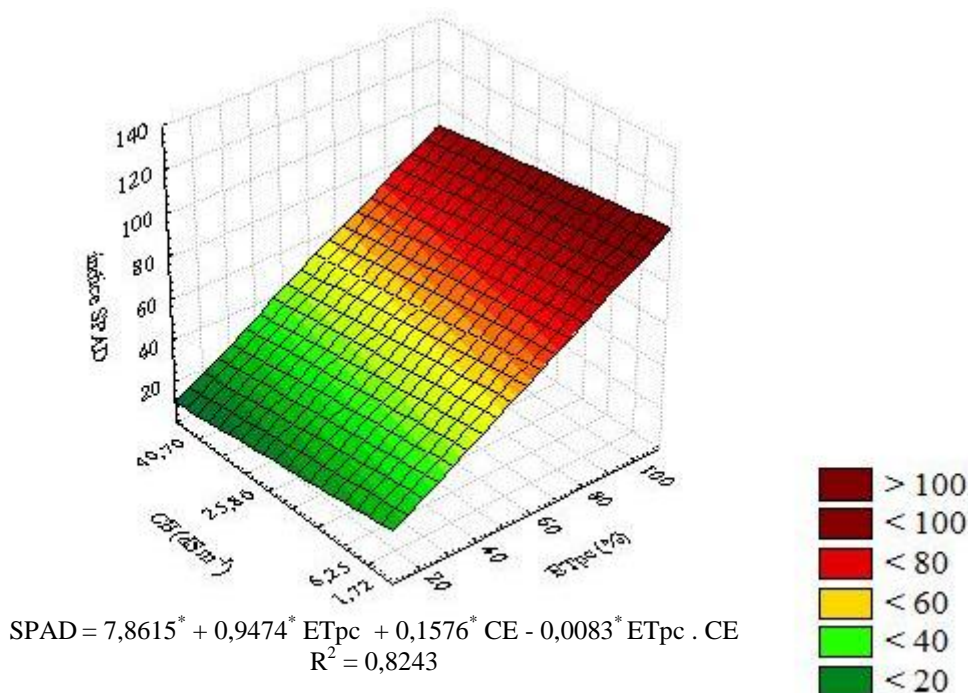
FV	GL	Quadrados médios
		índice SPAD
Blocos	5	9,39 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	62.710,32 ^{**}
Resíduo – D	20	6,43
Parcelas	29	
Salinidade do solo (S)	3	4.325,10 ^{**}
Interação S x D	12	777,55 ^{**}
Resíduo – S	75	1,75
Subparcelas	119	
Épocas de avaliação (E)	3	251,71 ^{**}
Interação D x E	12	65,63 ^{**}
Interação S x E	9	4,67 ^{**}
Interação D x S x E	36	9,64 ^{**}
Resíduo – E	300	1,87
Total	479	
C.V. - D (%)		14,47
C.V. - S (%)		12,33
C.V. - E (%)		12,41

¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Semelhante a abordagem adotada para as variáveis associadas às trocas gasosas foliares e ao rendimento quântico da fluorescência da clorofila a, optou-se pelo desdobramento da interação dupla déficit hídrico x salinidade do solo.

Através do estudo de superfície de resposta para a aludida variável, constata-se, por meio do modelo matemático que melhor se ajustou aos dados, efeito linear positivo e significativo para o fator deficiência hídrica, de tal magnitude que foi possível estimar que o favorecimento hídrico, proporcionado por elevações unitárias dos valores de ET_{pc} resultaram em incrementos de 0,9474 unidades SPAD (Figura 11). Os maiores valores foram obtidos sob condições de plena irrigação (100%), ao passo que os menores valores na variável em questão resultaram do nível mais severo de estresse hídrico (20% ET_{pc}), conforme o exposto na Figura 11.

Figura 11 - Superfície de resposta para os teores relativos de clorofila total (índice Spad) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em resposta às combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de níveis de salinidade do solo (CE). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Estes resultados corroboram com Peçanha (2007), ao verificar que o acréscimo da umidade do solo resultou em incrementos lineares nas leituras do índice SPAD, ao avaliar os efeitos de crescentes lâminas de irrigação sobre os teores relativos de clorofila total em plantas de coqueiro.

Portanto, pode-se inferir que a elevação do índice SPAD com o aumento do suprimento de água é um reflexo claro da sensibilidade dos teores relativos de clorofila total de plantas de jovens de coqueiro ao estresse hídrico, o que é condizente com Silva *et al.* (2011b), ao discorrerem que o estresse por seca é normalmente caracterizado por perda de clorofila, associado a um declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas.

Os prováveis efeitos deletérios decorrentes da elevada concentração de sais sob os teores de clorofila total apenas foram previstos no parâmetro do modelo matemático que se relaciona com a interação ente os fatores em estudo, onde os incrementos unitários dos respectivos níveis dos fatores isolados passam a comprometer os valores de índice SPAD, com decréscimos lineares de 0,0083 unidades SPAD (Figura 11).

Dos resultados, estimou-se que nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, houve acréscimos dos valores de teores relativos de clorofilas (índice

Spad) de 13,83; 7,71; 7,58 e 3,90% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se acréscimos de 0,29; 0,52; 0,58; 0,72 e 1,75% por aumento unitário de CE nos níveis de reposições da ETpc correspondentes a 20; 40, 60, 80 e 100% da ETpc, respectivamente (Figura 11).

Este comportamento pode ser justificado em decorrência do efeito mais proeminente do fator deficiência hídrica sob a variável em questão, associada à provável capacidade que o adequado suprimento hídrico possui de mitigar os potenciais efeitos adversos que a salinidade isoladamente poderia exercer sob os teores de clorofila total, tendo em vista que com o acréscimo na disponibilidade de água os valores de clorofila total foram sendo elevados, mas, por outro lado, a intensidade da resposta da variável era significativamente comprometida, em decorrência dos efeitos adversos da salinidade.

Segundo Larcher (2006), as interações dos fatores de estresse nos vegetais poderão abrandar, disfarçar, ou, até mesmo, transformar às respostas das plantas a um simples fator de estresse. Lima (2014) verificou significativas reduções lineares nos teores relativos de clorofila total com o acréscimo da salinidade da água de irrigação. Os decréscimos na leitura do índice SPAD refletem as reduções no conteúdo de clorofila verificadas em resposta ao estresse salino (SILVA *et al.*, 2011a).

Conforme os referidos autores, este comportamento pode ser associado à destruição de pigmentos de clorofila pelo aumento da atividade da clorofilase e da instabilidade do complexo de proteínas sob estresse salino. No entanto, os autores ainda advertem que, ao invés da degradação da clorofila, esta redução pode também ser atribuída à influência dos íons com a síntese de novas proteínas, que, por sua vez, são os componentes estruturais das clorofilas.

Em termos gerais, os valores de índice SPAD nas diferentes associações entre os tratamentos, variaram entre 13,4 e 134,1 unidades SPAD, com um valor médio geral de 56,7 ± 24,0 unidades SPAD (Figura 11). Tendo em vista que os menores valores, foram obtidos justamente nas combinações que propiciaram os mais severos níveis de estresse, pode-se deduzir que na prevalência dessas referidas condições, o processo fotossintético foi afetado, dentre outras causas, em decorrência do início da deficiência de clorofila. Segundo Torres Netto *et al.* (2005), tal aspecto é evidenciado nas diferentes espécies vegetais, através do registro de leituras inferiores a 40 unidades SPAD.

Estes resultados corroboram com as informações de Cardoso *et al.* (2011), ao relatarem que existem fatores que podem influenciar leituras de medidor SPAD, como condições ambientais (temperatura, luz, estresse hídrico, salinidade do solo, etc.), deficiência nutricional e estágio de crescimento, entre outros.

Segundo Jesus e Marengo (2008), as leituras do índice SPAD podem se relacionar com o teor de clorofila presente na folha. Para os autores, as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, com seu crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes.

Neste sentido, o índice SPAD pode ser indicativo da redução da capacidade fotossintética em função do estresse hídrico e salino, tendo em vista que os teores dos pigmentos fotossintéticos são reduzidos pela atuação dos efeitos edafoclimáticos adversos, sendo esse efeito agravado pela prolongada duração de exposição aos agentes estressantes (LIMA *et al.*, 2004).

3.4 Teores totais de clorofilas (a+b) e de carotenóides

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 4 indicam que os teores de clorofila total e de carotenóides foram influenciados significativamente pelos fatores déficit hídrico ($p \leq 0,01$) e salinidade do solo ($p \leq 0,01$), porém apenas os teores de carotenóides sofreram influência da interação entre esses dois fatores ($p \leq 0,05$).

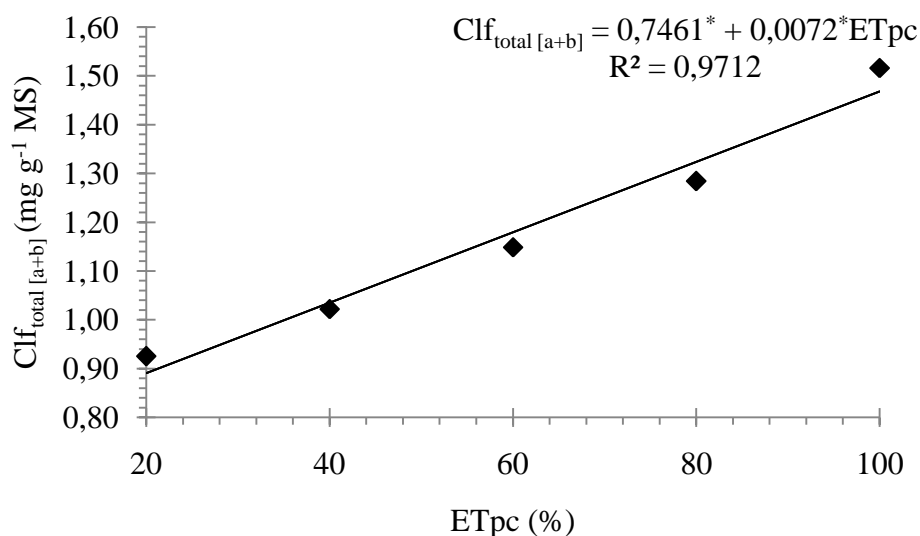
Tabela 4 - Resumo das análises das variâncias para os dados de teores totais de clorofilas ($Clf_{total [a+b]}$) e de carotenóides (Caf) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados ao término do período experimental (121 DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	G.L.	Quadrados Médios	
		$Clf_{total [a+b]}$	Caf
Blocos	3	11,68 ^{ns}	3,17 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	859,32 ^{**}	70,69 ^{**}
Resíduo - D	12	11,34	5,40
Parcelas	19		
Salinidade do solo (S)	3	42,84 ^{**}	12,11 ^{**}
Interação S x D	12	11,17 ^{ns}	5,88 [*]
Resíduo - S	45	8,68	2,56
Total	79		
C.V. - D (%)		19,03	24,86
C.V. - S (%)		17,90	17,12

¹FV.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Na Figura 12 estão contidas as médias dos teores totais de clorofilas (a+b) nos diferentes níveis de deficiência hídrica estudados. Pelos resultados, verificou-se que os teores totais de clorofilas (a+b) variaram de 0,91 a 1,47 mg g⁻¹ MS, de tal forma que os menores valores resultaram da aplicação de 20% da ET_{pc}, ao passo que as maiores médias foram obtidas com 100% da ET_{pc}.

Figura 12 - Teores totais de clorofilas ($Clf_{total [a+b]}$) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplante. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o estudo de regressão constatou-se que a aplicação dos crescentes níveis de reposição das perdas de água por evapotranspiração (% ETpc) provocou aumento linear nos teores totais de clorofilas (a+b), independentemente do nível de salinidade do solo (Figura 12).

Assim, para os teores totais de clorofilas (a+b), foi observado incremento linear de aproximadamente 39%, entre o limite mínimo (20% ETpc) e máximo (100% ETpc) da lâmina de irrigação fornecida à cultura, com acréscimos de 0,0072 mg de clorofila total (a+b) g⁻¹ MS (0,96%) para cada aumento unitário no nível de ETpc aplicado (Figura 12).

Estes resultados podem ser explicados levando-se em conta que a deficiência hídrica beneficia a síntese de espécies reativas de oxigênio (EROs), que prejudicam o metabolismo vegetal, dentre outras razões, por induzirem a oxidação dos pigmentos fotossintéticos (CARLIN *et al.*, 2012). Conforme os referidos autores, em plantas sob estresse hídrico, têm sido verificados decréscimos nos teores de clorofila, o que pode ser enquadrado como um típico indício de estresse oxidativo, sendo, provavelmente, resultado de foto-oxidação dos pigmentos, associados à própria degradação das moléculas de clorofila.

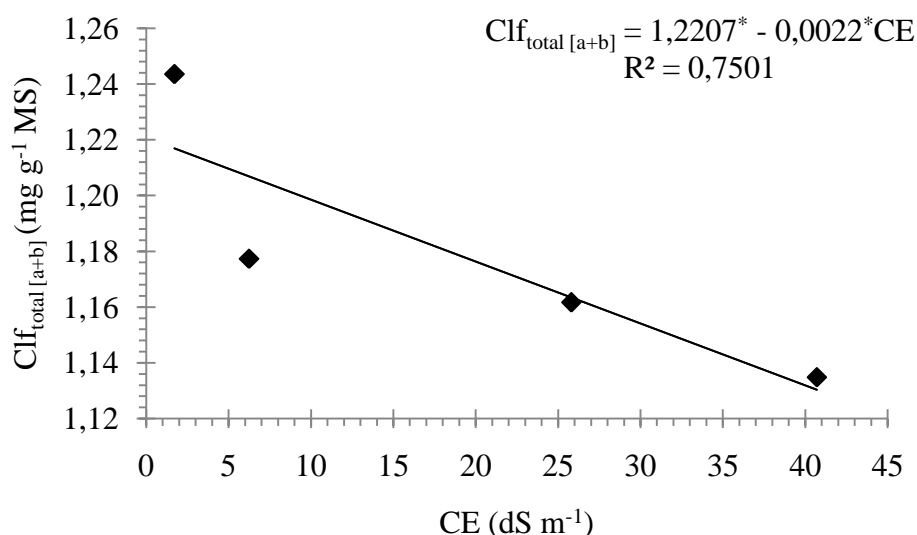
Tais observações estão condizentes com Carvalho *et al.* (2011), ao relatarem que condições ambientais adversas, tais como déficit hídrico e salinidade, acarretam desequilíbrios entre a produção e a remoção das EROs. Para os autores, o resultado final desse desbalanço é uma ascensão dos níveis de EROs, ao ponto de desencadear estresse oxidativo,

acarretando, uma série de implicações negativas nos mecanismos metabólicos associados ao processo fotossintético.

Por outro lado, estes resultados são divergentes dos obtidos por Silva Júnior e Santana (2013), ao evidenciarem que os teores de clorofila total mensurados em plantas de coqueiro não apresentaram diferenças estatisticamente significativas frente à imposição de três diferentes lâminas de irrigação equivalentes a 150, 100 e 50 L planta⁻¹ dia⁻¹, respectivamente.

A representação gráfica dos teores totais de clorofilas (a+b) para o efeito principal do fator salinidade do solo pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Teores totais de clorofilas ($Clf_{total [a+b]}$) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Pelos resultados, constatou-se que independente do nível de deficiência hídrica, os teores totais de clorofilas variaram de 1,13 a 1,22 mg de clorofila total (a+b) g⁻¹ MS, de tal modo que o menor dos valores (1,13 mg g⁻¹ MS) foi resultante da salinidade do solo correspondente a 40,70 dS m⁻¹, enquanto o maior (1,22 mg g⁻¹ MS), superior em aproximadamente 7,4% quando equiparado a este, foi obtido justamente no solo caracterizado por possuir uma CE de 1,72 dS m⁻¹ (Figura 13). Conforme o modelo matemático verifica-se decréscimos relativos de 0,18% (0,0022 mg de clorofila total (a+b) g⁻¹ MS), por incremento unitário de CE.

Corroborando com os presentes resultados, Lima (2014), também observou redução linear dos conteúdos totais de clorofilas em plantas de coqueiro, quando submetidas

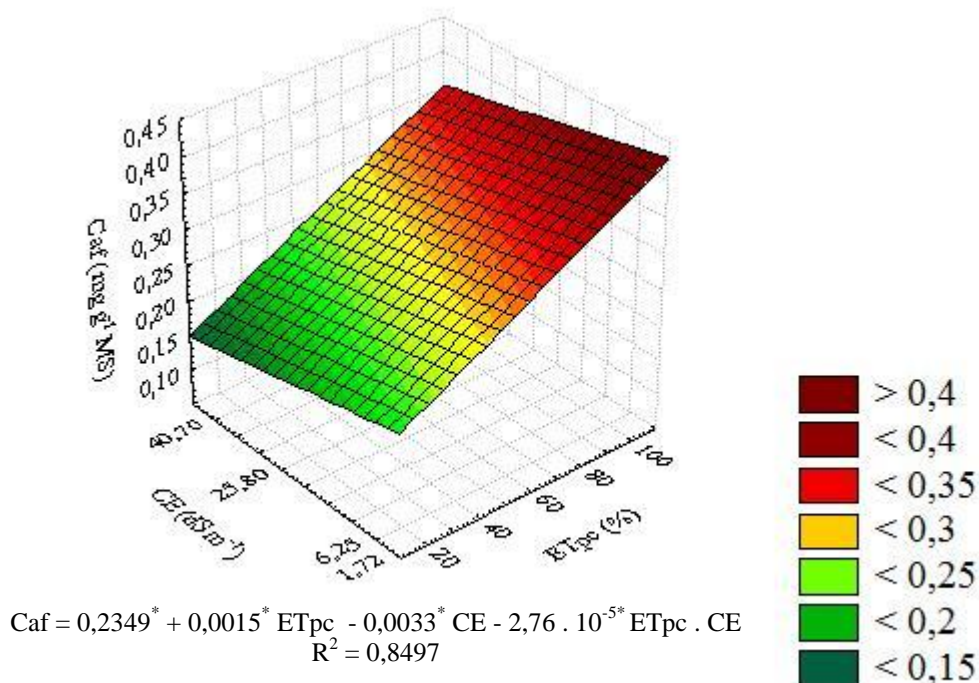
às diferentes níveis de salinidade da água de irrigação correspondentes a 0,9; 5,0; 10; 15 e 20 dS m⁻¹. Este comportamento pode ser justificado pelo fato do excesso de sais, além do limite tolerado por parte das espécies vegetais, estimularem a ação da enzima clorofilase, que diante das condições adversas de salinidade do solo, passa a atuar degradando as moléculas dos pigmentos fotossintetizantes (CAVALCANTE *et al.*, 2011).

Por outro lado, deve-se considerar que existem controvérsias na literatura acerca do comportamento desta variável em função do estresse hídrico e/ou salino. De acordo com Mendes *et al.* (2011), enquanto alguns autores descrevem diminuição dos teores de clorofila, outros reportam incrementos dos mesmos, o que pode ser interpretado como uma resposta adaptativa aos agentes estressantes. Conforme os referidos autores, acréscimos nos teores totais de clorofilas possivelmente indicam a ativação de um mecanismo de proteção ao aparato fotossintético sob condições adversas e aparentam ser uma implicação direta do próprio desenvolvimento dos cloroplastos, através da ampliação no número de tilacóides ou, até mesmo, do aumento no número de cloroplastos.

Desta forma, reduções nos processos de síntese de moléculas de clorofilas em consequência da escassez hídrica e/ou do acúmulo de sais nos tecidos vegetais não podem ser interpretadas apenas do ponto de vista dos efeitos deletérios inerentes às consequências deste feito ao metabolismo vegetal. É possível que essa redução possa seja decifrada como uma reposta de aclimação à atuação dos agentes estressantes, adotada por parte dos vegetais, na tentativa de conservar energia e, conseqüentemente, captar menos energia luminosa, evitando, desta forma, eventuais estresses foto-oxidativos (TABOT; ADAMS, 2013).

Com relação aos valores médios observados nos teores de carotenóides, em função dos tratamentos de deficiência hídrica e de salinidade do solo, estimou-se que o máximo valor de 0,41 mg g⁻¹ MS, foi obtido no tratamento equivalente à associação entre 100% da ET_{pc} e o solo caracterizado por deter uma CE de 1,72 dS m⁻¹. Já o menor valor médio da variável em questão, 0,08 mg g⁻¹ MS, inferior em aproximadamente 80%, quando equiparado ao máximo, foi constatado no tratamento em que foi aplicada a menor lâmina de água (20% da ET_{pc}), combinado com o valor mais elevado de salinidade do solo (40,80 dS m⁻¹), conforme a Figura 14.

Figura 14 - Superfície de resposta para os teores de carotenóides (Caf) em folhas de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Desta forma, averiguou-se que houve incrementos nos teores de carotenóides à medida que se aumentou a aplicação de água (Figura 14). Isso possivelmente ocorreu em decorrência do comprometimento da síntese de carotenóides sob condições de deficiência hídrica. O que pode ser possivelmente explicado baseando-se nas idéias reportadas por Fiaz *et al.* (2014), ao reportarem que a insuficiência de água acarreta redução na atividade enzimática da protoclorofila redutase, inibindo a conversão dos respectivos precursores em pigmentos fotossintéticos, sendo esta redução apontada como a principal razão da menor produção de pigmentos fotossintéticos, inclusive de carotenóides, quando as plantas são submetidas à deficiência hídrica.

No entanto, estes resultados divergem dos obtidos por Rojas *et al.* (2012), ao relatarem que o conteúdo de carotenóides foliares aumentou, em função do avanço do déficit de água em plantas de *Gmelina arborea* Roxb, na tentativa de minimizar danos ao aparato fotossintético, devido ao estresse imposto. Para os autores, este comportamento, demonstra ser uma estratégia de dissipação do excesso de energia luminosa, utilizado pelas espécies

vegetais, sobretudo diante de condições de estresse hídrico, onde os carotenóides desempenham um papel fotoprotetor.

Os carotenóides absorvem radiação visível (400 – 700 nm), agindo como um filtro à radiação ultravioleta (200 - 400 nm), reduzindo os eventuais danos celulares decorrentes da incidência de luz em demasia, exercendo função fotoprotetora por meio da rápida extinção dos estados excitados da clorofila, protegendo-a da fotooxidação (BARBOSA *et al.*, 2014; TAIZ; ZEIGER, 2013). Por outro lado, a expressão da resposta à elevação do nível de salinidade do solo, apontou que os crescentes níveis de CE proporcionaram reduções na referida variável (Figura 14).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores de carotenóides de 0,44; 4,0; 0,50 e 0,52% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,40 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,43; 0,20; 0,32; 0,28 e 0,25% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente.

Esse comportamento pode ser atribuído, dentre outras causas, ao fato do estresse salino desacelerar a produção de pigmentos fotossintéticos, induzindo a degradação de β - caroteno, provocando uma diminuição no teor de carotenóides, que são componentes integrados dos tilacóides, atuantes na absorção e na transferência de luz para a clorofila (GOMES *et al.*, 2011).

Por outro lado, o incremento no suprimento hídrico das plantas aparenta mitigar os efeitos deletérios que a elevada salinidade do solo é capaz de exercer sob as concentrações foliares de carotenóides, levando-se em consideração que sob condições de baixa salinidade (1,72 dS m⁻¹) estimou-se que a elevação do nível de reposição da ETpc de 20 para 100% implicou em um aumento de aproximadamente 35,06% nos teores foliares de carotenóides, enquanto sob condições extremas de salinidade (40,70 dS m⁻¹) esse incremento foi de aproximadamente 80%.

O modelo matemático de superfície de resposta apresentado na Figura 14 ilustra que o incremento na ETpc e na CE proporcionaram aumentos e decréscimos lineares nos teores de carotenóides, respectivamente. Esse aumento foi na proporção aproximada de 0,0015 mg de carotenóides g⁻¹ MS (0,63%), ao passo que a redução foi de 0,0033 de carotenóides g⁻¹ MS (1,40%), a cada incremento unitário de ETpc e de CE, respectivamente. No que diz respeito ao parâmetro equivalente à interação entre os referidos fatores, supõe-se que a associação entre os tratamentos contribuiu com os efeitos deletérios da salinidade sob a

variável em questão, com reduções embora não tão expressivas em termos de valores absolutos (0,01%).

Desta forma, observa-se que a deficiência hídrica foi o fator mais limitante a produção de carotenóides em folhas de coqueiro em detrimento à salinidade do solo, fato esse comprovado pelo maior gradiente referente à deficiência hídrica na superfície de resposta da variável, embora o modelo matemático atribua uma maior contribuição do efeito depressivo da salinidade sob a expressão final das respostas da variável em questão (Figura 14).

Tais fatos sugerem que, a espécie, diante de inadequadas condições de suprimento hídrico e/ou de salinidade do solo possui uma baixa capacidade natural de defesa aos agentes estressores, tendo em vista que a presença reduzida ou ausência de carotenóides torna a planta mais sujeita à ação das espécies reativas de oxigênio (EROs), que são normalmente formadas em decorrência dos estresses impostos sob as espécies vegetais (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Em linhas gerais, pode-se considerar que estes resultados corroboram com as informações de Cuzzuol e Clippel (2009), ao discorrerem que diferenças nos teores de clorofilas e de carotenóides são comuns em plantas expostas aos estresses ambientais, tendo em vista que essas condições adversas geram mecanismos fisiológicos que levam, entre outras consequências, a diminuição dos teores dos pigmentos que são associados aos processos fotossintéticos nos vegetais.

3.5 Potencial hídrico foliar

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 5 indicam que o potencial hídrico foliar foi influenciado significativamente pelos fatores déficit hídrico ($p \leq 0,01$) e salinidade do solo ($p \leq 0,01$), atuando de forma isolada, porém não se verificou efeito da interação entre esses os dois fatores em estudo ($p \geq 0,05$).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para os dados de potencial hídrico foliar (Ψ_w) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados ao término do período experimental (121 DAT), antes do nascer do sol (“predawn”). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios
		Ψ_w
Blocos	3	0,08340 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	1,08503 ^{**}
Resíduo – D	12	0,05795
Parcelas	19	
Salinidade do solo (S)	3	0,09494 ^{**}
Interação S x D	12	0,03035 ^{ns}
Resíduo – S	45	0,02221
Total	79	
C.V. - D (%)		-28,40
C.V. - S (%)		-17,58

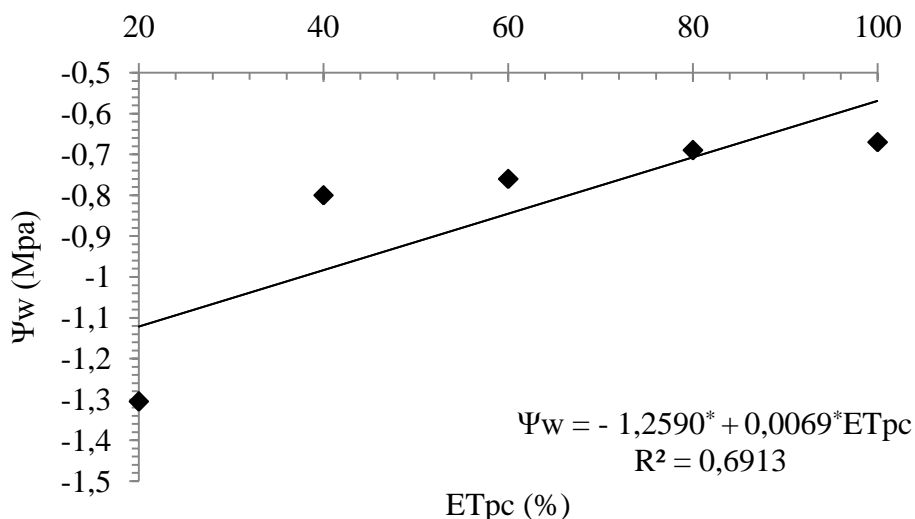
¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Os dados relativos ao potencial hídrico foliar ajustaram-se à equação de regressão linear decrescente ($R^2 = 0,6913$), significando que à medida que os níveis de déficit hídrico (% ETpc) diminuíram, ocorreu um aumento no potencial hídrico foliar, com acréscimos de aproximadamente 0,0069 MPa para o aumento de 1% na ETpc, independentemente do nível de salinidade considerado (Figura 15).

Resultados análogos foram obtidos por Peçanha (2007), ao verificarem que o potencial hídrico das plantas de coqueiro está diretamente relacionado com a disponibilidade de água no solo. Na referida pesquisa, essa variável também decresceu linearmente, com a redução do conteúdo de água no solo.

Dos resultados, estimou-se que o potencial hídrico foliar aumentou de forma linear à medida que se forneceu mais água para a cultura (Figura 15). Conforme a equação de regressão, no mais severo nível de deficiência hídrica (20% ETpc), foi estimado o valor de -1,12 MPa, enquanto nas plantas bem supridas de água (100% ETpc), estimou-se que esse valor chegou a -0,57 MPa.

Figura 15 - Potencial hídrico foliar - Ψ_w (Mpa) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), avaliados aos 121 dias após o transplante, antes do nascer do sol (“predawn”). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

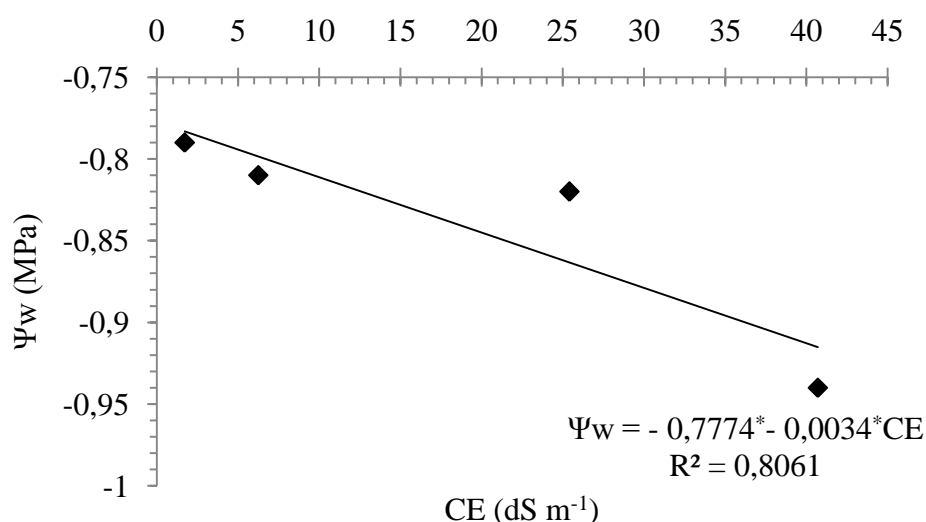
De forma semelhante, Passos, Prado e Aragão (2007), também observaram um aumento do potencial hídrico, com a variação no nível de água no solo do período seco para o chuvoso, em quatro variedades de coqueiro-anão, cultivadas em condições de campo, no Nordeste do Brasil.

Os valores médios registrados no nível de deficiência hídrica correspondente a 20% da ETpc (-1,12 MPa) assemelham-se aos de Gomes *et al.* (2008), ao constatarem que o progressivo déficit de água no solo acarretou diminuição no potencial hídrico foliar para o valor médio de -1,22 MPa, no nível mais crítico de déficit hídrico avaliado pelos autores, também em plantas jovens de coqueiro. O que é condizente com Rajagopal e Kasturi Bai (2002), ao relatarem que, em curto prazo, as reduções nos potenciais de água na folha são apontadas como uma das principais respostas evidenciadas em plantas de coqueiro sob estresse hídrico.

De acordo com Fernandes, Cairo e Novaes (2015), esse comportamento, possivelmente, é consequência de uma série de modificações, inclusive de nível bioquímico, que induzem alterações na concentração do suco celular, que, além disso, podem derivar também da própria redução do volume das células foliares, como implicações da elevação do grau de insuficiência de água no solo, até o ponto de inviabilizar o atendimento das necessidades hídricas das plantas.

Quanto aos efeitos do fator salinidade do solo sob o potencial hídrico foliar, de acordo com a Figura 16, verifica-se que valores de Ψ_w variaram de -0,94 a -0,79 MPa entre os níveis de CE avaliados. Contudo, as diferenças observadas, apesar de significativas, podem ser consideradas de pequena amplitude, registrando-se maiores valores de Ψ_w (-0,79 MPa) para o tratamento equivalente a CE de $1,72 \text{ dS m}^{-1}$, ao passo que o menor dos valores (-0,94 MPa) foi obtido no mais severo nível salino ($40,70 \text{ dS m}^{-1}$).

Figura 16 - Potencial hídrico foliar $-\Psi_w$ (Mpa) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), avaliados aos 121 dias após o transplântio, antes do nascer do sol (“predawn”). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme os estudos de regressão, o efeito foi linear negativo, havendo decréscimo no potencial hídrico foliar de 0,0034 para cada incremento unitário de CE, refletindo o efeito adverso da salinidade sobre o potencial hídrico foliar (Figura 16). Estes resultados corroboram com Lima (2014) e Marinho *et al.* (2005c), que também constataram reduções lineares no potencial hídrico foliar em plantas de coqueiro, em resposta ao acréscimo da salinidade da água de irrigação.

De acordo com Benzarti *et al.* (2014), plantas capazes de tolerar elevada concentração salina podem responder aos efeitos da salinidade através da diminuição do potencial osmótico, que contribui para com a redução do potencial hídrico foliar, aumentando, desta forma, o fluxo de água através da planta, assegurando o status hídrico necessário à manutenção de processos fisiológicos que são essenciais à sobrevivência dos vegetais.

Considerando-se os intervalos nos quais os valores médios de potencial hídrico foliar variaram frente aos diferentes níveis de deficiência hídrica (-1,31 a -0,67 MPa) e de salinidade do solo (-0,79 a -0,94 MPa), pode-se inferir que as plantas jovens de coqueiro apresentaram maior capacidade de adaptação à salinidade, em detrimento ao déficit hídrico, uma vez que manteve seu potencial hídrico foliar menos variável e com maiores valores situado dentro de um trecho de maior amplitude, sob o predomínio destas condições, quando comparadas as categorias de déficit hídrico avaliadas.

O que é condizente com Mesquita *et al.* (2012), ao discorrerem que, em algumas espécies vegetais, a capacidade de diminuição do potencial hídrico foliar tem sido associada com sua respectiva tolerância ao déficit hídrico e/ou a salinidade.

Por outro lado, essas reduções no potencial hídrico foliar frente às condições adversas de suprimento hídrico e/ou de salinidade do solo podem estar associadas aos decréscimos nos potenciais de turgescência celular, em decorrência dos efeitos biofísicos que esses agentes estressores são capazes de exercer nas relações hídricas dos vegetais.

Estas inferências podem ser complementadas, levando-se em consideração as informações fornecidas por Taiz e Zeiger (2013), ao relatarem que, nos vegetais, dois processos intracelulares contribuem para o decréscimo do potencial hídrico: a acumulação de íons no vacúolo e a síntese de solutos compatíveis no citosol. Para os autores, a redução do potencial osmótico celular pelo acúmulo de solutos orgânicos compatíveis com o metabolismo tem sido considerada um importante mecanismo de tolerância ao estresse salino e hídrico em plantas.

Para os referidos autores, tal ajuste, evita a perda de turgor, ao gerar um potencial hídrico mais baixo na planta do que o predominante no solo, permitindo, desta forma, a absorção de água da solução do solo, mesmo diante de condições adversas de suprimento hídrico e/ou de salinidade.

4 CONCLUSÕES

As trocas gasosas foliares, o rendimento quântico da fluorescência da clorofila, o índice relativo de clorofila e o potencial hídrico foliar das plantas jovens de coqueiro são efetivamente limitados quando a deficiência hídrica e a salinidade atuam isoladamente e são aditivadas quando ocorrem em conjunto.

Em condições de déficit hídrico e de salinidade do solo as plantas jovens de coqueiro reduziram teores totais de clorofilas (a+b), sendo estes, indicadores dos efeitos dos estresses isolados.

As plantas jovens de coqueiro são fisiologicamente mais suscetíveis às limitações de água, do que a elevação da salinidade do solo, o que as tornam capazes de revegetar áreas salinizadas, desde que as necessidades hídricas sejam ao menos parcialmente atendidas.

As respostas fisiológicas adaptativas das plantas jovens de coqueiro aos fatores de estresse deficiência hídrica e salinidade, bem como a associação entre estes, estão relacionadas principalmente a regulação estomática.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, S., NAVARRO, ALEJANDRA; NICOLÁS, E. , SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in *Callistemon* plants during drought conditions. **Scientia Horticulturae**, v.129, s.n, p. 306 – 312, 2011.
- ARAÚJO, S. A. do C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; TORRES NETTO, A.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, É. da S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.
- 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.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de ARAÚJO; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.453 - 460, 2014.
- BENZARTI, M.; REJEB, K. B.; MESSEDI, D.; MNA, A. B.; HESSINI, K.; KSONTINI, M.; ABDELLY, C.; DEBEZ, A. Effect of high salinity on *Atriplex portulacoides*: Growth, leaf water relations and solute accumulation in relation with osmotic adjustment. **South African Journal of Botany**, v.95, s.n, p.70–77, 2014.
- BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F. de; PRISCO, J. T., GOMES FILHO, E. Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão precoce sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.90-94, 2005.
- BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. dos A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S. de; SÁ, F. V. da S.; MELO, A. S. de. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, suppl., p.857-865, 2012.
- CARDOSO, A. D.; ALVARENGA, M. A. R.; MELO, T. L.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N. Índice SPAD no limbo foliar da batateira sob parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 159-167, 2011.
- CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. de L; SANTOS, D. M. M. dos. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 553-564, 2012.
- CARVALHO, F. E. L.; LOBO, A. K. M.; BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; LIMA NETO, M. C.; SILVEIRA, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.416 – 423, 2011.
- CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L. de O. Clorofila e carotenóides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com

biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, s.n, p.699-705, 2011.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F.; DIAS, A. T.; PAES, R. A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 528-531, 2003.

CRUZ, M. do C. M.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R. Fluorescência da clorofila a em folhas de tangerineira 'Ponkan' e limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 896-901, 2009.

CUZZUOL, G. R. F.; CLIPPEL, J. K. Aspectos ecofisiológicos de *Sinningia aghensis* Chautems em condições de campo. **Hoehnea**, v.36, n.1, p.73 - 81, 2009.

DAVIES, W.J., WILKINSON, S., LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytologist**, v.153, n.1, p. 449 – 460, 2002.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. de. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.29-34, 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. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, 2007.

FIAZ, K.; MALIK, S. A.; YOUNIS, U.; DANISH, S.; RAZA SHAH, M. H.; NIAZ, S. Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.14, n.4, p.845 - 854, 2014.

FURTADO, G. de FREITAS; SOARES, L. A. dos ANJOS; 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 de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 175-181, 2013.

GOMES, F. P.; OLIVA, M. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; AQUINO, L. A. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, s.n, p. 379 – 384, 2010.

GOMES, F. P.; OLIVA, M. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A.A. F. de, LEITE, H. G., AQUINO, L. A. Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.62, s.n, p. 195–204, 2008.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, 2007.

GOMES, M. A. da C.; SUZUKI, M. S.; CUNHA, M. da; TULLII, C. F. Effect of salt stress on nutrient concentration, photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of *Salvinia auriculata* Aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 23, n. 2, p. 164 - 176, 2011.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; LAURÍCIO, E.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.378 – 386, 2010.

JESUS, S. V. de; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**, v. 38, n.4, p. 815 - 818, 2008.

KUSVURAN, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). **African Journal Agricultural Research**, v. 7, n. 5, p. 775-781, 2012.

LACERDA, C. F. de.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B. da.; PRISCO, J. T. GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-decorda irrigada com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p.221-230, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532 p.

LIMA, B. L. de C. **Respostas fisiológicas e morfométricas de mudas de coqueiro anão irrigado com águas salinas**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

LIMA, C.S. de. **Mudanças da expressão de proteínas induzidas por estresses isolados e combinados de seca e temperatura elevada em folhas de cajueiro**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

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.

MARINHO, F. J. L.; FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; VIANA, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocos nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.359-364, 2005 a.

- MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.334-340, 2005 b.
- MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA NETO, M. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.370-374, 2005 c.
- MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; FERREIRA NETO, M. Cultivo de coco 'Anão Verde' irrigado com águas salinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.8, 2006.
- MATOS, N. N.; TEXEIRA JUNIOR, A. C.; SILVEIRA, J. A. G. da. Influência do porta-enxerto no comportamento fisiológico de mudas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) submetidas a estresses. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 27-31, 2003.
- MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTO, J. M. Fotossíntese de laranjeira 'Valencia' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica **Bragantia**, v.57, n.1, p.1-14, 1998.
- 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.
- MESQUITA, F. O. REBEQUI, A. M. CAVALCANTI, L. F. SOUTO, A. G. L. Crescimento absoluto e relativo de mudas de maracujazeiro sob biofertilizante e águas salinas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n.1, 2012.
- MOURA, J. Z.; PRADO, R.M.; BENVINDO, R.N.; ALENCAR, L. C. Applying boron to coconut palm plants: effects on the soil, on the plant nutritional status and on productivity boron to coconut palm trees. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n.1, p.79-85, 2013.
- ORSINI, F.; ALNAYEF, M.; BONA, S.; MAGGIO, A.; GIANQUINTO, G. Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 81, n.1, p. 1 – 10, 2012.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, s.n, p. 324–349, 2005.
- PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. de A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.
- PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A.; ARAGÃO, W. M. Estado hídrico e trocas gasosas foliares do coqueiro anão verde nos tabuleiros costeiros e na região semi-árida do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, Supl. 2, p. 441-443, 2007.
- PEÇANHA, A. L. **Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo**. 2007. 78 p. Dissertação

(Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

RAJAGOPAL, V., KASTURI BAI, K.V. Drought tolerance mechanism in coconut. **Burotrop Bull**, v.17, s.n, p. 21–22, 2002.

RAMEGOWDAA, V.; KUMAR, S. 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.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

RIBEIRO, M. V.; DEUNER, S.; BENITEZ, L. C.; EINHARDT, A. M.; PETERS, J. A.; BRAGA, E. J. B. Betacyanin and antioxidant system in tolerance to salt stress in *Alternanthera philoxeroides*. **Agrociencia**, v. 48, s.n, p. 199 - 210, 2014.

ROJAS, A.; MORENO, L.; MELGAREJO, L. M.; RODRÍGUEZ, M. A. Physiological response of gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) to hydric conditions of the colombian Caribbean. **Agronomía Colombiana**, v.30, n.1, p.52 - 58, 2012.

RUGGIERO, B., KOIWA, H., MANABE, Y., QUIST, T.M., INAN, G., SACCARDO, F., JOLY, R.J., HASEGAWA, P.M., BRESSAN, R.A., MAGGIO, A. Uncoupling the effects of ABA on plant growth and water relations: analysis of *sto1/nced3*, ABA deficient salt stress tolerant mutant in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, v. 136, n.1, p. 3134 – 3147, 2004.

SABRA, A.; DAAYF, F.; RENAULT, S. Differential physiological and biochemical responses of three Echinacea species to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 135, s.n, p. 23 – 31, 2012.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, 2012.

SILVA JÚNIOR, C. D. da; PASSOS, E. E. M.; GHEYI, H. R. Aplicação de água salina no desenvolvimento e comportamento fisiológico do coqueiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.39-44, 2002.

SILVA JÚNIOR, C. D.; SANTANA, M. C. de . Effects of Vapour Pressure Deficit on Gas Exchange of Coconut Palm Tree Grown under Irrigation. **Acta Horticulturae**, v. 1, s.n, p. 191-195, 2013.

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

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

SILVA, L. de A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. da S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO; W. dos S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S1–S7, 2014.

SILVA, M. C. de C.; COELHO, F. S.; BRAUN, H.; FONTES, P. C. R. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 971-977, 2011 b.

SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; ARANTES, M. T.; BRUNELLI, M. C.; HOLANDA, L. A. de. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 28 – 35, 2013.

SILVEIRA, H. M.; FERREIRA, E. A.; SILVA, D. V.; NETO, M. D. C.; CARVALHO, F. P.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 403-409, 2013.

SOARES, L. A. dos A.; FURTADO, G. de F.; ANDRADE, E. M. G. de; SOUSA, J. R. M. de; GUERRA, H. O. C.; NASCIMENTO, R. do. Troca de CO₂ do feijão-caupi irrigado com água salina e fertilização nitrogenada. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, n.3, p 30-37, 2013.

SOUSA, C. H. C. de; SILVA, F. L. B. da; LACERDA, C. F. de; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Instalação de um sistema de drenagem subterrânea em um solo salino-sódico cultivado com coco em Pentecoste - Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n. 1, p.16 – 23, 2011.

SUCRE, B.; SUÁREZ, N. Effect of salinity and PEG-induced water stress on water status, gas exchange, solute accumulation, and leaf growth in *Ipomoea pes-caprae*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 70, s.n, p. 192 – 203, 2011.

TABOT, P.T.; ADAMS, J.B. Early responses of *Bassia diffusa* (Thunb.) Kuntze to submergence for different salinity treatments. **South African Journal of Botany**, v. 84, s.n, p. 19 – 29, 2013.

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

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G.; BRESSAN-SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p.1085-1095, 2011.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v.58, p.339-366, 1981.

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.

CAPÍTULO 4

SOLUTOS INORGÂNICOS E ORGÂNICOS EM PLANTAS JOVENS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” SOB ESTRESSE HÍDRICO E SALINO

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, investigar os mecanismos bioquímicos associados às ações isoladas e/ou simultâneas do déficit hídrico e da salinidade do solo em plantas jovens de coqueiro, através das respostas dos acúmulos de íons (potássio, sódio e cloreto) e de solutos orgânicos (carboidratos solúveis totais, N - aminossolúveis e prolina livre), em folhas e em raízes. No experimento, conduzido em casa de vegetação, do tipo telado, em Fortaleza, CE, avaliaram-se, sob delineamento estatístico de blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, os efeitos de diferentes níveis de deficiência hídrica (parcelas), mediante a imposição de distintos percentuais de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial da cultura - ET_{pc} (20; 40; 60; 80 e 100%), associados às subparcelas, constituídas pelos crescentes níveis de salinidade do solo (1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹), proporcionados pelos solos coletados no Perímetro Irrigado Morada Nova. Os íons salinos K⁺, Na⁺ e Cl⁻ acumulam-se significativamente em plantas jovens de coqueiro, em detrimento aos solutos orgânicos tanto nas folhas quanto nas raízes, sendo evidenciada uma aparente retenção radicular de íons. A salinidade não altera os teores dos solutos orgânicos, todavia, denotam-se incrementos nos teores foliares e radiculares de prolina livre em resposta à deficiência hídrica.

Palavras-chave: Alocação de íons. *Cocos nucifera* L. Estresses múltiplos. Mecanismos bioquímicos.

CHAPTER 4

SOLUTES INORGANIC AND ORGANIC PLANTS IN COCONUT YOUNG "GREEN DWARF" UNDER WATER STRESS AND SALINE

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the biochemical mechanisms associated with isolated and / or simultaneous actions of drought and soil salinity in coconut seedlings through the responses of accumulation of ions (potassium, sodium and chloride) and organic solutes (total soluble carbohydrates, N - aminossolúveis and free proline) in leaves and roots. In the experiment, conducted in a greenhouse, the greenhouse type, in Fortaleza, CE, were evaluated under statistical design of randomized blocks in a split plot arrangement, the effects of different levels of water deficit (plots) by imposing percentages of different replenishment of water losses by potential crop evapotranspiration - ET_{pc} (20, 40, 60, 80 and 100%), associated with subplots consisting of the increasing levels of soil salinity (1.72, 6.25; 25.80 and 40.70 dS m⁻¹) provided by the soils collected in the Irrigated Perimeter Morada Nova. Saline ions K⁺, Na⁺ and Cl⁻ accumulate significantly in young coconut plants, to the detriment of both organic solutes in the leaves and in the roots, evidencing an apparent root retention ions. Salinity did not change the concentration of organic solutes, however, show up increments in leaf and root levels of free proline in response to water stress.

Keywords: Ions allocation. *Cocos nucifera* L. Multiple stresses. Biochemical mechanisms.

1 INTRODUÇÃO

Os estresses ambientais, tanto bióticos quanto abióticos, são graves ameaças à sustentabilidade da agricultura mundial. Em regiões áridas e semiáridas, a seca e a salinidade podem ser considerados os agentes estressores capazes de acarretar os mais severos danos aos vegetais, por provocarem, em síntese, grandes reduções em termos de área cultivada, além de comprometerem a produtividade das culturas, bem como a qualidade da produção (NAKABAYASHI; SAITO, 2015).

Segundo 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 resposta à insuficiência de água, decorrente do estresse osmótico e/ou iônico, as plantas também incorporam vários outros processos bioquímicos, sendo o mais comum o ajustamento osmótico, que é usualmente acompanhado pela absorção de íons inorgânicos, onde as plantas se adéquam às condições predominantes para manter o gradiente de potencial hídrico e a turgescência das células próximas aos níveis adequados. O acúmulo de solutos orgânicos compatíveis e de baixo peso molecular no citosol, tais como: os carboidratos solúveis, a prolina livre e os N - aminossolúveis, também contribuem para com o ajustamento osmótico celular (PEREIRA *et al.*, 2012).

O acúmulo de solutos inorgânicos (Na^+ , K^+ e Cl^-) também tem sido evidenciado em condições salinas (SILVA *et al.*, 2009a). Como ajustes iônicos, destacam-se: a extrusão e/ou retenção de íons nas raízes, que evita o alcance de níveis tóxicos no aparato fotossintético que se concentra na parte aérea, a compartimentalização de íons nos vacúolos e a regulação da concentração de íons pelo aumento da suculência nos tecidos vegetais (CUNHA *et al.*, 2013).

No entanto, sob condições edafoclimáticas naturais, as plantas são normalmente submetidas a uma combinação simultânea de diversos tipos de estresses abióticos, tais como as associações entre os efeitos de deficiência hídrica e de salinidade. Estudos recentes têm revelado que as respostas bioquímicas exibidas pelas plantas para a interação entre múltiplos estressores são singulares e não podem ser diretamente afixadas a partir daquelas que são comumente observadas nas atuações individuais dos agentes promotores dos estresses. No

entanto, ainda há pouca informação disponível na literatura a respeito das influências combinadas de deficiência hídrica e da salinidade, sob os vegetais (AHMED *et al.*, 2015).

Dentre as espécies vegetais importantes no nordeste brasileiro, o coqueiro (*Cocos nucifera* L.), vem ocupando uma posição de destaque no cenário regional, sobretudo por sua importância socioeconômica, devido principalmente à vasta quantidade de produtos obtidos das mais diversas partes da planta para consumo *in natura* ou industrialização. Além disso, se destaca na geração de empregos e de renda, proporcionando a fixação do homem ao campo, por necessitar de mão-de-obra durante todo o ano e por toda sua vida produtiva. Ressalva-se, ainda que nesta região a espécie sobrevém preferencialmente em regiões litorâneas, caracterizadas por possuírem elevados conteúdos de sais no solo (MACHADO *et al.*, 2014).

Em virtude da sua ocorrência em áreas com problemas de salinidade e déficit hídrico, espera-se que o coqueiro apresente também características bioquímicas ajustadas a estas condições. Tais aspectos suscitam a hipótese de que o coqueiro poderá enquadrar-se dentre as relevantes espécies para a revegetação de áreas com solos salinizados no nordeste brasileiro.

Pesquisas relacionadas aos efeitos independentes dos estresses hídricos e salinos já foram realizadas (GOMES; PRADO, 2007; GOMES *et al.*, 2010; LIMA, 2014; MARINHO *et al.*, 2005a; 2005b; 2005c). Porém, estudos envolvendo a influência mútua desses agentes estressores, sobretudo, que abranjam respostas bioquímicas, incluindo a produção de pigmentos fotossintéticos e o acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos, ainda não foram constatados para a espécie. Esse tipo de estudo permite uma melhor compreensão dos mecanismos bioquímicos que podem estar diretamente associados à tolerância e/ou à suscetibilidade aos efeitos isolados e combinados desses estresses abióticos no coqueiro, subsidiando a seleção de espécies aptas à revegetação de áreas salinizadas.

Neste sentido, objetivou-se, com este trabalho, investigar os mecanismos bioquímicos associados às ações isoladas e/ou simultâneas do déficit hídrico e da salinidade do solo em plantas jovens de coqueiro, avaliando-se o acúmulo de íons e de solutos orgânicos em folhas e em raízes, sob condições de casa de vegetação, do tipo telado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Vide capítulo 1.

2.2 Estrutura física experimental

Vide capítulo 1.

2.3 Material vegetal

Vide capítulo 1.

2.4 Composições dos tratamentos e delineamento experimental

Vide capítulo 1.

2.5 Instalação e condução do experimento

Vide capítulo 1.

2.6 Sistema e manejo da irrigação

Vide capítulo 1.

2.7 Tratos culturais e controle fitossanitário

Vide capítulo 1.

2.8 Variáveis analisadas

2.8.1 Coleta e preparo do material vegetal para a execução das análises dos solutos inorgânicos e orgânicos

Aos 121 dias após o transplante, o material vegetal foi coletado para fins de execuções das análises de solutos inorgânicos e orgânicos, onde foram tomadas amostras de folhas e de raízes em apenas quatro, das seis unidades experimentais.

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.

2.8.2 Preparação dos extratos

Amostras de 50 mg do pó liofilizado dos órgãos da planta (folhas e raízes) 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.

2.8.3 Solutos inorgânicos

2.8.3.1 Teores dos íons potássio (K⁺) e sódio (Na⁺)

Os teores dos íons potássio (K⁺) e sódio (Na⁺) das folhas e das raízes 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). Cada extrato foi dosado em duplicata. Os teores obtidos dos íons potássio (K^+) e sódio (Na^+) representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo expressos em $g\ kg^{-1}$ de matéria seca.

2.8.3.2 Teores do íon cloreto (Cl^-)

Os teores do íon cloreto das folhas e das raízes 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 [$Hg(SCN)_2$] a 13,2 mM, em metanol a 100%, e nitrato férrico [$Fe(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O$] a 20,2% (p/v), em água deionizada, na proporção de 4:1.

Após agitação, as amostras permaneceram em repouso por 15 minutos, sendo os teores do íon cloreto estimados através de leituras de absorvância de 460 nm, utilizando-se como branco água deionizada (em substituição ao extrato) e os demais componentes da mistura de reação. Cada extrato foi dosado em duplicata.

Para a elaboração da curva padrão foram utilizadas soluções com concentrações crescentes de NaCl. Os teores obtidos do íon cloreto (Cl^-) representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo expressos em $g\ kg^{-1}$ de matéria seca.

2.8.4 Solutos orgânicos

2.8.4.1 Carboidratos solúveis totais

Os carboidratos solúveis totais foram determinados segundo a metodologia preconizada por Dubois *et al.* (1956). Na execução do método, a 0,2 mL do extrato bruto foram adicionados 0,2 mL de fenol (C_6H_6O) a 5% (v/v) e 1,0 mL de H_2SO_4 concentrado. A mistura foi agitada e deixada em repouso por 10 minutos para o seu resfriamento.

Em seguida, as amostras foram quantificadas por meio de leituras de absorvância de 490 nm, utilizando-se como branco 0,2 mL de água deionizada (em substituição ao extrato), 0,2 mL de fenol a 5% e 1,0 mL de H_2SO_4 concentrado.

A curva padrão de carboidratos solúveis totais foi obtida utilizando-se soluções com concentrações crescentes de D (+) glicose anidra. Cada extrato foi dosado em duplicata.

Os teores de carboidratos solúveis totais obtidos representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

2.8.4.2 N-aminossolúveis

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 do extrato bruto; 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 ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$) a 100% (v/v) e 0,1 mL de ninhidrina ($\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_4$) a 5% (p/v), em metilcelosolve a 100% (v/v).

Em seguida, os tubos foram hermeticamente fechados, agitados e mantidos a 95 °C, em banho - maria, durante 20 minutos.

A reação foi interrompida colocando-se os tubos em banho de gelo, nos quais, em seguida, os teores de N - aminossolúveis foram estimados através de leituras de absorvância em 570 nm, tendo como branco 0,5 mL de água deionizada (em substituição ao extrato) e os demais constituintes de reação.

A curva padrão foi elaborada a partir de soluções com concentrações crescentes de glicina. Cada extrato foi dosado em duplicata. Os teores de N – aminossolúveis obtidos representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

2.8.4.3 Prolina livre

A concentração de prolina livre foi determinada de acordo com Bates, Waldrene Teare (1973).

Em uma alíquota de 1,0 mL do extrato, convenientemente diluído com o tampão de extração, foram adicionados 1,0 mL do reagente ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, dissolvida em 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico a 6 M e 1,0 mL de ácido acético glacial).

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. Cada extrato foi dosado em duplicata.

A concentração de prolina livre foi estimada com base em uma curva padrão, ajustada a partir de concentrações crescentes de prolina. Os teores de prolina livre obtidos representam a média das extrações independentes de cada repetição, sendo expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

2.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas variáveis foram submetidos à análise de variância de acordo com os procedimentos que são comuns ao delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas. Quando denotado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nas diferentes variáveis foram analisados através de regressão. Na sequência, quando comprovado efeito significativo nas interações entre os fatores estudados, os dados foram analisados segundo os procedimentos inerentes à análise de regressão linear múltipla e foram plotadas as respectivas superfícies de respostas.

Os modelos matemáticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico em estudo. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Excel (versão 2007), ASSISTAT (versão 7.6 beta) e STATISTICA (versão 7.0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Solutos inorgânicos

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 1 mostram que os diferentes níveis de deficiência hídrica avaliados (D) afetaram significativamente os teores foliares dos íons potássio - K^+_F e cloreto - Cl^-_F ($p \leq 0,01$) e os teores radiculares do íon cloreto - Cl^-_R ($p \leq 0,05$). Já o fator salinidade do solo (S) promoveu variação estatística nos teores foliares do íon sódio - Na^+_F ($p \leq 0,05$) e nos teores radiculares dos íons potássio - K^+_R ($p \leq 0,05$), sódio - Na^+_R ($p \leq 0,01$) e cloreto Cl^-_R ($p \leq 0,05$). Por sua vez, os fatores deficiência hídrica (D) e salinidade do solo (S) atuaram conjuntamente, promovendo alterações nos teores foliares do íon cloreto - Cl^-_F ($p \leq 0,05$) e nos teores radiculares dos íons potássio - K^+_R ($p \leq 0,05$) e cloreto - Cl^-_R ($p \leq 0,01$), tornando a interação S x D significativa, de acordo com o teste F (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores dos solutos inorgânicos potássio (K^+), sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), em folhas (K^+_F , Na^+_F e Cl^-_F) e em raízes (K^+_R , Na^+_R e Cl^-_R) de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

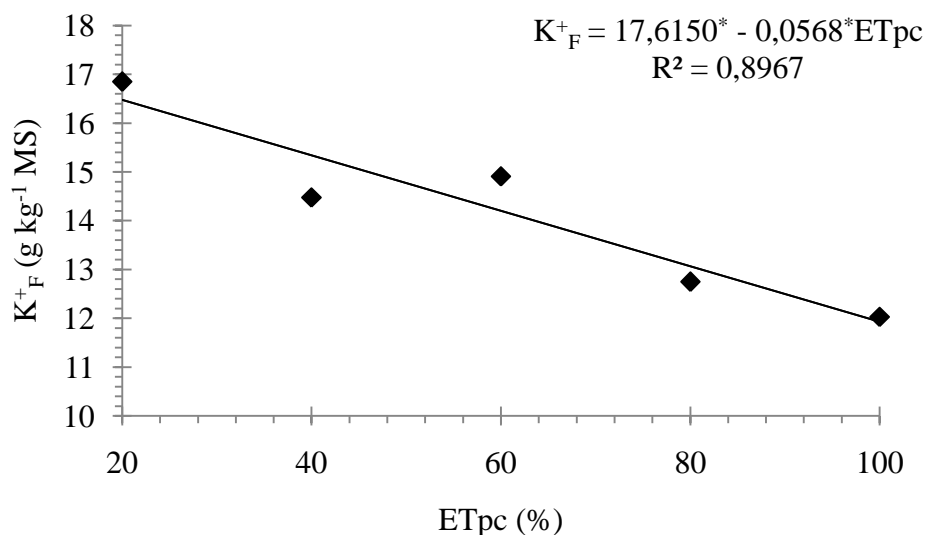
FV	GL	Quadrados médios					
		K^+_F	K^+_R	Na^+_F	Na^+_R	Cl^-_F	Cl^-_R
Blocos	3	2,74 ^{ns}	7,41 ^{ns}	55,84 [*]	8,54 ^{ns}	121,28 [*]	8,29 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	57,56 ^{**}	19,42 ^{ns}	5,25 ^{ns}	8,90 ^{ns}	240,41 ^{**}	262,12 [*]
Resíduo – D	12	5,45	37,98	11,58	11,50	28,02	64,55
Parcelas	19						
Salinidade do solo (S)	3	0,89 ^{ns}	200,53 [*]	26,47 [*]	75,11 ^{**}	87,09 ^{ns}	92,70 [*]
Interação S x D	12	8,51 ^{ns}	16,10 [*]	11,72 ^{ns}	10,64 ^{ns}	90,53 [*]	148,33 ^{**}
Resíduo – S	45	6,56	60,13	8,20	5,73	43,12	30,71
Total	79						
C.V. - D (%)		16,43	27,06	24,15	23,52	25,13	28,65
C.V. - S (%)		18,04	24,05	27,16	16,61	31,18	19,76

¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

A deficiência hídrica aumentou a concentração de K^+ nas folhas das plantas de coqueiro, independente do nível de salinidade do solo (Figura 1), de tal magnitude que para cada unidade de acréscimo na lâmina de irrigação, o modelo linear ao qual os dados melhor se

ajustaram ($R^2 = 0,8967$), estimou um decréscimo de aproximadamente $0,06 \text{ g de K}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$ ($0,32\%$).

Figura 1 - Teores do íon K^+ em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Dos resultados, estimou-se que o máximo valor, correspondente a $16,48 \text{ g de K}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$, foi resultado do regime hídrico de 20% da ETpc, enquanto que o menor valor, $12,00 \text{ g de K}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$, inferior em aproximadamente 27% quando comparado ao máximo, foi obtido sob condições controle (100% ETpc) de suprimento de água (Figura 1). No entanto, observa-se que independente do suprimento hídrico, os teores foliares de potássio superaram o limite de $8 \text{ g de K}^+ \text{ Kg}^{-1} \text{ MS}$, preconizado por Silva *et al.* (2009b), como o nível crítico de K^+ para plantas jovens de coqueiro anão.

Estes resultados divergem dos obtidos por Valicheski *et al.* (2011), que avaliaram o estado nutricional do coqueiro anão sob quatro diferentes condições hídricas (condições ideais de umidade - C.C.; 20% C.C.; 60% C.C e 140% C.C) e não denotaram qualquer efeito estatisticamente significativo nos teores foliares de K^+ frente aos tratamentos avaliados.

Os maiores teores foliares de K^+ nos menores níveis de deficiência hídrica podem ser ainda atribuídos aos efeitos de concentração, hipótese baseada pelo fato da insuficiência de água ter acarretado menor crescimento e acúmulo de massa da matéria seca das plantas jovens de coqueiro, conforme o exposto no Capítulo 1 do presente trabalho, resultando, por

consequente, em uma maior concentração foliar deste respectivo íon nestas referidas condições.

Esse maior acúmulo foliar de K^+ em condições de estresse hídrico pode ser também possivelmente justificado levando-se em consideração que diante da insuficiência de água, a planta tem sua demanda por potássio acrescentada, com o objetivo de manter a fotossíntese e proteger os cloroplastos de eventuais danos oxidativos (CATUCHI *et al.*, 2012).

Adicionalmente, a referida acumulação foliar de K^+ em plantas de coqueiro pode ainda ser supostamente explicada, em geral, pela relevante atuação deste íon na regulação osmótica. Principalmente, em condições de restrição hídrica, onde o mesmo é capaz de assegurar a turgescência nas células guardas, por meio da redução do potencial osmótico. Tal mecanismo resulta em absorção de água por essas células, bem como pelas adjacentes, gerando, por conseguinte, maior turgescência, culminando com a abertura estomática, afetando a difusão de água do interior das folhas para a atmosfera, bem como o fluxo contrário do CO_2 , assegurando o metabolismo fotossintético, mesmo sob condições ambientais adversas, conforme o observado no Capítulo 2 do presente trabalho (MENDES *et al.*, 2013).

Segundo Silva *et al.* (2010), o aumento da concentração de íons K^+ em resposta ao déficit hídrico não tem sido um fato comumente encontrado nos tecidos das plantas superiores. No entanto, para os referidos autores, a importância do K^+ no ajustamento osmótico das plantas sob estresse hídrico é amplamente conhecida, em decorrência da grande solubilidade do K^+ , aliado ao fato do mesmo ser potencialmente capaz de desempenhar um papel chave osmo-regulador nas células guardas, sendo capaz de assegurar a turgescência celular, até mesmo sob condições de estresse hídrico.

O fato dos teores foliares de K^+ não terem sido estatisticamente influenciados pelos efeitos isolados e/ou combinados da salinidade do solo podem ser justificados através das informações de Silva *et al.* (2009a), ao discorrerem que reduções no conteúdo de K^+ causados pela salinidade são muito mais intensas nas raízes do que nas folhas. Para os autores, essas reduções podem estar relacionadas à exposição direta das raízes aos sais.

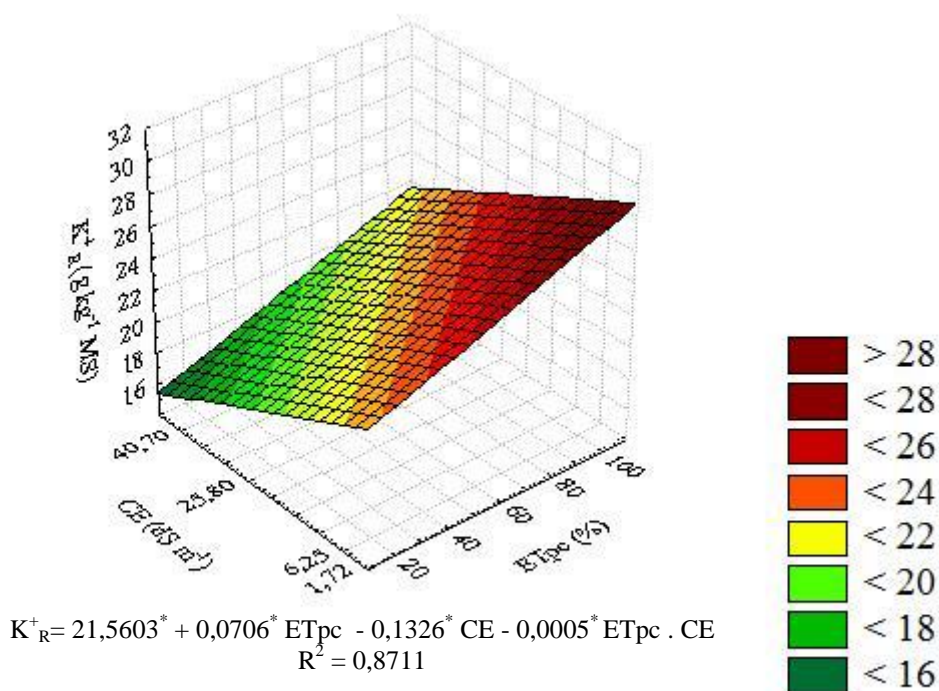
O teor de K^+ nas raízes variou de 18,00 a 29,80 $g\ kg^{-1}\ MS$, sendo que os menores valores foram obtidos com 20% da ETpc associados a CE de 40,70 $dS\ m^{-1}$, ao passo que os maiores valores resultaram do uso de 100% da ETpc com a CE de 1,72 $dS\ m^{-1}$ (Figura 2).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores radiculares de potássio de 0,43; 0,31; 0,29 e 0,25% por aumento

unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,40 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,69; 0,65; 0,65; 0,59 e 0,55% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente.

A utilização de maiores níveis de ETpc, nos solos caracterizados por deterem os menores teores de sais, provocaram incrementos nos teores radiculares de K⁺, o que, possivelmente, demonstra o efeito antagônico entre os fatores em estudo, tendo em vista que o favorecimento hídrico incrementou e, o estresse salino, reduziu a concentração de K⁺ nas raízes (Figura 2). Isso pode ser justificado levando-se em consideração o efeito osmótico provocado pela elevada concentração de sais solúveis no solo, que reduz a absorção de água pelas plantas, promovendo efeitos negativos de ordem nutricional e/ou de toxicidade, comprometendo, ainda, a disponibilidade de outros íons (LIMA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Figura 2 - Superfície de resposta para os teores do íon K⁺ em raízes de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o modelo matemático proposto, os incrementos unitários de ETpc acarretaram acréscimos de $0,0706 \text{ K}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$ (0,33%) nos teores de K^+ nas raízes, enquanto incrementos na CE acarretaram decréscimos de $0,1326 \text{ g de K}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$ (0,61%). Já a associação entre os referidos fatores também depreciaram a concentração radicular deste íon, participando o parâmetro correspondente à interação, com pequenas reduções de $0,0005 \text{ g de K}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$. Desta forma, constata-se que o fator salinidade do solo mostrou-se mais limitante em relação à deficiência hídrica, no que se relaciona ao teor de potássio nos tecidos radiculares. O que é condizente com Silveira *et al.* (2009), ao reportarem que, o estresse salino, muitas vezes, provoca redução no conteúdo do íon K^+ nos tecidos vegetais, especialmente nas raízes como uma consequência direta da competição do K^+ com o Na^+ , no nível de plasmalema radicular, bem como também através de mecanismos ainda não totalmente esclarecidos.

Conforme os referidos autores, supõe-se que as reduções nos teores de K^+ a nível radicular sob estresse salino podem derivar de uma diminuição da atividade regulatória dos genes que são envolvidos no transporte de K^+ e /ou podem resultar de expressivos aumentos nos danos das membranas plasmáticas, que são induzidos pelos excessos de sais, que possibilitam o efluxo de K^+ nas raízes.

De acordo com Silva *et al.* (2009c), o comprometimento da acumulação de K^+ radicular em resposta à salinidade pode estar relacionado ao contato direto do meio radicular com os sais, o que acarreta alterações na integridade e na permeabilidade seletiva da membrana plasmática.

As reduções nos teores de K^+ , possivelmente, relacionam-se, ainda, às elevadas concentrações de Na^+ na solução do solo nas salinidades avaliadas, bem como ao provável antagonismo existente entre estes dois íons, uma vez que o Na^+ pode entrar igualmente nas células radiculares por meio de canais de K^+ de baixa e de alta afinidade, tendo em vista que o Na^+ concorre pelos sítios de absorção dos transportadores de K^+ integrantes da membrana plasmática das células radiculares. Isso se dá em virtude da similaridade de uma série de características físicas entre os íons Na^+ e K^+ , sobretudo, ao que se relacionam as semelhanças dos seus respectivos raios iônicos. Tais fatos constituem obstáculos à correta distinção desses íons por parte dos transportadores (GONDIM *et al.*, 2011).

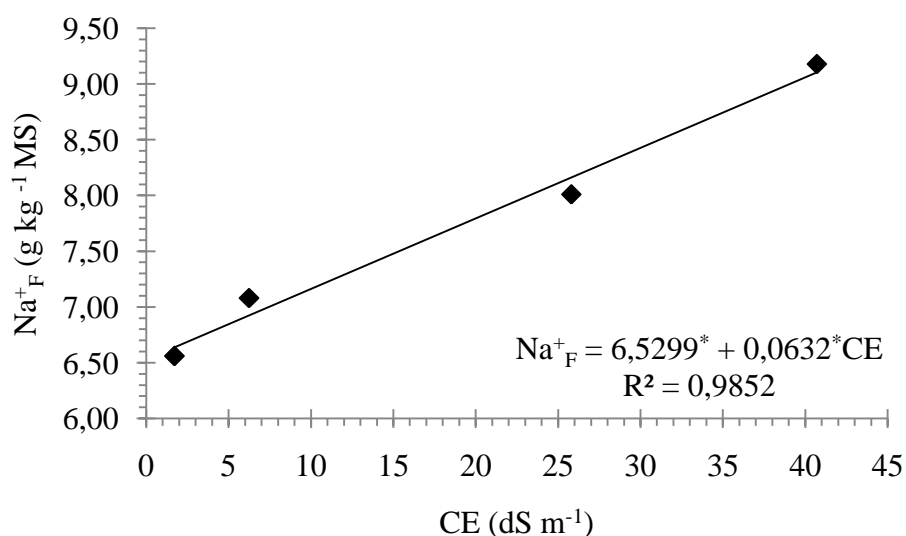
Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Lima (2014), ao discorrer que as concentrações de K^+ nas raízes de plantas de coqueiro foram linearmente reduzidas em função da salinidade da água de irrigação.

Comparando-se as partes das plantas, verifica-se que, em termos gerais, os maiores teores de potássio foram encontrados nas raízes ($22,78 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) a cerca de 1,6 vezes aos observados nas folhas ($14,20 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), independente do nível de deficiência hídrica e/ou de salinidade. Tal fato sugere que essa espécie não apresenta o mecanismo de distribuição de K^+ para as folhas em detrimento às células das raízes, que é considerado uma importante característica para a tolerância à salinidade nos vegetais (AQUINO *et al.*, 2007). É possível que o acúmulo de K^+ no sistema radicular, em comparação às folhas, seja uma estratégia de defesa adotada por parte do vegetal contra o excesso de Na^+ na solução do solo (INOCENCIO; CARVALHO; FURTINI NETO, 2014).

De acordo com Feijão *et al.* (2013), o sustento de elevados teores de K^+ nos tecidos vegetais é apontado como um corriqueiro mecanismo de proteção adotado contra os efeitos tóxicos dos sais, uma vez que para uma homeostase iônica celular adequada, exige-se a manutenção de altas concentrações de K^+ no citosol.

A salinidade do solo resultou em aumento nos teores foliares de Na^+ , com valores variando de 6,64 a $9,10 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, para os solos de condutividade elétrica de 1,72 a $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Constatou-se, através da análise de regressão, que o efeito significativo do incremento no nível salino do solo acarretou um acréscimo linear de $0,0632 \text{ g de Na}^+ \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$ (0,97%) nos tecidos foliares das plantas de coqueiro por cada aumento unitário da CE do solo (Figura 3).

Figura 3 - Teores do íon Na^+ em folhas de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplante. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Acréscimos nos teores foliares do íon Na^+ em plantas submetidas à salinidade também foram evidenciados por outros autores (SILVA *et al.*, 2009a) e podem ser explicados pela crescente disponibilidade desse elemento na solução solo, ao longo do gradiente de salinidade avaliado (Tabela 2, Capítulo 2).

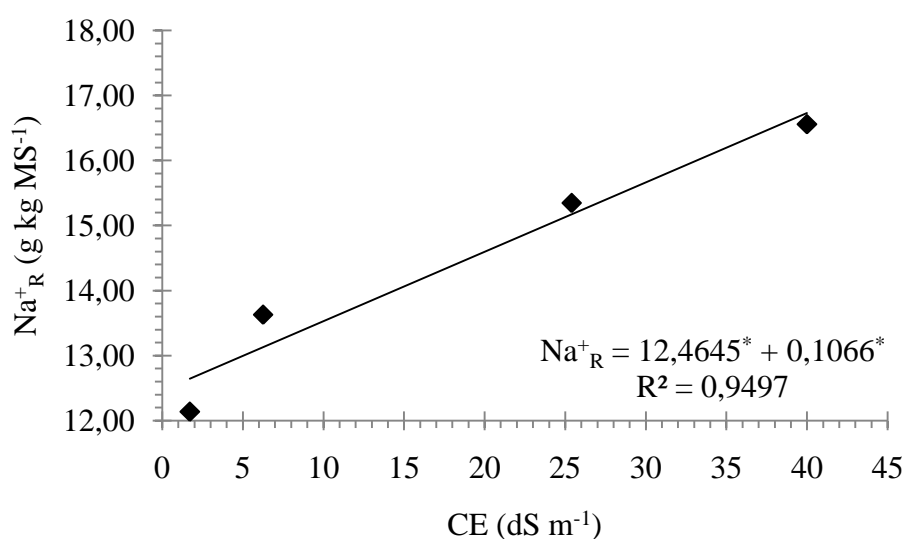
De acordo com Sousa *et al.* (2012), o acúmulo de Na^+ nos tecidos foliares das espécies vegetais sob estresse salino representa um dos principais efeitos inerentes a esse agente sobre o metabolismo vegetal, haja vista que as elevadas concentrações desse íon podem ocasionar lesões irreversíveis nas estruturas celulares, as quais podem comprometer a eficácia metabólica, podendo, até mesmo, resultar em morte celular. Adicionalmente, infere-se que o Na^+ pode ser considerado uma citotoxina, ao passo que sua elevada concentração nos tecidos foliares mostra-se potencialmente capaz de desestabilizar membranas e proteínas, afetando negativamente processos celulares e fisiológicos fundamentais, tais como os mecanismos de divisão e de expansão celular. Além disso, pode-se verificar alteração no estado nutricional, comprometendo, substancialmente, o metabolismo primário e secundário, assim como a própria sobrevivência dos vegetais em ambientes salinos (HASEGAWA, 2013).

No presente trabalho, embora o gradiente de salinidade do solo avaliado tenha resultado em incrementos nos teores foliares de Na^+ , cumpre salientar que o mesmo não foi capaz de acarretar nas folhas de coqueiro a incidência de sintomas visuais característicos de fitotoxidez por Na^+ , tais como murchamento e/ou amarelecimento (INOCENCIO; CARVALHO; FURTINI NETO, 2014). Portanto, hipotetiza-se, que, em plantas de coqueiro, o efeito da salinidade pode ser mais danoso devido ao efeito físico (redução na quantidade de água disponível às plantas, por exemplo), em detrimento ao efeito tóxico direto do Na^+ , fato que reveste a espécie de uma ampla tolerância ao excesso de sais, sobremaneira, de sódio (CRUZ *et al.*, 2006). Isso é condizente com Ferreira Neto *et al.* (2007), ao relatarem que o coqueiro consegue assegurar um equilíbrio catiônico adequado, até quando submetido a altos níveis de salinidade, evitando desta forma, a incidência de potenciais efeitos deletérios inerentes aos excessos de sais sobre o desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, supõe-se que, o coqueiro, na verdade, utilizou o abundante íon Na^+ como um osmótico relativamente “barato” do ponto de vista energético para a garantia da turgescência sob condições de elevada salinidade. Existe ainda a possibilidade do excesso de Na^+ ter sido armazenado em vacúolos nas células mesofílicas, de modo a assegurar baixas concentrações no citosol, evidenciado, desta forma, a provável e relevante contribuição deste soluto no ajustamento osmótico, mecanismo requerido para a expansão celular, assim como para a manutenção da turgescência sob condições salinas (MIRANDA *et al.*, 2013).

Quanto aos teores radiculares do íon Na^+ , os valores situaram-se entre 12,65 e 16,80 g kg^{-1} MS, de tal forma que o menor valor foi obtido no solo que encerra a menor das salinidades (1,72 dS m^{-1}), ao passo que o máximo, superior em aproximadamente 33% quando comparado a este, foi evidenciado na salinidade correspondente a 40,70 dS m^{-1} (Figura 4).

Figura 4 - Teores do íon Na^+ em raízes de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplante. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Constatou-se, via análise de regressão, que de forma semelhante ao observado nos tecidos foliares, os incrementos nos níveis de salinidade do solo resultaram em aumentos lineares nos teores radiculares de Na^+ , de tal magnitude que o modelo matemático ao qual os dados melhor se ajustaram estimou para cada elevação unitária de CE, um incremento médio de 0,1066 $\text{g de Na}^+ \text{kg}^{-1}$ MS (0,85%) nas raízes (Figura 4).

Semelhantemente, Lima (2014) também averiguou incrementos lineares nos teores foliares e radiculares de Na^+ , em plantas jovens de coqueiro cultivadas sob crescentes níveis de salinidade da água de irrigação. Por outro lado, os valores médios encontrados pelo autor foram inferiores aos mensurados no presente trabalho, tanto nas folhas ($1,96 \pm 0,71$ $\text{g de Na}^+ \text{kg}^{-1}$ MS) quanto nas raízes ($0,68 \pm 0,14$ $\text{g de Na}^+ \text{kg}^{-1}$ MS), possivelmente, pelo fato da salinidade, no presente estudo, ser inerente ao próprio solo.

Os aumentos nos teores médios de Na^+ nas raízes frente aos diferentes níveis de salinidade avaliados eram esperados, já que os incrementos de seus respectivos teores nas raízes são rotineiramente acompanhados pelos aumentos das concentrações de Na^+ na solução

solo (BALIZA *et al.*, 2010). Tal incremento pode estar também relacionado ao contato direto das raízes com o Na^+ , que, dentre outros danos, é potencialmente capaz de provocar alterações na integridade e na permeabilidade seletiva das membranas plasmáticas das células constituintes dos tecidos radiculares, contribuindo para com o incremento de sua absorção e, por conseguinte, de seu acúmulo nesse referido órgão. Isso indica que acumulação radicular de Na^+ pode não ser interpretada apenas como uma consequência direta dos altos níveis desse referido íon no solo (BELKHEIRI; MULAS, 2013; DUTRA *et al.*, 2011).

Comparando-se as partes das plantas, pode-se verificar que os maiores teores de sódio foram encontrados nas raízes (14,42 g de Na^+ kg^{-1} MS), os quais, em termos de valores médios são cerca de 1,9 vezes superiores aos observados nas folhas (7,71 g de Na^+ kg^{-1} MS), independente do nível de deficiência hídrica e/ou de salinidade do solo.

Os resultados obtidos sugerem que as plantas de coqueiro, quando expostas à salinidade, tenderam a reter maiores concentrações de Na^+ nas raízes, evitando que elevados teores deste íon alcançassem a parte aérea (folhas), independente da condição de fornecimento de água à cultura. Conforme Hasegawa (2013), os responsáveis pela redução no movimento deste íon para as folhas são os sistemas de transporte que limitam a captação do Na^+ para os vasos do xilema radicular.

Os vegetais podem reter íons nas raízes, limitando a salinidade da seiva xilemática e reduzindo a quantidade deles que chega às folhas (CUNHA *et al.*, 2012). Segundo Miranda *et al.* (2013), esta capacidade é importante para atenuar os prováveis efeitos deletérios do excesso de Na^+ nos tecidos fotossintetizantes, favorecendo as trocas gasosas e o uso eficiente da água, sob concentrações adversas de salinidade do solo, ainda que o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais venham a ser pronunciadamente sacrificados.

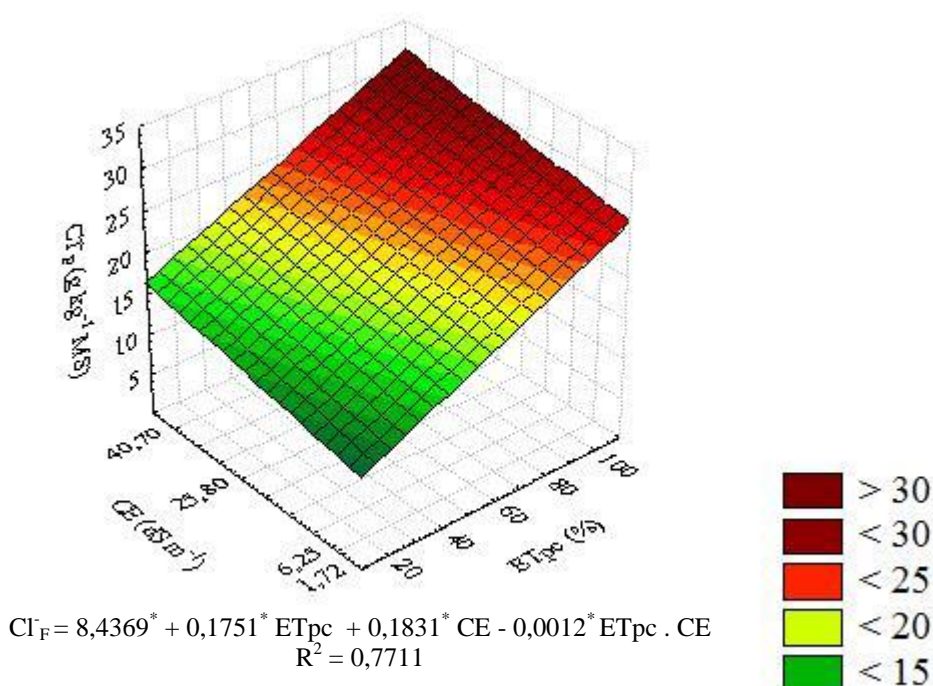
O teor foliar do íon Cl^- variou de 5,19 a 32,54 g kg^{-1} MS, sendo que o menor valor foi obtido com a aplicação de 20% ETpc no solo com salinidade de 1,72 dS m^{-1} , ao passo que o maior valor, superior em 84%, quando comparado a este, resultou do uso de 100% da ETpc com a salinidade de 40,70 dS m^{-1} (Figura 5).

Diante dos presentes resultados, infere-se que as plantas estavam abastecidas com Cl^- de maneira satisfatória, uma vez que os respectivos teores foliares foram superiores ao nível reportado por Teixeira *et al.* (2005) como crítico à espécie (2,5 g kg^{-1} MS), independente das condições de suprimento hídrico e/ou de salinidade impostas às plantas.

Estudando as associações dos níveis dos tratamentos avaliados, ajustou-se significativamente o modelo de superfície de resposta que melhor descreveu o comportamento dos dados de teores foliares de Cl^- ($R^2 = 0,7711$), sendo verificadas respostas lineares e

crecentes do referido íon, com o aumento da lâmina de água e da salinidade do solo, ao passo que cada incremento unitário de ETpc e de CE acarretou, respectivamente, acréscimos de 0,1751 e de 0,1831 g de Cl⁻ kg⁻¹ MS. Por sua vez, a ação conjunta entre os referidos fatores resultou em alteração na natureza da resposta, implicando em decréscimos, embora inexpressivos de 0,0012 g de Cl⁻ kg⁻¹ MS (Figura 5).

Figura 5 - Superfície de resposta para os teores do íon Cl⁻ em folhas de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



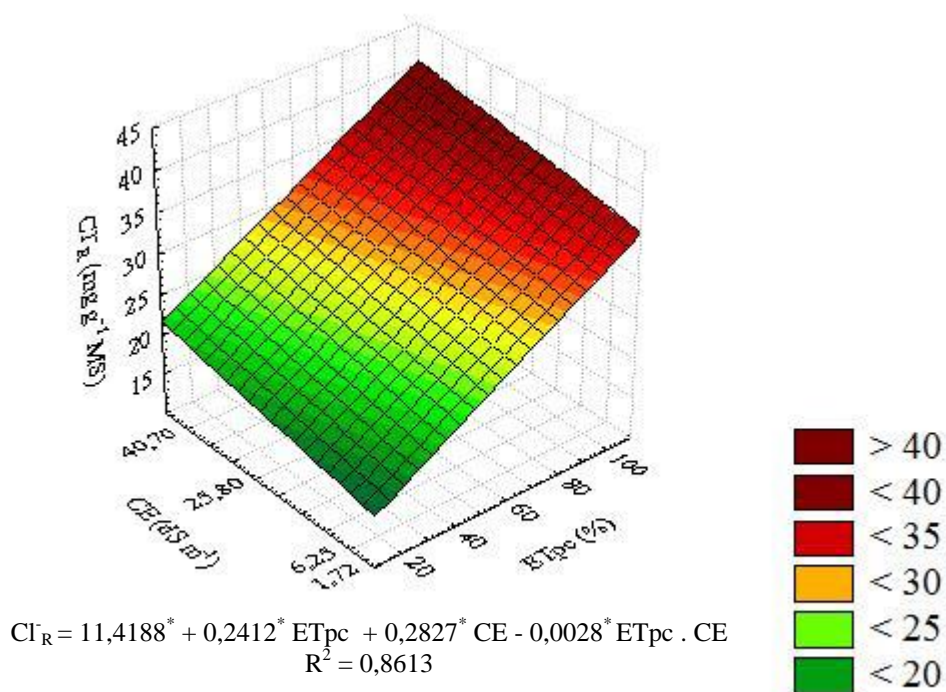
¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de cloreto de 3,08; 1,33; 0,75 e 1,03% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,40 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se acréscimos de 4,12; 0,09; 0,13; 0,05 e 0,83%, por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente.

Quanto aos teores médios do ânion Cl⁻ mensurado nos tecidos radiculares, infere-se que os valores situaram-se entre 12,04 e 37,29 g de Cl⁻ kg MS⁻¹. As associações entre os níveis dos tratamentos de deficiência hídrica e de salinidade do solo que acarretaram os

maiores e os menores teores foliares de Cl^- foram respectivamente: 100% da ETpc com $40,70 \text{ dS m}^{-1}$ e 20% da ETpc com $1,72 \text{ dS m}^{-1}$. Essas combinações também condicionaram os valores extremos dos teores radiculares de Cl^- , o que leva a deduzir que, no presente estudo, os teores foliares e radiculares de Cl^- foram proporcionais, o que possivelmente reflete, ainda que em termos simples, as prováveis crescentes concentrações do íon Cl^- na solução do solo, ao longo dos crescentes níveis de salinidade avaliados, muito embora não tenha sido possível determinar os teores de Cl^- no solo (Figura 6).

Figura 6 - Superfície de resposta para os teores do íon Cl^- em raízes de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 120 DAT (D). Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Semelhantemente ao observado para os teores foliares do íon Cl^- , o modelo matemático que melhor descreveu as respostas da referida variável em função dos diferentes níveis dos fatores em estudo ($R^2 = 0,8613$), denotou também incrementos lineares positivos para os níveis de ETpc e de CE, ao passo que cada elevação unitária nos níveis dos aludidos fatores acarretaram acréscimos de $0,2412$ e $0,2827 \text{ g de Cl}^- \text{ kg MS}^{-1}$, respectivamente (Figura 6).

Por outro lado, a interação entre ET_{pc} e CE modificou a natureza das respostas dos fatores isolados sob a variável em questão, resultando em decréscimos de 0,0028 g de Cl⁻ kg MS⁻¹, para cada incremento unitário nos respectivos fatores em estudo (Figura 6).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc}, estimaram-se acréscimos nos teores radiculares de cloreto de 2,01; 1,98, 0,59 e 0,70% por aumento unitário do % da ET_{pc}, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,40 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se acréscimos de 3,33; 0,05; 0,11; 0,20 e 0,25% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc}, respectivamente.

Portanto, pode-se inferir que a utilização de elevadas níveis de ET_{pc} combinados com elevados níveis de salinidade do solo provocaram acréscimos nos teores de Cl⁻ nos tecidos foliares e radiculares, o que demonstra o provável efeito aditivo do favorecimento hídrico sobre o conteúdo de Cl⁻ foliar e/ou radicular. Isso indica que a absorção de íons cloreto da solução solo e sua consequente acumulação nos tecidos vegetais têm uma relação direta com sua disponibilidade no solo, bem como com a capacidade de captação de água pelas plantas (CUNHA *et al.*, 2012).

Segundo Valicheski *et al.* (2011), a mobilidade do Cl⁻ no solo ocorre, preferencialmente, por fluxo de massa, assim, provavelmente, os menores níveis de deficiência hídrica resultaram em uma menor absorção de água e, por conseguinte, de Cl⁻, o que pode explicar, em parte, os menores teores foliares e radiculares do íon em questão sob condições de deficiência hídrica. Assim, supõe-se que a deficiência hídrica tenha causado restrição na taxa de transpiração, ocorrendo, então, diminuição do consumo de água e, de modo óbvio, uma redução na absorção dos prováveis elementos constituintes da solução solo (STEIDLE NETO; ZOLNIER; MAROUELLI, 2010).

Quanto aos incrementos lineares positivos dos teores foliares e radiculares do íon Cl⁻, em função das crescentes salinidades avaliadas, pode-se inferir que este referido comportamento foi uma implicação direta da maior absorção desse íon, à medida que os solos se tornavam mais salinos, em decorrência dos prováveis incrementos das respectivas concentrações de Cl⁻ na solução solo. Esses resultados são condizentes com informações de Ferreira Neto *et al.* (2007) e de Lima (2014), quando também constataram acumulação de Cl⁻ em folhas de coqueiro, com o incremento da salinidade da água de irrigação.

É importante destacar que embora o Cl⁻ seja reconhecido como um micronutriente, quando absorvido e acumulado nos tecidos vegetais em concentrações

suficientemente altas, pode desencadear uma série de danos fisiológicos e/ou metabólicos, sobretudo, nas funções dos sistemas enzimáticos e na síntese protéica, comprometendo, por fim, a eficiência fotossintética (FREIRE *et al.*, 2013).

Segundo Teixeira *et al.* (2005), particularmente, o coqueiro detém uma elevada demanda por esse ânion (Cl^-), de tal magnitude que seu adequado suprimento torna-se relevante, diante da explícita exigência nutricional da cultura pelo mesmo.

Para os autores, quando o coqueiro é cultivado afastado da orla marítima, evidencia-se, facilmente, a deficiência de Cl^- , o que provavelmente pode justificar, ao menos parcialmente, os incrementos nos teores foliares e radiculares desse ânion (Cl^-) em função da salinidade que têm sido evidenciados na literatura, haja vista que com o acréscimo do conteúdo de sais no solo espera-se, quase que unanimemente, uma maior disponibilidade deste ânion em solução.

Gomes e Prado (2007) reportam que de uma maneira distinta em plantas de coqueiro o Cl^- desempenha importantes funções metabólicas, sobretudo nas relações hídricas, o que leva a supor que no presente estudo, o referido íon, uma vez absorvido e acumulado, pode ter ainda contribuído positivamente para com a capacidade da espécie de tolerar, além da salinidade, as condições de insuficiência de água impostas nos tratamentos aos quais as necessidades hídricas não foram plenamente atendidas ($\text{ET}_{\text{pc}} < 100\%$).

Em síntese, para os autores supracitados, na espécie, há claras evidências que o referido íon é importante para a regulação da abertura estomática, a tal ponto que tem sido sugerido que o papel do Cl^- é fisiologicamente dominante na regulação estomática de plantas de coqueiro, em detrimento à própria e reconhecida atuação do íon K^+ nesse tal processo. O Cl^- também desempenha uma função essencial na integração fisiológica e metabólica de uma série de mecanismos que isolados e/ou combinados são capazes de conferir uma maior tolerância à escassez hídrica às plantas de coqueiro. Desta forma, a eventual deficiência deste nutriente reduz drasticamente a capacidade osmorregulatória da espécie sob condições adversas de suprimento de água, uma vez que, há fortes indícios que o Cl^- atua como um efetivo osmólito, pelo menos aos níveis das células guardas e subsidiárias, que são as constituintes do complexo estomático.

Semelhante ao verificado para o íon Na^+ , avaliando-se os teores médios de Cl^- nas distintas partes das plantas, observou-se um acúmulo cerca de 1,3 vezes superior do referido íon nas raízes (28,04 g de $\text{Cl}^- \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$), em detrimento às folhas (21,06 g de $\text{Cl}^- \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$), independente da condição de suprimento hídrico e/ou de salinidade do solo. Esse resultado fornece fortes indícios de que a tolerância à salinidade em espécies frutíferas associa-se com

mecanismos eficazes de retenção de íons tóxicos nas raízes, o que limita a acumulação dos mesmos em quantidades capazes de acarretar danos aos tecidos fotossintetizantes (ARAÚJO *et al.*, 2014).

De acordo com Bader *et al.* (2015), os mecanismos associados com a exclusão de íons tóxicos como o Na^+ e Cl^- dependem tanto da seletividade da absorção por parte do sistema radicular, quanto da resistência à transferência desses íons das raízes para as folhas, no intuito de assegurar, desta forma, a manutenção de concentrações iônicas em níveis adequados nas folhas.

Por outro lado, face à provável importância do adequado suprimento do íon cloreto (Cl^-) para o metabolismo de plantas de coqueiro, sobretudo, diante das condições adversas de suprimento de água, supõe-se que, na verdade, os elevados teores deste íon que por ventura alcançaram as folhas, podem, na verdade, ter contribuído positivamente para com o desempenho exibido pela espécie em função dos níveis dos agentes estressores avaliados no presente trabalho.

Isso é ratificado, segundo Sobral e Nogueira (2008), pelo fato de que em plantas de coqueiro, considera-se que o cloro é o terceiro nutriente exportado em maior quantidade, ao ponto de alguns autores considerarem o Cl^- , na verdade, um macronutriente, em consequência da significativa quantidade requerida por parte da espécie, a qual se assemelha quantitativamente às demandadas de N e de K.

No que se relaciona à contribuição comparativa dos solutos inorgânicos avaliados para o possível ajustamento osmótico adotado por parte das raízes e das folhas das plantas de coqueiro, verifica-se maior contribuição relativa do íon Cl^- , seguida do K^+ e, por último, mas não menos importante do Na^+ . Estes comportamentos contrapõem as tendências gerais exibidas pelas plantas que exibem grande afinidade por íons salinos, uma vez que nessas referidas espécies, rotineiramente, averigua-se uma maior contribuição relativa do K^+ , seguido pelo Cl^- , em detrimento ao Na^+ (SILVEIRA *et al.*, 2009). Por outro lado, essas diferenças podem ser explicadas em função da essencialidade do cloro para o coqueiro, aliado à relevância do potássio nas relações hídricas, mesmo diante das evidências das prováveis atuações do Na^+ em substituição ao K^+ sob condições de elevados conteúdos de sais, sobretudo de sódio no solo.

3.2 Solutos orgânicos

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 2 indicam que os teores de carboidratos solúveis (foliares) e de prolina livre (foliares e radiculares) foram influenciados significativamente pelos fatores déficit hídrico ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$). Porém, nenhum efeito significativo da salinidade do solo ($p \geq 0,05$) e da interação entre salinidade e déficit hídrico ($p \geq 0,05$) foi observado sobre os teores dos solutos orgânicos estudados.

Tabela 2 - Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores dos solutos orgânicos carboidratos solúveis (CS), N - aminossolúveis (N - amin.) e prolina livre (PR) em folhas (CS_F, N - amin. _F e PR_F) e em raízes (CS_R, N - amin. _R e PR_R) de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais, avaliados ao término do período experimental (121 DAT). Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios					
		CS _F	CS _R	N - amin. _F	N - amin. _R	PR _F	PR _R
Blocos	3	3.752,23 [*]	188,91 ^{ns}	15,34 ^{ns}	27,47 ^{ns}	0,42 ^{ns}	15,02 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	5.160,56 [*]	733,97 ^{ns}	18,39 ^{ns}	55,05 ^{ns}	4,11 ^{**}	74,39 ^{**}
Resíduo – D	12	963,28	2.191,91	4,69	20,26	0,60	4,79
Parcelas	19						
Salinidade do solo (S)	3	567,33 ^{ns}	959,26 ^{ns}	9,64 ^{ns}	4,30 ^{ns}	0,23 ^{ns}	7,24 ^{ns}
Interação S x D	12	1.272,13 ^{ns}	2.449,56 ^{ns}	14,77 ^{ns}	23,71 ^{ns}	1,24 ^{ns}	5,57 ^{ns}
Resíduo – S	45	843,00	1.506,39	5,79	21,67	0,79	4,52
Total	79						
C.V. - D (%)		24,17	21,29	23,27	23,63	23,35	26,10
C.V. - S (%)		22,61	24,23	28,07	24,44	72,64	24,50

¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, ^{*} significativo a 5% de probabilidade, ^{**}: significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

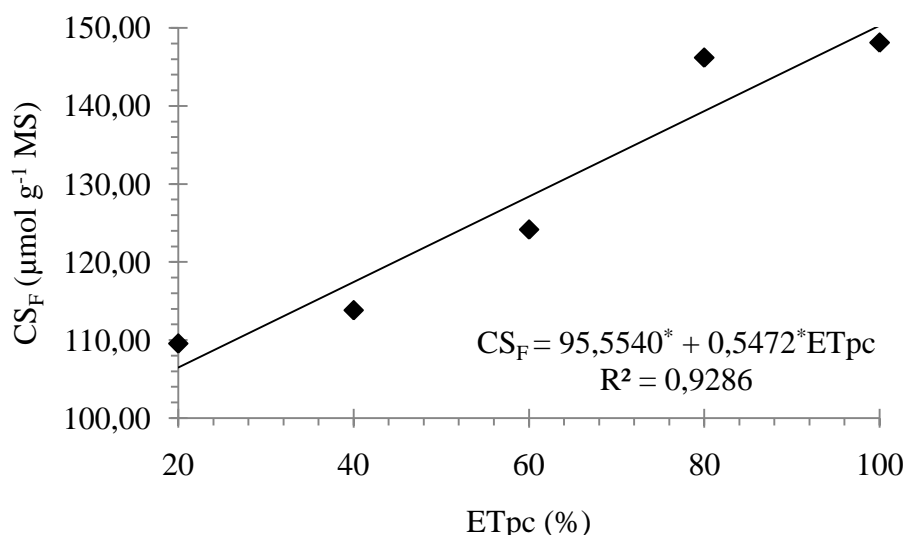
Pode-se supor que o estresse salino imposto às plantas não foi suficiente para causar mudanças significativas nos conteúdos de solutos orgânicos nas plantas estudadas.

As inexistências de efeitos da salinidade e da interação se contrapõem a vários registros presentes na literatura que comprovaram que o acúmulo de solutos compatíveis associa-se à resistência a estresses abióticos, sobretudo no que se relaciona à salinidade, o que indica que esses solutos desempenham um papel fundamental na osmoproteção (SILVA *et al.*, 2009c; SIMPSON *et al.*, 2014). Porém, outros estudos têm advertido que a acumulação de solutos orgânicos, em condições ambientais adversas, deve estar mais relacionada,

principalmente, a distúrbios metabólicos, em detrimento ao próprio ajustamento osmótico (LUTTS *et al.*, 1999).

No que se relaciona aos efeitos dos diferentes níveis de deficiência hídrica sob os teores foliares de carboidratos solúveis, evidenciou-se que os valores situaram-se entre 106,50 e 150,27 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, de maneira que os teores extremos da variável em questão foram obtidos nos níveis de reposição da evapotranspiração potencial da cultura equivalentes a 20 e a 100% da ETpc, respectivamente (Figura 7).

Figura 7 - Teores de carboidratos solúveis em folhas (CS_F) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplante. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Mediante a análise de regressão, denota-se que os teores foliares de carboidratos solúveis seguiram um modelo linear de predição em função dos níveis de deficiência hídrica avaliados, em que o tratamento com 100% da ETpc foi superior em aproximadamente 41%, quando comparado a 20% da ETpc, de tal forma que é possível estimar, através do modelo matemático ao qual os dados melhor se ajustaram que cada incremento unitário de ETpc resultou em acréscimos de aproximadamente 0,55 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS (0,57%), conforme o exposto na Figura 7.

De acordo com Vitorino *et al.* (2012), normalmente, as plantas reagem osmoticamente à redução na disponibilidade de água do solo através de incrementos dos conteúdos de carboidratos solúveis em seus tecidos, com a finalidade de contribuir para com a adaptação ou, simplesmente, para a adequação ao estresse hídrico incidente. Os resultados

observados neste estudo, no entanto, demonstram o contrário, ou seja, as plantas de coqueiro exibiram, na verdade, uma aparente redução nos conteúdos deste soluto diante da escassez de água, o que pode ainda estar relacionado às menores mobilizações de reservas.

Complementarmente, de acordo Loka e Oosterhuis (2014), um dos aspectos mais afetados sob condições de estresse hídrico é o metabolismo de carboidratos, de tal forma que, em uma variedade de culturas, têm sido relatados acúmulos destes compostos nas folhas, frente à escassez de água, o que pode estar relacionado, principalmente, à baixa regulação de certas enzimas que são diretamente associadas ao metabolismo dos carboidratos sob condições de reduzidos conteúdos de água no solo.

De acordo com Akinci e Losel (2009), reduções nos teores de carboidratos solúveis em condições de deficiência hídrica sinalizam o restrito potencial osmorregulatório das plantas. Conforme os referidos autores, essa provável redução nos teores foliares de carboidratos solúveis relaciona-se ao próprio consumo destes compostos, para assegurar a sobrevivência da espécie sob condições ambientais adversas. Além disso, especificamente, sob déficit hídrico, estes constituintes podem ser alterados tanto de forma quantitativa como qualitativa, ao passo que essas evidentes modificações podem ser interpretadas como um relevante sinal metabólico desencadeado em resposta ao estresse decorrente da insuficiência de água.

Segundo Pedroso *et al.* (2014), sob condições ambientais adversas aos vegetais, os carboidratos solúveis sintetizados nas folhas são usados para manter as atividades metabólicas que asseguram a sobrevivência da planta, de tal forma que reduções na concentração foliar destes compostos são rotineiramente relatadas em severas condições de déficit hídrico.

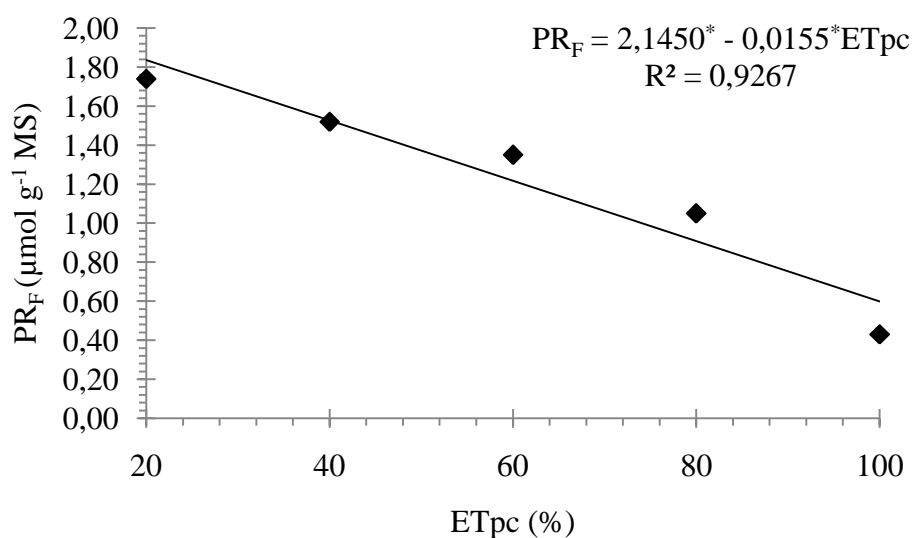
Adicionalmente, pode-se inferir que os incrementos lineares constatados nos teores foliares de carboidratos solúveis são reflexos das ascendentes respostas das taxas fotossintéticas evidenciadas nas plantas frente ao favorecimento da disponibilidade de água no solo (Figura 7, Capítulo 3).

Diante dos presentes resultados, supõe-se que os crescentes acúmulos lineares de carboidratos solúveis registrados com os incrementos na disponibilidade de água no solo evidenciam a provável contribuição que estes solutos exerceram no suprimento de parte da demanda metabólica das plantas sob condições de deficiência hídrica, o que, provavelmente impediu o seu respectivo acúmulo sob condições de insuficiência de água, levando a supor que, estes, não participaram do provável fenômeno da osmorregulação na espécie.

Os teores foliares de prolina livre variaram de $0,60 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$ nas plantas plenamente irrigadas (100% da ET_{pc}) a $1,84 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$ naquelas cultivadas sob o mais

severo nível de estresse hídrico (20% da ET_{pc}), perfazendo um acréscimo percentual de aproximadamente 67%, ao se comparar os valores extremos obtidos para o soluto em questão, tornando evidente que, em plantas de coqueiro, os teores foliares de prolina aumentaram com a redução da disponibilidade hídrica do solo (Figuras 8).

Figura 8 - Teores de prolina livre em folhas (PR_F) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ET_{pc}), aos 121 dias após o transplante. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

A análise de regressão para os teores foliares de prolina livre em função dos diferentes níveis de deficiência hídrica avaliados apresentada na Figura 8 indicou que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi o linear depressivo ($R^2 = 0,9267$), sendo o mesmo capaz de prever que cada incremento unitário no percentual de reposição das perdas de água via evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) acarretou uma redução de aproximadamente 0,72% nos teores foliares de prolina livre ($0,0155 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$).

Tais resultados estão de acordo com as informações de Filippou *et al.* (2014), ao relatarem que, corriqueiramente, tem-se verificado incrementos nos teores foliares de prolina livre como um dos efeitos inerentes ao estresse hídrico, de tal forma que, conforme os mencionados autores há claras evidências de que essas respostas características são capazes de abrandar as implicações deletérias da insuficiência de água sob as espécies vegetais.

Segundo Alvarenga *et al.* (2011), evidencia-se que a prolina atua no ajustamento osmótico, na estabilização de estruturas subcelulares e na eliminação de radicais livres, ou,

ainda, pode constituir um potencial estoque de nitrogênio e de carbono, passível de ser metabolicamente aproveitado após o período de exposição ao estresse.

A este respeito, Slabbert e Krüger (2014), discorrem que as plantas podem acumular solutos compatíveis, tais como a prolina, em resposta aos estresses para facilitar a absorção de água e para proteger as células contra a acumulação excessiva de espécies reativas de oxigênio. Conforme os referidos autores, a acumulação de prolina foi correlacionada com uma variedade de condições edafoclimáticas adversas aos vegetais e, este osmólito, aparenta ser um importante agente antioxidante de natureza não enzimática. Em condições de estresse hídrico, a prolina pode operar protegendo indiretamente o fotossistema II, bem como eliminando diretamente o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, impedindo a acentuação da peroxidação lipídica, com o objetivo fim de obter um mecanismo integrado, capaz de conferir ao vegetal uma tolerância diferenciada ao estresse hídrico.

De acordo com Silva *et al.* (2012), nas plantas submetidas à deficiência hídrica, os acréscimos dos teores de prolina podem estar associados ao aumento das atividades das enzimas proteolíticas, que sob o predomínio destas condições adversas aos vegetais passam a atuar, promovendo uma maior disponibilidade desse aminoácido livre.

Adicionalmente, presume-se que o acúmulo deste osmólito pode se proceder em decorrência do aumento no fluxo de glutamato, que é metabolizado pela Pirrolina-5-Carboxilato Sintetase (P5CS). Decréscimos no potencial osmótico da célula levam a um aumento na síntese de P5CS e, conseqüentemente, incrementam a síntese de prolina. Acréscimos dos teores deste aminoácido podem derivar também de certas inibições dos próprios processos de degradação e de oxidação que acarretam o catabolismo das moléculas de prolina (MONTEIRO *et al.*, 2014).

Resultados semelhantes aos presentes foram obtidos por Gomes *et al.* (2010), quando também constataram um acúmulo expressivo de prolina nas folhas de plantas jovens de coqueiro em resposta ao déficit hídrico. Dos resultados, os referidos autores inferiram que, aparentemente, este acentuado acúmulo de prolina livre foi mais bem relacionado com funções de proteção, em vez de osmorregulatórias, haja vista a constatação de uma elevada estabilidade nas membranas celulares, constatada mediante as medições de fuga de electrólitos, bem como uma baixa taxa de fotoinibição. Os autores ainda ratificam que os acúmulos de prolina livre em folhas de coqueiro guardam uma acentuada relação com o aumento das concentrações de ácido abscísico (ABA), hormônio que está diretamente envolvido na regulação da acumulação de solutos e, portanto, com o ajuste osmótico na espécie.

Enquanto vários trabalhos indicam uma alta correlação entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância à seca, outros sugerem que o acúmulo é simplesmente um efeito do estresse. Porém, cumpre salientar que o acúmulo de prolina em plantas sob estresse tem sido relacionado mais à tolerância do que à susceptibilidade às condições de estresse (RIBEIRO *et al.*, 2014).

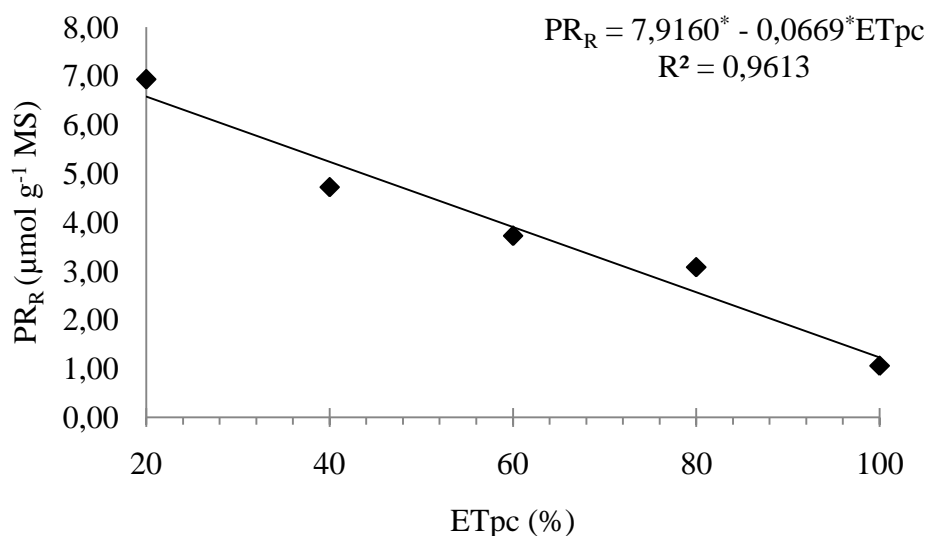
Desta forma, apesar dos relatos presentes na literatura que apontam o papel da prolina seguido da sua participação no ajuste osmótico como um importante mecanismo capaz de conferir tolerância à deficiência hídrica em vários genótipos de coqueiro, Gomes e Prado (2010) ainda questionam a relevância dessa estratégia para a tolerância à seca na espécie.

No entanto, diante das respostas evidenciadas, supõe-se que, estes acúmulos foliares de prolina livre, associados às implicações benéficas que são inerentes a este osmólito, contribuem, de fato, para a provável resistência ao estresse hídrico exibida por parte das plantas jovens de coqueiro na presente pesquisa, seja através da osmorregulação ou da osmoproteção ou, até mesmo, por meio do sinergismo entre os aludidos fenômenos.

Quanto aos teores radiculares de prolina livre, verificou-se que as plantas de coqueiro encerraram um valor máximo de $6,58 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$, sob o nível de deficiência hídrica equivalente a 20% da ET_{pc}, ao passo que no tratamento no qual as necessidades hídricas foram atendidas em totalidade (100% da ET_{pc}), mensurou-se o menor dos valores para a variável em questão ($1,23 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$). Assim, o incremento observado nos teores radiculares de prolina entre o maior e a menor nível de reposição das perdas de água (ET_{pc}) foi de aproximadamente 82%, sendo que a amplitude entre os valores extremos foi de aproximadamente $5,35 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$ (Figura 9).

Os dados melhor se ajustaram à equação de regressão do tipo linear decrescente ($R^2 = 0,9613$), sendo observado uma redução de $0,0669 \mu\text{mol}$ de prolina livre $\text{g}^{-1} \text{MS}$, correspondente a cerca de 0,85%, por cada aumento unitário no nível de reposição da ET_{pc} (Figura 9).

Figura 9 - Teores de prolina livre em raízes (PR_R) de plantas jovens de coqueiro, cultivar “Anão Verde”, em função de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Observa-se analogia entre os teores foliares e radiculares de prolina livre, sendo que estes resultados podem ser parcialmente explicados levando-se em consideração as informações de Rhein *et al.* (2011), ao discorrerem que, em plantas sob estresse hídrico, a prolina livre sintetizada nos tecidos foliares, pode ser facilmente translocada pelo floema até as raízes e lá se acumulam para preservar e manter a turgescência das células radiculares, onde a escassez de água no solo é primeiramente “percebida”.

Diante dos resultados, hipotetiza-se que estes proeminentes acúmulos de prolina livre evidenciados no sistema radicular e nas folhas das plantas jovens de coqueiro, possivelmente, resultam ainda de uma série de distúrbios que acontecem no metabolismo proteico em decorrência do estresse hídrico, uma vez que, sob o predomínio destas condições adversas podem ocorrer substanciais mudanças nas proporções dos aminoácidos acarretando, comumente, dentre as mais prováveis consequências, uma elevação dos teores de poliaminas, argininas e ornitinas, que, em suma, favorecem a biossíntese de prolina livre (BORTOLO; MARQUES; PACHECO, 2009).

Ao se comparar os valores exibidos pelos teores foliares e radiculares de prolina livre em termos médios, infere-se que este soluto foi acumulado de forma mais proeminente nas raízes ($3,90 \mu\text{mol g}^{-1}$ MS), do que nas folhas ($1,21 \mu\text{mol g}^{-1}$ MS), sendo que os teores deste osmólito por parte do sistema radicular foram superiores em aproximadamente 3,22 vezes quando comparados às folhas, independente do nível de deficiência hídrica considerado.

Estas observações sugerem que o sistema radicular, além de realizar a comunicação com a parte aérea, desempenha uma importante função nos mecanismos osmorregulatórios apresentados pelas plantas jovens de coqueiro sob condições de escassez hídrica, mediante o comprovado acúmulo de substâncias de baixo peso molecular, com destaque para o soluto orgânico prolina.

Este superior acúmulo de prolina livre por parte das raízes quando comparado as folhas pode ser explicado através das informações reportadas por Signorelli *et al.* (2013), ao sugerirem que a prolina é sintetizada na parte aérea, dentre outras funções, para regenerar NADP⁺ e, em seguida, é translocada para as raízes, onde o seu catabolismo é necessário para promover a sobrevivência e/ou o crescimento vegetal, sob condições de baixos potenciais de água no solo.

Em síntese, possivelmente, dentre os solutos orgânicos analisados, a prolina livre foi o que mais contribuiu para o provável ajustamento osmótico das plantas de coqueiro sob condições de deficiência hídrica, tanto nas folhas como nas raízes, haja vista que a insuficiência de água, provavelmente, induziu nas plantas o consumo das reservas foliares de carboidratos solúveis, associado à aparente invariabilidade dos teores dos demais N - aminossolúveis avaliados frente às variações dos níveis de disponibilidade hídrica no solo.

Embora a acumulação de prolina livre durante o estresse hídrico esteja bem documentada na literatura nas mais diversas espécies vegetais (CAMPOS *et al.*, 2011), na presente pesquisa, infere-se que as alterações nos teores radiculares e foliares de prolina através das sínteses aumentadas e/ou das utilizações metabólicas diminuídas, não foram suficientes para prognosticar precisamente se o real papel desses compostos na respostas das plantas de coqueiro à deficiência hídrica é de osmorregulação ou de osmoporteção. De acordo com Silva *et al.* (2010), a constatação do ajustamento osmótico nas plantas é de difícil avaliação, sendo também laboriosa a avaliação da importância do fenômeno para os seus possíveis efeitos benéficos na tolerância às condições estressantes aos vegetais.

Nesta perspectiva, Vendruscolo *et al.* (2007), colocam em questão se o acúmulo deste aminoácido proporciona verdadeiramente vantagem adaptativa ou se trata apenas de mais uma consequência de uma série de alterações que ocorrem no metabolismo devido à imposição de condições estressantes aos vegetais.

No caso específico da prolina livre, baseando-se nas proposições de Lacerda *et al.* (2004), o fato dos teores foliares e radiculares terem permanecido sempre muito baixos, sobretudo, quando comparados aos dos solutos inorgânicos, pode sinalizar a pequena contribuição efetiva que este soluto tenha exercido nos mecanismos que, integrados, conferem

tolerância à deficiência hídrica em plantas jovens de coqueiro, mesmo diante da constatação dos incrementos registrados frente à redução da disponibilidade hídrica. Desta forma, pode-se inferir que de forma semelhante ao constatado por Gomes *et al.* (2010), o acúmulo foliar e radicular de prolina livre sob deficiência hídrica, possivelmente, causou efeito mais relevante de osmoproteção em detrimento à própria osmorregulação.

Divergindo dos resultados obtidos para os solutos inorgânicos, a analogia entre as respostas constatadas nos solutos orgânicos e os níveis de deficiência hídrica e/ou de salinidade do solo, não se mostraram tão evidentes como comumente acontece com outras espécies vegetais. Em contraste com os íons inorgânicos, os solutos orgânicos em plantas jovens de coqueiro mostraram-se menos influenciáveis à ação avulsa e/ou conjugada dos níveis dos agentes estressores avaliados.

O que pode ser explicado pelo fato das sínteses de solutos orgânicos serem metabolicamente mais “dispendiosas”, uma vez que o “custo energético” de realização de ajustamento osmótico através de íons inorgânicos é muito inferior quando comparado ao uso de moléculas orgânicas sintetizadas nas células. De tal forma que a produção destes solutos orgânicos pode até mesmo impor certos limites ao crescimento das plantas, por consumirem, durante os seus respectivos anabolismos, quantidades significativas de nutrientes e de fotoassimilados que poderiam estar sendo mais bem aproveitados quando direcionados ao próprio crescimento vegetal (BENZARTI *et al.*, 2014).

Diante dos presentes resultados, apoiando-se nas assertivas indicadas pelos referidos autores, supõe-se que através deste mecanismo alternativo de acumulação dos íons inorgânicos em detrimento aos solutos orgânicos, as plantas jovens de coqueiro aparentam “economizar” energia, o que lhes permite crescer de forma mais adequada, até mesmo em condições edafoclimáticas menos favoráveis. Esta vantagem adaptativa pode também estar relacionada à sua habilidade de suportar restrição hídrica e/ou elevadas concentrações internas de íons salinos, através de peculiares ajustes fisiológicos e/ou metabólicos, tais como a retenção radicular, o que, em suma, é determinante para sua provável aptidão à revegetação das áreas afetadas por saís no nordeste brasileiro.

4 CONCLUSÕES

Sob condições de insuficiência de água ocorre manutenção e/ou acúmulo de K^+ nas folhas, ao passo que nas raízes os teores são mutuamente afetados pela deficiência hídrica e pela salinidade do solo, onde esses agentes estressores atuam de forma antagônica sob os teores de K^+ , através de acréscimos e de decréscimos em função do incremento da disponibilidade hídrica e da salinidade, respectivamente.

As condições de estresse salino provocam aumento nos teores de Na^+ tanto nas folhas como nas raízes, especialmente, nas raízes.

Os teores foliares e radiculares do íon Cl^- respondem à interação entre a deficiência hídrica e a salinidade, denotando-se a existência de sinergismo na associação entre os estressores, de tal forma que incrementos no nível de reposição hídrica e/ou de salinidade elevam os teores de Cl^- nas folhas e nas raízes.

O acúmulo de solutos inorgânicos nas plantas de coqueiro obedece à ordem: $Cl^- > K^+ > Na^+$.

O estresse salino isolado ou combinado com a deficiência hídrica não acarreta mudanças significativas nos teores dos solutos orgânicos em plantas jovens de coqueiro.

REFERÊNCIAS

- AHMED, I. M.; NADIRA, U. A., BIBI, N.; CAO, F.; HE, X.; ZHANG, G.; WU, F. Secondary metabolism and antioxidants are involved in the tolerance to drought and salinity, separately and combined, in Tibetan wild barley. **Environmental and Experimental Botany**, v.111, s.n, p.1–12, 2015.
- AKINCI, S.; LOSEL, D.M. The soluble sugars determination in Cucurbitaceae species under water stress and recovery periods. **Advances in Environmental Biology**, v.32, n.2, p. 175 - 183, 2009.
- ALVARENGA, I.C.A.; QUEIROZ, G.A. ; HONÓRIO, I.C.G.; VALADARES, R.V.; MARTINS, E. R. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, n. especial, p. 539 - 541, 2011.
- AQUINO, A. J. S. de; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 961 - 971, 2007.
- ARAÚJO, L. F. de; LIMA, R. E. M.; COSTA, L. de O. da; SILVEIRA, Ê. M. de C.; BEZERRA, M. A. Alocação de íons e crescimento de plantas de cajueiro anão-precoce irrigadas com água salina no campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S34 – S38, 2014.
- BADER, B.; AISSAOUI, F.; KMICHA, I.; SALEM, A. B.; CHEHAB, H.; GARGOURI, K.; BOUJNAH, D.; CHAIEB, M. Effects of salinity stress on water desalination, olive tree (*Olea europaea* L. cvs ‘Picholine’, ‘Meski’ and ‘Ascolana’) growth and ion accumulation. **Desalination**, v.x, n.x, p.1 - 7, 2015.
- BALIZA, D. P.; ÁVILA, F. W.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; PASSOS, A. M. A. dos; PEREIRA, V. A. Crescimento e nutrição de mudas de cafeeiro influenciadas pela substituição do potássio pelo sódio. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 272 - 282, 2010.
- 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.
- BELKHEIRIA, O.; MULAS, M. The effects of salt stress on growth, water relations and ion accumulation in two halophyte *Atriplex* species. **Environmental and Experimental Botany**, v.86, s.n, p.17 – 28, 2013.
- BENZARTI, M.; REJEB, K. B.; MESSEDI, D.; MNA, A. B.; HESSINI, K.; KSONTINI, M.; ABDELLY, C.; DEBEZ, A. Effect of high salinity on *Atriplex portulacoides*: Growth, leaf water relations and solute accumulation in relation with osmotic adjustment. **South African Journal of Botany**, v. 95, s.n, p.70 – 77, 2014.
- BORTOLO, D.P.G.; MARQUES, P.A.A.; PACHECO, A.C. Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.11, n. 4, p.435-441, 2009.

- CAMPOS, M. K. F. de; CARVALHO, K. de; SOUZA, F. S. de; MARURA, C. J.; PEREIRA, L. F. P.; BESPALHOK FILHO, J. C.; VIEIRA, L. G. E. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. **Environmental and Experimental Botany**, v.72, p.242 – 250, 2011.
- CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZZI, K. A.; BARBOSA, A. de M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.519 - 527, 2012.
- CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q. de; QUEIROZ, J. R. de. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v.65, n.2, p.275-284, 2006.
- CUNHA, A. C. M. C. M. da; OLIVEIRA, M. L. DE; CABALLERO, E. C.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G. Growth and nutrient uptake of coffee seedlings cultivated in nutrient solution with and without silicon addition. **Revista Ceres**, v. 59, n.3, p. 392-398, 2012.
- CUNHA, P. C. da; MENDES, B. S. da S.; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. G. **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.
- DUTRA, A. T. B.; SILVA, E. N.; RODRIGUES, C. R. F.; VIEIRA, S. A.; ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G. Temperaturas elevadas afetam a distribuição de íons em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.403 – 409, 2011.
- 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.
- FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p. 1.675 - 1.681, 2007.
- FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.97, p.1 – 10, 2014.
- FREIRE, J. L. de O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R. do; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro amarelo irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n.1, p. 57 - 70, 2013.
- 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.

- GOMES, F. P.; OLIVA, M. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; AQUINO, L. A. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, s.n, p. 379 – 384, 2010.
- GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, 2007.
- GOMES, F.P.; PRADO, C.H.B.A. Coconut palm: ecophysiology under water déficit conditions *In*: Damatta, F.M. (Ed.). **Ecophysiology of Tropical Tree Crops**, Nova Science Publishers: New York p. 151 – 179, 2010.
- GONDIM, F. A.; GOMES FILHO, E.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T. Efeitos do H₂O₂ no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 373 - 381, 2011.
- HASEGAWA, P. M. Sodium (Na⁺) homeostasis and salt tolerance of plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, s.n, p. 19 – 31, 2013.
- INOCENCIO, M. F.; CARVALHO, J. G. de; FURTINI NETO, A. E.. Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.113 - 123, 2014.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, s.n, p. 289 - 295, 2004.
- LIMA, B. L. de C. **Respostas fisiológicas e morfométricas de mudas de coqueiro anão irrigado com águas salinas**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, S. S. da. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 19, n. 1, p. 130 - 136, 2014.
- LOKA, D.A.; OOSTERHUIS, D.M. Water-deficit stress effects on pistil biochemistry and leaf physiology in cotton (*Gossypium hirsutum*, L.). **South African Journal of Botany**, v. 93, s.n, p.131 – 136, 2014.
- LUTTS, S.; MAJERUS, V.; KINET, J.M. NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa*) seedlings. **Physiologia Plantarum**, v.105, p.450-458, 1999.
- MACHADO, C. de A.; MOURA, C. R. F.; LEMOS, E. E. P. de; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, F. E.; LÉDO, A. da S. Pollen grain viability of coconut accessions at low temperatures. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 2, p. 227-232, 2014.
- MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

- MARINHO, F. J. L.; FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; VIANA, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocos nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.359 - 364, 2005a.
- MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.334-340, 2005b.
- MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA NETO, M. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p.370-374, 2005c.
- MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F. de; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. de. Respostas fisiológicas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 603 - 611, 2013.
- MIRANDA, R. de S.; ALVAREZ-PIZARRO, J. C.; ARAÚJO, C. M. S.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Influence of inorganic nitrogen sources on K^+/Na^+ homeostasis and salt tolerance in sorghum plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, s.n, p. 841-852, 2013.
- MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. dos. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.1, p.18-25, 2014.
- NAKABAYASHI, R.; SAITO, K. Integrated metabolomics for abiotic stress responses in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v.24, s.n, p. 10 – 16, 2015.
- OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; SOUZA, A. A. T.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.465 – 471, 2013.
- PEDROSO, F. K.J.V.; PRUDENTE, D. A.; BUENO, A. C. R.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock dependent changes in root growth and carbohydrate availability. **Environmental and Experimental Botany**, v.101, s.n, p. 26 – 35, 2014.
- PEREIRA, J. W. de L.; MELO FILHO, P. de A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.
- RAMEGOWDA, V., SENTHIL-KUMAR, 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.
- RHEIN, A. F. de L.; SANTOS, D. M. M. dos; CARLIN, S. D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1.345 - 1.360, 2011.

RIBEIRO, R. C.; MATIAS, J. R.; PELACANI, C. R.; DANTAS, B. F. Activity of antioxidant enzymes and proline accumulation in *Erythrina velutina* Willd. seeds subjected to abiotic stresses during germination. **Journal of Seed Science**, v.36, n.2, p. 231 - 239, 2014.

SIGNORELLI, S.; CORPAS, F. J.; BORSANI, O.; BARROSO, J. B.; MONZA, J. Water stress induces a differential and spatially distributed nitro-oxidative stress response in roots and leaves of *Lotus japonicus*. **Plant Science**, v. 201/202, p.137 – 146, 2013.

SILVA, E. N. da; SILVEIRA, J. A. G.; FERNANDES, C. R. R.; DUTRA, A. T. B. , ARAGÃO, R. M. de. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p.240-246, 2009a.

SILVA, E. N. da; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S. de; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-manso submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.5, p.437-445, 2009 c.

SILVA, E. N.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, s.n, p.279 – 285, 2010.

SILVA, R. A. da; CAVALCANTE, L. F.; PAES, R. de A.; HOLANDA, J. S. de; COMASSETTO, F. Avaliação do estado nutricional do coqueiro anão verde fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Caatinga**, v.22, n.1, p.119 - 130, 2009b.

SILVA, R. T. L. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de; BARBOSA, R. R. do N.; COSTA, R. C. L. da; CONCEIÇÃO, H. E. O. da. Resposta fisiológica de plantas de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. **Nucleus**, v.9, n.2, p. 113 - 120, 2012.

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, s.n, p. 1 – 8, 2009.

SIMPSON, C.R.; NELSON, S.D.; MELGAR, J.C.; JIFON, J.; KING, S.R.; SCHUSTER, G.; VOLDER, A. Growth response of grafted and ungrafted citrus trees to saline irrigation. **Scientia Horticulturae**, v.169, s.n, p. 199 – 205, 2014.

SLABBERT, M.M.; KRÜGER, G.H.J. Antioxidant enzyme activity, proline accumulation, leaf area and cell membrane stability in water stressed *Amaranthus* leaves. **South African Journal of Botany**, v.95, s.n, p. 123 – 128, 2014.

SOBRAL, L. F.; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro anão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, s.n, p. 1.675 - 1.682, 2008.

SOUSA, A. E. C.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; UYEDA, C. A. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 144-152, 2012.

STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A. Transpiração do tomateiro cultivado em substrato e sua influência na fração lixiviada e na condutividade elétrica da solução nutritiva drenada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 721 - 727, 2010.

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

TEIXEIRA, L. A. J.; BATAGLIA, O. C.; BUZETTI, S., FURLANI JUNIOR, E. Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.) - atributos químicos do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 115 - 119, 2005.

VALICHESKI, R. R.; MARCIANO, C. R.; PEÇANHA, A. L.; BERNARDES, R. S.; MONNERAT, P. H. Estado nutricional do coqueiro cultivado em solos submetidos a diferentes níveis de compactação e umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1152–1160, 2011.

VENDRUSCOLO, E. C. G.; SCHUSTER, I.; PILEGGI, M.; SCAPIMD, C. A.; MOLINARI, H. B. C.; MARUR, C. J.; VIEIRA, L. G. E. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*, v. 164, s.n, p. 1367 - 1376, 2007.

VITORINO, H. dos S.; MARTINS, D.; MARQUES, R. P.; GARBIATE, M. V. Efeito do déficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de picão-preto. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 692-698, 2012.

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

CAPÍTULO 5

ESTADO NUTRICIONAL DE MUDAS DE COQUEIRO “ANÃO VERDE” EM SOLOS AFETADOS POR SAIS E SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o estado nutricional de plantas jovens de coqueiro cultivar, “Anão Verde”, sob influência associada da disponibilidade hídrica e da salinidade do solo, mediante a quantificação dos teores foliares dos macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn). No experimento, conduzido em casa de vegetação, do tipo telado, em Fortaleza, CE, avaliaram-se, sob delineamento estatístico de blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, os efeitos de diferentes níveis de deficiência hídrica (parcelas), mediante a imposição de distintos percentuais de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial da cultura - ET_{pc} (20; 40; 60; 80 e 100%), associados às subparcelas, constituídas pelos crescentes níveis de salinidade do solo (1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹), proporcionados pelos solos coletados no Perímetro Irrigado Morada Nova. A deficiência hídrica e a salinidade do solo interagem, afetando o estado nutricional das plantas, excetuando o nutriente P. Os teores foliares dos nutrientes N, Ca, S, Fe, Mn e Zn crescem positivamente com a ampliação da disponibilidade hídrica e reduzem-se substancialmente com o aumento da salinidade. A interação dos menores níveis de deficiência hídrica com os maiores níveis salinos maximiza os teores foliares de Mg e Cu e minimiza os de K. Durante o estabelecimento das plantas jovens de coqueiro, a necessidade de macronutrientes obedece à ordem decrescente: N, K, Ca, Mg, S e P e à de micronutrientes: Fe, Mn, Zn e Cu. A nutrição das plantas mostra-se adequada, excetuando-se, os desequilíbrios observados nos nutrientes K, Mg, S e Mn.

Palavras-chave: *Cocos nucifera* L. Estresses abióticos combinados. Nutrição de plantas. Revegetação. Solos afetados por sais.

CHAPTER 5

NUTRITIONAL STATUS OF COCONUT SEEDLINGS "DWARF GREEN" IN SOIL AFFECTED BY SALTS AND UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the nutritional status of young plants to grow coconut tree, "Green Dwarf" under influence of associated water availability and soil salinity, by quantifying the leaf contents of macro (N, P, K Ca, Mg and S) and micronutrients (Fe, Cu, Mn and Zn). In the experiment, conducted in a greenhouse, the greenhouse type, in Fortaleza, CE, were evaluated under statistical design of randomized blocks in a split plot arrangement, the effects of different levels of water deficit (plots) by imposing percentages of different replenishment of water losses by potential crop evapotranspiration - ET_{pc} (20, 40, 60, 80 and 100%), associated with subplots consisting of the increasing levels of soil salinity (1.72, 6.25; 25.80 and 40.70 dS m⁻¹) provided by the soils collected in the Irrigated Perimeter Morada Nova. Water stress and soil salinity interact, affecting the nutritional status of plants, except for the nutrient P. Leaf contents of nutrients N, Ca, S, Fe, Mn and Zn grow positively with the increase of water availability and are reduced substantially with increasing salinity. The interaction of smaller water deficit levels with the highest saline levels maximizes the leaf contents of Mg and Cu and minimizes K. During the establishment of coconut seedlings, the need for macronutrients follows the descending order: N, K, Ca, Mg, S and P and micronutrients: Fe, Mn, Zn and Cu. The plant nutrition proved to be adequate, except for the imbalances observed in nutrients K, Mg, S and Mn.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Abiotic stresses combined. Plant nutrition. Revegetation. Soils affected by salt.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o aumento da aridez global, sobretudo em decorrência do aparente cenário de mudanças climáticas, tem tornado a escassez de água um problema cada vez mais recorrente, ao ponto de constituir uma das principais limitações para a produção agrícola mundial. Essa insuficiência de água é capaz de impor uma série de estresses abióticos às espécies vegetais, tais como a deficiência hídrica e a salinidade, que, na contemporaneidade, estão elencadas entre os fatores edafoclimáticos mais relevantes, por limitarem a capacidade de estabelecimento, crescimento, desenvolvimento e produtividade da vegetação natural e cultivada (SANTANA *et al.*, 2015).

Segundo Hassine e Lutts (2010), as respostas das plantas à deficiência hídrica e à salinidade guardam uma estreita relação de similaridade, uma vez que altas concentrações de sais diminuem o potencial osmótico da solução do solo, provocando inevitavelmente a imposição de condições de estresse hídrico às plantas. Para os autores, em adição a esta restrição osmótica, o estresse salino também confere limitações fisiológicas e metabólicas resultantes de uma série de alterações nas concentrações iônicas nos solos e, conseqüentemente, nas plantas.

Neste contexto, considera-se que a baixa disponibilidade hídrica e a salinidade do solo, isolada ou conjuntamente afetam, entre outros aspectos, a absorção de nutrientes minerais pelas plantas e, conseqüentemente, o estado nutricional (LEÃO; FREIRE; MIRANDA, 2011; SOUSA *et al.*, 2012).

Na avaliação do estado nutricional, a análise foliar fornece índices para o diagnóstico preciso do estado dos nutrientes, no intuito de elucidar modificações quantitativas na constituição química da planta sob influência de algum fator, correlacionando-os com processos fisiológicas e metabólicos essenciais, com a finalidade de obter um melhor entendimento das relações entre o (s) fator (es) em estudo e a eficiência do uso dos nutrientes, por parte das espécies vegetais (FONTES, 2014).

Haja vista a necessidade do meio líquido para que a absorção de nutrientes pelas raízes possa ocorrer, supõe-se que quando há déficit hídrico, a aquisição de nutrientes é um dos aspectos mais severamente prejudicados, ao passo que as deficiências nutricionais podem, ao menos parcialmente, serem interpretadas como mais uma evidência direta das implicações da insuficiência de água aos vegetais (SANTOS *et al.*, 2014).

Por outro lado, em ambientes salinos, a disponibilidade de nutrientes é afetada por muitos fatores na interface solo - planta. Isso pode resultar em desequilíbrio nutricional, em

decorrência da redução na absorção de nutrientes essenciais, principalmente, devido à competição na absorção, ao comprometimento do transporte e da distribuição, às alterações estruturais nas membranas, bem como às inibições das atividades de várias enzimas essenciais ao pleno metabolismo (FEIJÃO *et al.*, 2011; FREIRE *et al.*, 2013).

De acordo com Ahmed *et al.* (2013), a deficiência hídrica e a salinidade do solo, tanto em ecossistemas naturais como agrícolas são frequentemente estresses de incidência simultânea. Neste sentido, para que se obtenha êxito na eleição de espécies aptas a revegetação de áreas salinizadas, torna-se necessário conhecer os efeitos da salinidade associados à deficiência hídrica em seus mais diversos aspectos, incluindo o estado nutricional (SOUZA *et al.*, 2011). Para Ferreira Neto *et al.* (2014), a falta de condições apropriadas, no que se refere ao estado nutricional do coqueiro, poderá comprometer o desempenho agrônômico da espécie.

Diante da carência de informações relacionadas à temática na literatura, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o estado nutricional de plantas jovens de coqueiro, sob influência associada da disponibilidade hídrica e da salinidade do solo, mediante a quantificação dos teores foliares dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e dos micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Vide capítulo 1.

2.2 Estrutura física experimental

Vide capítulo 1.

2.3 Material vegetal

Vide capítulo 1.

2.4 Composições dos tratamentos e delineamento experimental

Vide capítulo 1.

2.5 Instalação e condução do experimento

Vide capítulo 1.

2.6 Sistema e manejo da irrigação

Vide capítulo 1.

2.7 Tratos culturais e controle fitossanitário

Vide capítulo 1.

2.8 Variáveis analisadas

2.8.1 Estado nutricional das plantas: teores foliares dos macro e dos micronutrientes

Para a avaliação do estado nutricional das plantas jovens de coqueiro foram determinados os teores foliares dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e dos micronutrientes ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), seguindo a metodologia proposta por Malavolta (1997).

Para tanto, foram tomadas amostras de material vegetal liofilizado macerado da terceira folha contatada a partir da base, em apenas quatro, das seis unidades experimentais.

O nitrogênio total (N) foi extraído por digestão com ácido sulfúrico e catalisadores, e determinado por destilação microkjeldahl.

A análise de fósforo (P) foi realizada a partir de um extrato de digestão nitroperclórica, sendo determinado colorimetricamente pelo método do molibdato de amônio.

O potássio (K) foi determinado através de fotometria de chama, a partir de extrato proveniente de digestão nitroperclórica.

O enxofre (S) foi determinado por turbidimetria com cloreto de bário, a partir de extrato proveniente de digestão nitroperclórica.

Os macronutrientes cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) e os micronutrientes ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados por leitura direta em absorção atômica, a partir do extrato proveniente da digestão nitroperclórica.

As análises foram executadas nas dependências dos laboratórios do Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará.

2.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas variáveis foram submetidos à análise de variância de acordo com os procedimentos que são comuns ao delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas.

Quando denotado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nas diferentes variáveis foram analisados através de regressão.

Na sequência, quando comprovado efeito significativo nas interações entre os fatores estudados, os dados foram analisados segundo os procedimentos inerentes à análise de regressão linear múltipla e foram plotadas as respectivas superfícies de respostas.

Os modelos matemáticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico em estudo. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Excel (versão 2007), ASSISTAT (versão 7.6 beta) e STATISTICA (versão 7.0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Macronutrientes

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 1 indicam significâncias estatísticas para os efeitos principais dos diferentes níveis de deficiência hídrica sob os teores foliares de K, Ca, Mg e S ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$). Já o efeito principal do fator salinidade ($p > 0,05$) afetou significativamente apenas os teores foliares de K e de Mg ($p \leq 0,01$). Por outro lado, houve interação significativa entre os fatores estudados para os teores foliares de todos os macronutrientes considerados ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$), o que indica dependência entre os fatores de cada interação, exceto para os teores foliares de P, que não sofreram qualquer efeito dos tratamentos empregados ($p > 0,05$), sejam eles isolados ou associados (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores foliares dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

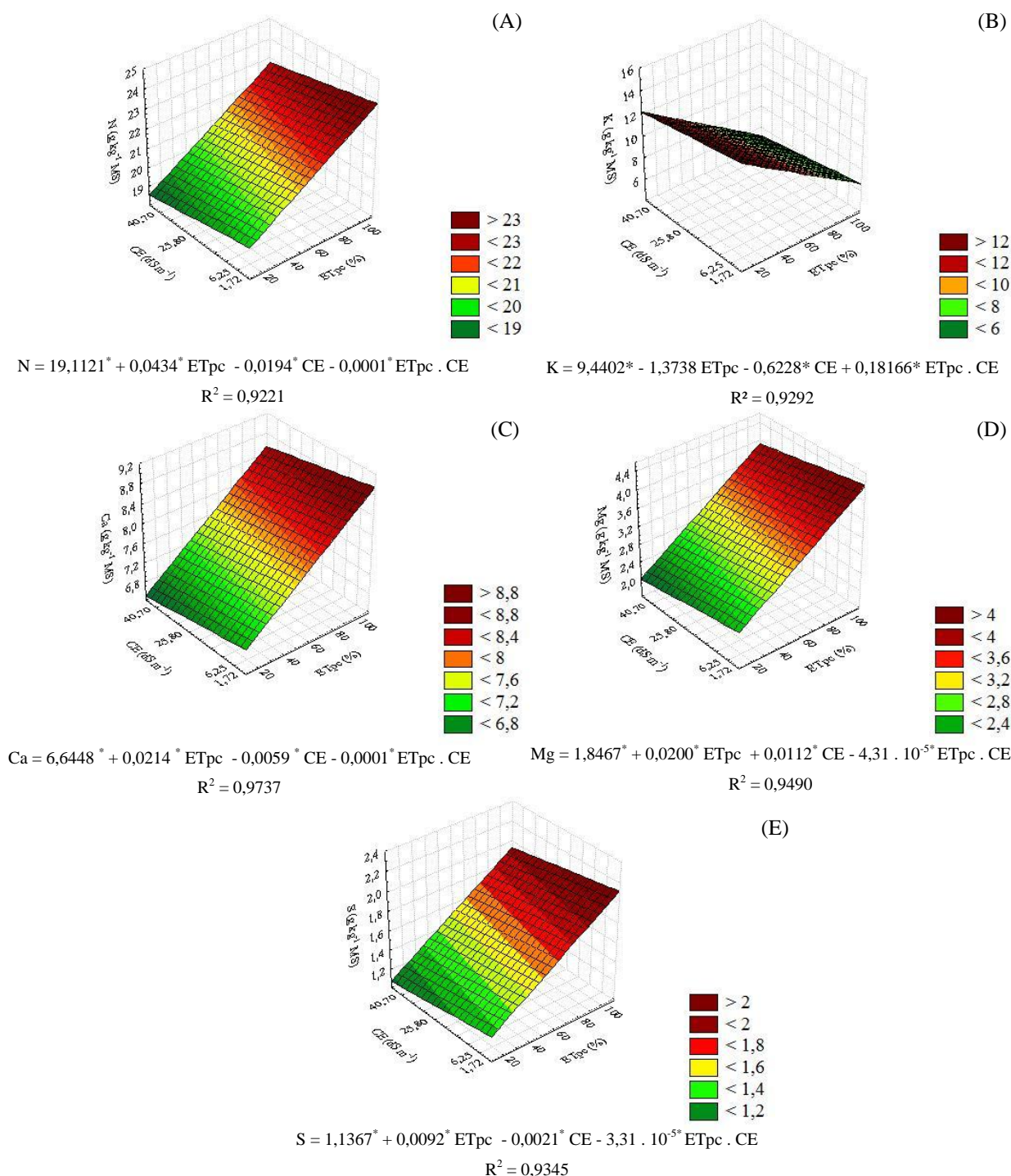
FV	GL	Quadrados médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	3	2,07 ^{ns}	0,0087 ^{ns}	0,9595 [*]	1,59 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Déficit hídrico (D)	4	5,60 ^{ns}	0,0537 ^{ns}	81,90 ^{**}	2,81 [*]	1,50 ^{**}	0,28 [*]
Resíduo – D	12	5,26	0,0221	0,1507	0,69	0,11	0,08
Parcelas	19						
Salinidade do solo (S)	3	7,31 ^{ns}	0,0486 ^{ns}	7,45 ^{**}	1,39 ^{ns}	2,89 ^{**}	0,20 ^{ns}
Interação S x D	12	7,52 [*]	0,0567 ^{ns}	0,98 ^{**}	1,13 [*]	0,98 ^{**}	0,30 ^{**}
Resíduo – S	45	3,79	0,0373	0,036	0,55	0,08	0,11
Total	79						
C.V. - D (%)		10,77	9,52	14,08	10,71	10,43	18,10
C.V. - S (%)		9,15	12,37	12,00	9,57	8,87	20,20

¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Com relação aos valores médios observados nos teores foliares de nitrogênio (N), em função dos tratamentos de deficiência hídrica e de salinidade do solo, verificou-se que o máximo valor, 24,51 g kg⁻¹ MS, foi obtido no tratamento equivalente à associação entre 100% da ETpc e o solo caracterizado por deter uma CE de 1,72 dS m⁻¹, enquanto o menor valor médio da variável em questão, 18,71 g kg⁻¹ MS, inferior em aproximadamente 24%, quando

equiparado ao máximo, foi constatado no tratamento em que foi aplicada a menor lâmina de água (20% da ETpc), combinado com o valor mais elevado de salinidade do solo (40,80 dS m⁻¹), conforme o exposto na Figura 1A.

Figura 1 - Superfície de resposta para os teores foliares (g kg⁻¹ MS) de N (A), K (B), Ca (C), Mg (D) e S (E), em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplântio. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

O modelo matemático de superfície de resposta ao qual melhor descreve a relação função entre o comportamento da variável em questão e os níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo ($R^2 = 0,9221$), apresentado na Figura 1A, ilustra que o incremento na ETpc e na CE proporcionaram aumentos e decréscimos lineares nos teores foliares de N, respectivamente.

Esse aumento foi na proporção aproximada de 0,0434 g de N kg⁻¹ MS (0,22%), ao passo que a redução foi de 0,0194 g de N kg⁻¹ MS (0,10%), a cada respectivo incremento unitário de ETpc e de CE, respectivamente. Infere-se que o efeito mais proeminente foi apresentado pelo fator deficiência hídrica (Figura 1A).

No que diz respeito ao parâmetro equivalente à interação entre os referidos fatores, supõe-se que a associação entre os tratamentos contribuiu com os efeitos deletérios da salinidade sob a variável em questão, com reduções embora não tão expressivas em termos de valores absolutos (0,0001 g de N kg⁻¹ MS, por incremento unitário de ETpc e de CE, respectivamente), conforme a Figura 1A.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de nitrogênio de 0,27; 0,18; 0,20 e 0,24% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,17; 0,03; 0,11; 0,05 e 0,17% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se, ainda, que, apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de N em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável.

Com relação aos níveis de deficiência hídrica analisados, estes resultados assemelham-se aos obtidos por Valicheski *et al.* (2011), que encontraram nos maiores níveis de irrigação, os teores foliares de N mais elevados.

Para os referidos autores, esta provável diminuição da disponibilidade de nitrogênio nas baixas umidades pode ser explicada pelo fato da restrição do conteúdo de água no solo ocasionar um significativo decréscimo na condutividade hidráulica e, por conseguinte, na capacidade de absorção de água por parte dos vegetais, com consequente redução do transporte de N por fluxo de massa no solo até a zona de efetiva atividade radicular.

Para Oliveira *et al.* (2011), os teores foliares de N são comprometidos pela salinidade do solo, em consequência dos limites impostos pelas condições de elevados conteúdos de sais no solo na capacidade de absorção e de transporte do nitrato, devido,

principalmente, ao presumível efeito antagônico existente entre o nitrato (NO_3^-) e o cloreto (Cl^-), ou como uma seqüela das próprias reduções nas taxas de evapotranspiração, comumente evidenciadas nas espécies vegetais como uma implicação diretamente associada ao estresse salino. No entanto, os teores de N nos tecidos foliares obtidos neste trabalho, para todos os tratamentos, indicam que as plantas se apresentaram satisfatoriamente nutridas, de acordo com a literatura especializada, uma vez que Teixeira *et al.* (2005), admitem como suficientes para a mesma espécie os teores de N variáveis de 18 a 22 g kg^{-1} MS, sendo os valores encontrados no presente estudo relativamente próximos ao instituído intervalo.

O teor de fósforo (P) no tecido foliar não foi afetado significativamente pela deficiência hídrica nem pela salinidade do solo, nem tampouco pela interação entre ambos os fatores (Tabela 1), não sendo possível ajustar nenhum modelo de regressão ou de superfície de resposta para a variável em função dos tratamentos nos quais as plantas estavam submetidas, sendo observados valores variando de 1,20 a 2,06 g kg^{-1} MS, com média geral de 1,6 g kg^{-1} MS.

Pelos resultados, constatou-se que as plantas, em termos gerais, apresentaram teores foliares próximos a 1,4 g kg^{-1} de P, preconizado por Teixeira e Silva (2003), como adequado à cultura, o que leva a supor que os teores foliares de P, independente dos tratamentos, mantiveram-se nas intermediações da faixa de suficiência.

Teixeira *et al.* (2005), explicam os prováveis motivos que culminaram com a ausência de influências estatisticamente significativas dos tratamentos sob os teores foliares de P, pelo fato da cultura ser pouco exigente em fósforo, de tal forma que até mesmo as respostas demonstradas pela espécie à adubação com P têm sido inexpressivas.

Por outro lado, Ferreira Neto *et al.* (2014), enfatizam que embora a exigência do coqueiro por P seja pequena, este macronutriente mostra-se relevante à espécie, por participar da regeneração do ácido trifosfórico, superabundante nos órgãos jovens e, por, além disso, integrar uma série de reações ligadas ao transporte de energia para processos endergônicos, tais como a síntese de compostos orgânicos e a absorção ativa de nutrientes.

A respeito dos teores foliares de potássio (K) em função das combinações dos tratamentos de deficiência hídrica e de salinidade do solo, verificou-se que o máximo valor, 14,75 g kg^{-1} MS, foi obtido no tratamento equivalente à associação entre 20% da ET_{pc} e o solo caracterizado por deter uma CE de 1,72 dS m^{-1} , enquanto o menor valor médio da variável em questão, 6,08 g kg^{-1} MS, inferior em aproximadamente 58%, quando equiparado ao máximo, foi constatado no tratamento em que foi aplicada a maior lâmina de água (100%

da ETpc), combinado com o valor mais elevado de salinidade do solo (40,80 dS m⁻¹), conforme o exposto na Figura 1B.

O modelo matemático de superfície de resposta apresentado na Figura 1B ilustra que o incremento na ETpc e na CE proporcionaram decréscimos lineares nos teores foliares de K. Tais reduções foram nas proporções aproximadas de 1,37 e de 0,62 g kg⁻¹ MS, a cada incremento unitário de ETpc e de CE, respectivamente. No que diz respeito ao parâmetro equivalente à interação entre os referidos fatores, supõe-se que a associação entre os tratamentos acarreta elevações de aproximadamente 0,18 g kg⁻¹ MS, frente aos respectivos incrementos associados de ETpc e de CE.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se decréscimos nos teores foliares de potássio de 0,53; 0,51; 0,49 e 0,48% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Semelhantemente, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,52; 0,21; 0,12; 0,16 e 4,40% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se, assim, a ocorrência de reduções nos teores foliares de potássio em resposta ao incremento de ambos os fatores em estudo.

O incremento do fornecimento de água aos vegetais pode acarretar menores teores de nutrientes na planta, supostamente, em função do maior crescimento sob tais condições, conforme o exposto no capítulo 2 do presente trabalho, provocando um efeito de diluição dos nutrientes nos tecidos vegetais (ALMEIDA *et al.*, 2002). Tal assertiva justifica as respostas obtidas para os teores foliares de K, frente aos diferentes níveis de reposição da ETpc avaliados.

Reduções dos teores foliares de K são respostas comumente evidenciadas em plantas submetidas ao estresse salino e relaciona-se, provavelmente, ao antagonismo entre Na e K durante o processo de absorção (SOUSA *et al.*, 2012).

Cumpra salientar que apenas nas plantas plenamente irrigadas (100% ETpc) averiguaram-se teores foliares de K inferiores a 8,0 g kg⁻¹ MS, preconizado por Sobral (1998) como o limite inferior crítico, independentemente do nível de salinidade do solo considerado. Todavia, em termos gerais, as associações dos fatores estressantes resultaram em um valor médio de 9,52 g de K kg⁻¹ MS, o que conduz a dedução de que exceto nas salinidades associadas a 100% da ETpc, as plantas encontravam-se satisfatoriamente nutridas por K.

Para a variável teores foliares de cálcio (Ca), verifica-se, pela Figura 1C, que o menor (6,69 g kg⁻¹ MS) resultou da aplicação 20% da ETpc nos solos com salinidade

equivalente a $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, ao passo que a maior média para a variável em questão ($8,94 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), superior em aproximadamente 25% quando equiparada ao valor mínimo registrado, foi obtido com o uso combinado de 100% da ETpc associado à menor das salinidades avaliadas ($1,72 \text{ dS m}^{-1}$).

Como visualizado na Figura 1C, o polinômio que melhor se ajustou aos dados para a modelagem do comportamento da variável teor foliar de Ca, diante das variações dos níveis dos fatores em estudo, foi o linear, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9737.

Conforme o modelo matemático proposto, constata-se que o acréscimo unitário no percentual da quantidade de água disponibilizada à cultura do coqueiro, acarretou acréscimos lineares positivos nos teores foliares de Ca de aproximadamente $0,0214 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ (Figura 1B).

De forma distinta, no que se relaciona a variação da salinidade do solo, as elevações dos valores de CE contribuíram com decréscimos unitários negativos da ordem de $0,0059 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$. A interação entre os fatores maximizam os potenciais efeitos depressivos da salinidade sobre a variável em questão, o que é evidenciado por meio do sinal negativo no parâmetro referente à interação no modelo matemático ($-0,0001 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), segundo o exposto na Figura 1C.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de cálcio de 0,33; 0,30; 0,27 e 0,31% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,15; 0,04; 0,10; 0,08 e 0,16% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se, ainda, que, apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de Ca em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável.

Os presentes resultados corroboram com os obtidos por Ferreira Neto *et al.* (2014), que observaram maiores teores foliares de Ca em folhas de plantas de coqueiro, justamente no período chuvoso, evidenciando a essencialidade de um satisfatório suprimento hídrico para uma maior eficiência e estabilidade de absorção e de utilização dos nutrientes minerais pela espécie.

Complementarmente, Leão, Freire e Miranda (2011), justificam os incrementos registrados para os teores foliares de Ca em função do favorecimento hídrico, ao discorrerem que a escassez de água no solo restringe e/ou impede a absorção de nutrientes pelas plantas,

uma vez que a água atua como uma espécie de “veículo”, através do qual os íons se mobilizam da solução do solo para o sistema radicular, especialmente, quando este “deslocamento” se procede por fluxo de massa e/ou por difusão. De tal forma que, para os referidos autores, a ausência de níveis adequados de água no solo induz, quase que obrigatoriamente, à deficiência de nutrientes.

No caso específico do Ca, Fioreze *et al.* (2013), enfatizam que sua absorção acompanha a assimilação da água nas plantas, uma vez que o Ca é absorvido por fluxo de massa junto à água do solo, e uma vez sorvido é prioritariamente translocado para os órgãos de ativa transpiração, acumulando-se nas folhas, sendo o seu transporte via floema para os frutos ou sementes altamente restritos, da mesma forma que sua capacidade de redistribuição das folhas mais velhas para as mais novas é também pronunciadamente limitada.

A deficiência hídrica pode reduzir as concentrações foliares de Ca ao ponto de desencadear deficiência nutricional, de tal forma que a ocorrência de condições ambientais que limitam o fluxo transpiratório das plantas pode induzir à insuficiência deste macronutriente (JALEEL *et al.*, 2007).

Conforme os referidos autores, se tem sugerido que o Ca pode atenuar os prováveis efeitos fisiológicos e/ou metabólicos deletérios que são decorrentes da escassez de água nas espécies vegetais, haja vista que, apesar de sua atuação particular ainda não ter sido inteiramente elucidada, presume-se que, o mesmo, pode atuar como um efetivo mensageiro secundário em plantas, sendo este, apontado como o responsável indireto por uma cadeia de repostas aos diversos tipos de estresses comumente desencadeados em plantas, com inclusão do hídrico.

Quanto aos efeitos inerentes à salinidade do solo sob os teores foliares de Ca, infere-se que estes resultados assemelham-se aos relatados por Ferreira Neto *et al.* (2007), que também evidenciaram reduções nesta variável, em função do incremento da condutividade elétrica da água de irrigação, fato que resultou, em sua pesquisa, em decréscimos de aproximadamente 31% nos teores foliares de Ca, no nível mais elevado de salinidade da água de irrigação avaliado (15 dS m⁻¹).

Entre as prováveis causas que contribuíram para a diminuição dos teores de cálcio no tecido foliar das espécies vegetais frente à salinidade, Freire *et al.* (2013), apontam o excesso de Na⁺ ou do SO₄²⁻ que são comumente evidenciados nos solos afetados por sais, o que pode, facilmente, induzir deficiência nutricional do elemento Ca às plantas cultivadas sob o predomínio destas referidas condições.

A este respeito, Zehra *et al.* (2012), discorrem que como o sódio é geralmente o cátion predominante em solos salinos, o que obviamente também é refletido em sua superior disponibilidade na solução do solo, faz com que o Ca^{2+} acabe competindo diretamente com Na^+ pelos sítios de absorção.

Desta forma, estas reduções são justificadas em decorrência da inibição do sódio sobre o cálcio, devido à maior concentração do sódio na solução do solo e, conseqüentemente, à maior absorção, por ser o sódio monovalente e de menor raio iônico em relação ao cálcio (FERREIRA NETO *et al.*, 2007).

Adicionalmente, os referidos autores ainda advertem que o acréscimo do teor de sódio no meio radicular externo, acarreta inibição da acumulação de cálcio nos tecidos das plantas, o que é desvantajoso para os vegetais, uma vez que o Ca é um nutriente absolutamente relacionado com a permeabilidade seletiva da plasmalema, ao passo que sua deficiência possibilita, dentre outros efeitos negativos, o deslocamento dos nutrientes da plasmalema das células radiculares, o que compromete, substancialmente, a adequada funcionalidade do sistema radicular.

Neste sentido, os autores supracitados ainda propõem que a adição de cálcio pode também compensar essas conseqüências adversas, fornecendo, dentre outros benefícios, proteção à integridade e à permeabilidade das membranas plasmáticas, sobretudo, contra a potencial toxicidade exercida pelo excesso de Na^+ na solução solo.

A manutenção de equilibrados teores foliares de Ca é extremamente importante em muitos aspectos associados ao crescimento e ao desenvolvimento da planta, sobretudo, sob condições salinas, especialmente, em decorrência das apropriadas funções desempenhadas pelo cálcio em vias de sinalização de estresse, que, por sua vez, são, na maioria das vezes, estreitamente ligadas à homeostase do pH citosólico (MORGAN *et al.*, 2014).

No geral, observa-se que os teores foliares de Ca estiveram acima do limite adequado para o coqueiro ($3,4 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), preconizado por Teixeira e Silva (2003), o que, aparentemente, demonstra que as plantas estavam suficientemente nutridas com este elemento, independente da deficiência hídrica e/ou da salinidade do solo.

No entanto, este aspecto deve ser analisado com certa cautela, uma vez que Morgan *et al.* (2014), sugerem que a salinidade pode comprometer várias funções fisiológicas e metabólicas desempenhadas pelo Ca que são extremantes essenciais aos vegetais, mesmo sem alterar suas respectivas concentrações nos tecidos vegetais.

Quanto aos teores foliares de magnésio (Mg), denotou-se que o máximo valor ($4,17 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) foi obtido com a reposição de 100% das necessidades hídricas da cultura (%).

ETpc) combinados com os cultivos nos solos que possuem a maior das salinidades (40,70 dS m⁻¹). Por outro lado, o menor valor registrado para a referida variável (1,85 g kg⁻¹ MS), inferior em aproximadamente 56%, quando equiparado ao máximo, advém da associação entre o mais severo nível de deficiência hídrica, ou seja, 20% da ETpc coligado a menor CE do solo, correspondente a 1,72 dS m⁻¹ (Figura 1D).

O desdobramento dos efeitos das associações entre os tratamentos para a variável em questão, por meio da análise de regressão polinomial, evidenciou efeitos lineares para os níveis de déficit hídrico e de salinidade do solo, bem como para a interação entre os referidos fatores, com coeficiente de determinação (R²) de 0,9490 (Figura 1D).

Pela superfície de reposta, constatou-se que os teores foliares de Mg aumentaram linearmente com a elevação dos níveis de ETpc, sendo estimado que cada acréscimo unitário nos valores de ETpc resulta em aumentos de aproximadamente 0,0200 g de Mg kg⁻¹ MS e, de forma semelhante, os aumentos unitários nos níveis do fator salinidade do solo contribuíram positivamente para com a elevação dos teores foliares de Mg, com aumentos de 0,0112 g de Mg kg⁻¹ MS, sendo estimado através do parâmetro referente ao termo da interação entre ETpc e CE, que as associações entre os níveis dos fatores em estudo exercem efeitos depressivos sobre os teores foliares de Mg, embora com efeitos não tão expressivos (Figura 1D).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de magnésio de 1,33; 0,80; 0,82 e 0,85% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. De forma semelhante, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se acréscimos de 0,77; 0,07; 0,26; 0,20 e 0,24% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se ainda, que ocorreram acréscimos nos teores foliares de Mg em resposta ao incremento da CE, bem como de disponibilidade hídrica.

As reposições dos percentuais da evapotranspiração potencial da cultura levam a um comportamento da concentração de magnésio nas plantas bastante semelhante ao do cálcio, o que pode ser atribuído ao fato destes referidos elementos movimentarem-se no solo mediante fluxo de massa, que por sua vez é extremamente regulado pelas taxas de transpiração, que foi menor nas plantas nas quais as necessidades hídricas não foram totalmente atendidas (ETpc < 100%), sendo a capacidade de absorção de Mg, seguido do seu respectivo acúmulo, uma função da taxa de movimento da água para a raiz e da concentração de nutrientes dissolvidos na solução do solo, que de modo presumível, depende

substancialmente do conteúdo de água no solo, uma vez que, em síntese, a taxa de fluxo de massa decresce com a redução do conteúdo de água no solo (LAURINDO *et al.*, 2010).

Por outro lado, analisando-se os efeitos dos diferentes níveis de salinidade sob os teores foliares de Mg, infere-se que, de modo contrário ao observado para o Ca, o incremento do nível salino resultou em acréscimos nos teores foliares de Mg, o que é condizente com Ferreira Neto *et al.* (2007), que também verificaram acréscimos nos teores foliares de Mg em plantas de coqueiro em função do incremento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Para os referidos autores, estas respostas são decorrentes do aparente sinergismo existente entre os macronutrientes Mg e Ca, de tal forma que os aumentos da absorção de Mg e, por conseguinte, dos teores foliares do mesmo sob condições salinas podem ser esclarecidos em função do menor raio iônico do magnésio, quando comparado ao do cálcio. Desta forma, ainda conforme os aludidos autores, como o cálcio e o magnésio não apresentam similaridade no tocante à seletividade de troca iônica, a menor energia de adsorção associada ao magnésio acabou favorecendo sua absorção, o que, provavelmente, foi igualmente refletido nos dados obtidos para os teores de Mg, frente ao gradiente de salinidade avaliado na presente pesquisa.

Paulus *et al.* (2012) discorrem que não há um consenso na literatura acerca das tendências dos teores de Mg dos tecidos das espécies vegetais em função da salinidade, levando-se em consideração a variabilidade de resultados registrados, nos quais, evidenciam que as concentrações deste macronutriente podem permanecer constantes, aumentar ou diminuir nos diferentes tecidos vegetais sob influência deste estressor.

Em parte das combinações dos tratamentos, precisamente naqueles nos quais os níveis de deficiência hídrica foram inferiores a 60% da ET_{pc}, os teores de Mg variaram abaixo do nível crítico (3,0 g kg⁻¹ MS) proposto por Kanapathy (1971 *apud* FERREIRA NETO *et al.*, 2014), independente do nível de salinidade do solo, o que sinaliza a relevância do adequado suprimento hídrico para a garantia de um satisfatório fornecimento deste macronutriente. Por outro lado, supõe-se que em termos médios, os teores foliares de Mg foram de 3,21 g kg⁻¹ MS, sendo, portanto, considerados satisfatórios à cultura.

Para as variações dos teores foliares de enxofre (S) das plantas jovens de coqueiro, a superfície de resposta possibilita constatar que o maior teor foliar de S (1,9 g kg⁻¹ MS) foi obtido com o nível controle de deficiência hídrica (100% ET_{pc}), na menor das salinidades avaliadas (1,72 dS m⁻¹). Já o menor dos teores foliares de S (1,36 g kg⁻¹ MS), inferior em aproximadamente 28% quando comparado ao máximo, foi mensurado com o nível

de deficiência hídrica correspondente a 20% da ET_{pc}, em associação ao solo caracterizado por possuir o maior nível de salinidade (40,70 dS m⁻¹), conforme o exposto na Figura 1E.

Para a referida variável, o coeficiente de determinação (R²) estimado para o modelo proposto foi de 0,9345. De acordo com o mesmo, observaram-se efeitos lineares do déficit hídrico e da salinidade do solo, aumentando e reduzindo os teores foliares de S, respectivamente (Figura 1E).

Neste sentido, a equação proposta para a predição do comportamento da variável em questão, frente aos tratamentos avaliados, permite estimar que cada incremento unitário nos valores de ET_{pc} resulta em elevação dos teores foliares de S, com contribuições de 0,0092 g de S kg⁻¹ MS. Todavia, ao se elevar uma unidade no nível de CE, estimam-se declínios de 0,0021 g de S kg⁻¹ MS. Adicionalmente, no parâmetro proposto para a interação entre ambos os fatores, os efeitos foram depressivos, tendo por base o sinal negativo mensurado para o mesmo, o que denota a magnitude da expressão do efeito da salinidade sobre a variável em questão, mesmo diante dos reduzidos valores estimados para este parâmetro no modelo (- 3,31. 10⁻⁵ g de S kg⁻¹ MS), conforme o apresentado na Figura 1E.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ET_{pc}, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de enxofre de 0,92; 0,70; 0,60 e 0,80% por aumento unitário do % da ET_{pc}, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,29; 0,20; 0,05; 0,27 e 0,28% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ET_{pc} equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ET_{pc}, respectivamente. Observa-se, ainda, que, apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de S em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável.

Diante dos resultados contrastados para os teores foliares de enxofre, sugere-se que o efeito da umidade do solo para o coqueiro relaciona-se também com a absorção deste nutriente, o que é condizente com Tiecher *et al.* (2012), ao relatarem que a restrição hídrica, além de submeter às plantas a uma condição de comprometimento da integridade de processos fisiológicos vitais, pode, além disso, prejudicar a mobilização e a absorção de alguns elementos essenciais que são formidáveis aos vegetais, como exemplo, o enxofre.

Tal fato, possivelmente, justifica os incrementos lineares constatados para os teores foliares de enxofre em função do favorecimento hídrico, uma vez que, em suma, o suprimento de água favorece a aquisição de elementos pela planta, revelando a existência de

um possível sinergismo entre os crescentes teores foliares de S e os acréscimos das lâminas de irrigação disponibilizadas à cultura (MAGALHAÃES *et al.*, 2012).

Neste sentido, de forma semelhante ao relatado para o N, o Ca e o Mg, infere-se que o principal mecanismo de suprimento de S às raízes através do íon sulfato (SO_4^{2-}), considerado a principal forma absorvida pelas plantas, ocorre por meio do fluxo de massa, o que, de modo provável, leva a prever que quanto maior for a quantidade de água absorvida, mais S da solução de solo será também assimilado, translocado pelo xilema e, por conseguinte, acumulado nos tecidos vegetais, sobretudo nas folhas, onde, ao alcançar os cloroplastos, o S submete-se aos processos de redução e de incorporação às formas orgânicas, tornando-se componente de proteínas e de aminoácidos que são posteriormente redistribuídos pelo floema para as partes da planta em crescimento (AQUINO *et al.*, 2012; BROCH *et al.*, 2011).

Quanto às reduções dos teores foliares de S frente ao gradiente de salinidade avaliado, pode-se considerar que tal comportamento pode ser justificado em decorrência da importante competição iônica por sítios de absorção nas membranas das células radiculares existente entre os íons Cl^- e SO_4^{2-} , o que resulta numa maior capacidade de absorção radicular ou de transporte de Cl^- para a parte aérea, em detrimento ao SO_4^{2-} (FERNANDES *et al.*, 2002; NEVES *et al.*, 2009).

No entanto, de forma semelhante ao relatado para o Mg, Garcia *et al.* (2012), reportam que as informações referentes ao acúmulo de S nos tecidos das plantas cultivadas sob condições de salinidade são bastante limitadas.

Por outro lado, Nazar *et al.* (2011), sugerem que o enxofre é capaz de regular a fotossíntese em condições estressantes aos vegetais, desempenhando um papel importante na mitigação do estresse oxidativo, principalmente, quando este é induzido pela salinidade, haja vista que o adequado suprimento de S assegura a atividade antioxidante da enzima glutatona, a qual tem se mostrado extremamente efetiva na atenuação dos efeitos do estresse salino sobre os mecanismos associados à fotossíntese e ao crescimento das plantas, ao passo que seu potencial antioxidante é extremamente dependente dos teores de S nos tecidos vegetais, tendo em vista a participação deste nutriente na composição estrutural desta relevante enzima.

De forma semelhante ao constatado para o Mg, considera-se que as associações entre os fatores em estudo nas quais se aplicaram os níveis de deficiência hídrica até 60% da ETpc, resultaram em valores de teores foliares de S inferiores ao crítico ($1,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), estabelecido por Sobral (1998), independente do nível de salinidade do solo. Porém, em média, os teores de S mensurados no presente trabalho ($1,61 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) superam o limite

proposto pelo referido autor, o que reforça a relevância do adequado suprimento hídrico, em detrimento à própria salinidade do solo, para a manutenção dos níveis adequados de S nos tecidos foliares vegetais e corrobora com a suposição de que a absorção de enxofre acompanha o suprimento de água nas espécies vegetais.

Diante dos presentes resultados, notou-se que a ordem decrescente de extração dos macronutrientes analisados em plantas jovens de coqueiro sob influência mútua dos estresses abióticos deficiência hídrica e salinidade do solo em condições controladas foi $N > K > Ca > Mg > S > P$.

3.2 Micronutrientes

Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 2 indicam que os diferentes níveis de deficiência hídrica (D) e de salinidade do solo (S) afetaram significativamente os teores foliares dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn, sendo denotadas diferenças estatísticas para os efeitos principais ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$), bem como das interações entre os fatores em estudo ($p \leq 0,01$).

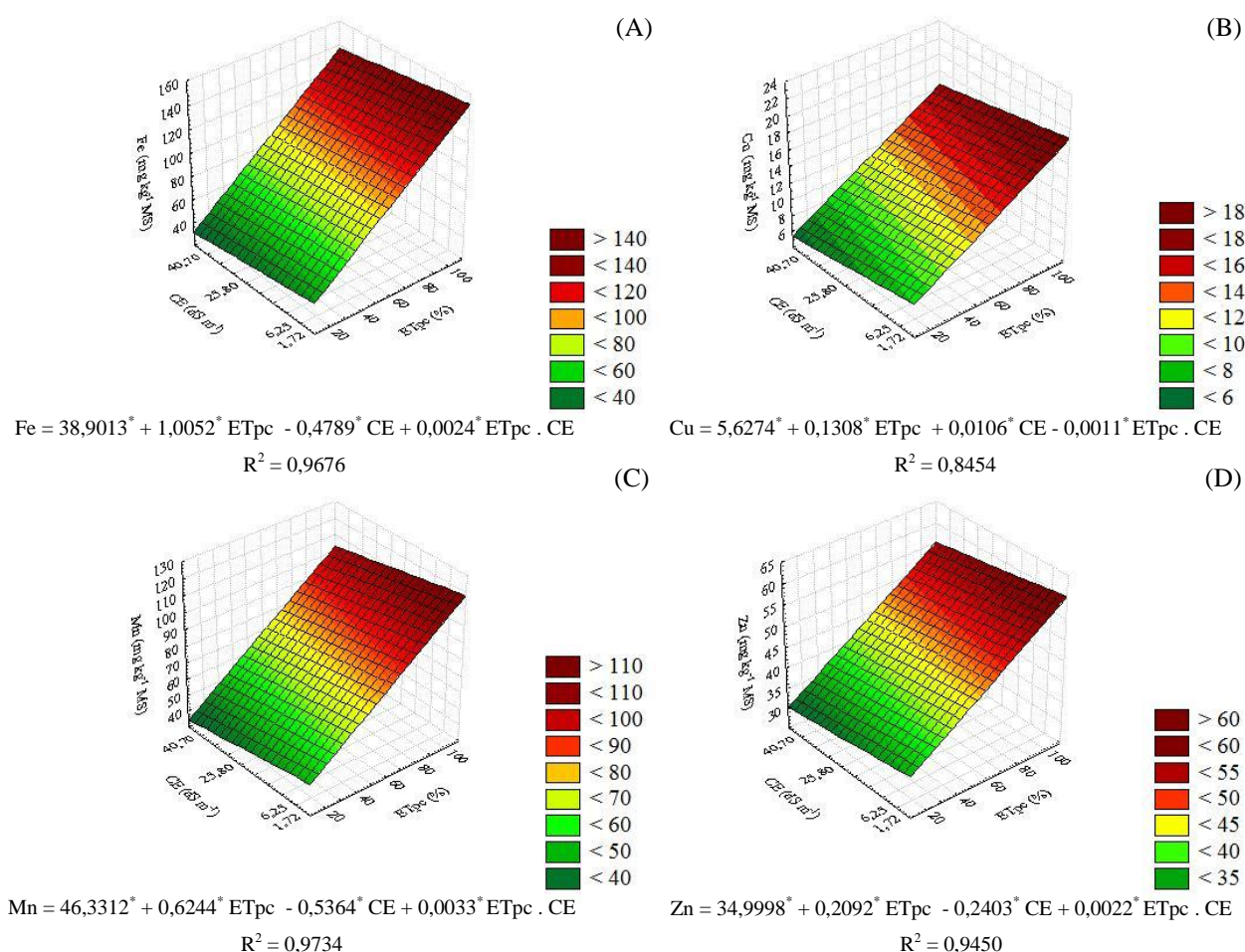
Tabela 2 - Resumo das análises das variâncias para os dados dos teores foliares dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn de plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, cultivadas sob diferentes níveis de deficiência hídrica em solos afetados por sais. Fortaleza, Ceará, 2013/2014¹

FV	GL	Quadrados médios			
		Fe	Cu	Mn	Zn
Blocos	3	929,46 ^{ns}	34,51 [*]	60,95 ^{ns}	42,76 [*]
Déficit hídrico (D)	4	3.726,37 ^{**}	63,25 ^{**}	2.051,40 ^{**}	379,98 ^{**}
Resíduo – D	12	585,77	6,84	116,57	9,30
Parcelas	19				
Salinidade do solo (S)	3	2.774,23 [*]	86,47 ^{**}	2.887,17 ^{**}	108,26 ^{**}
Interação S x D	12	4.327,36 ^{**}	41,40 ^{**}	1.381,55 ^{**}	227,25 ^{**}
Resíduo – S	45	934,27	7,78	113,34	14,56
Total	79				
C.V. - D (%)		26,02	21,10	13,92	6,69
C.V. - S (%)		32,86	22,50	13,73	8,37

¹F.V.: fontes de variação, G.L.: graus de liberdade, C.V.: coeficientes de variação, * significativo a 5% de probabilidade, ** : significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Para os teores foliares de ferro (Fe), o nível de suprimento hídrico que proporcionou o máximo valor da variável em questão ($139,90 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) foi o 100% da ETpc associado à salinidade de $1,72 \text{ dS m}^{-1}$. Por outro lado, a combinação entre o menor nível de suprimento hídrico (20% ETpc) e o máximo nível de salinidade do solo avaliado ($40,70 \text{ dS m}^{-1}$) resultou no menor teor foliar de Fe ($35,69 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$), inferior em aproximadamente 75%, quando comparado ao máximo valor obtido para a variável em questão (Figura 2A).

Figura 2 - Superfície de resposta para os teores foliares ($\text{mg kg}^{-1} \text{ MS}$) de Fe (A), Cu (B), Mn (C) e Zn (D) em plantas jovens de coqueiro, cv. “Anão Verde”, em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica (% ETpc) e de salinidade do solo (CE), aos 121 dias após o transplante. Fortaleza, CE, 2013/2014¹



¹(*), significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Conforme o modelo matemático proposto no qual os dados melhor se ajustaram ($R^2 = 0,9676$), os teores foliares de Fe são acrescidos linearmente em $1,0052 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, a cada incremento unitário de ETpc e reduzidos também de forma linear, com decréscimos de aproximadamente $0,4789 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, a cada incremento de CE, sendo que a associação dos

efeitos potencializa a ação do efeito benéfico do favorecimento hídrico, refletindo em acréscimos da ordem de $0,0024 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, a cada valor unitário dos fatores combinados (Figura 2A).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de ferro de 2,79; 3,08; 2,78 e 7,88% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,87; 0,20; 0,24; 0,53 e 0,05% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente.

Observa-se, ainda, que, apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de ferro em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável (Figura 2A).

Quanto aos efeitos inerentes ao favorecimento hídrico sob os teores foliares de Fe, pode-se considerar que, conforme o observado para os macronutrientes analisados, a ampliação da quantidade de água disponível no solo contribuiu para a otimização de sua respectiva taxa de absorção, uma vez que incrementos no fornecimento de água podem induzir uma maior taxa de absorção de nutrientes pelas plantas, resultando, possivelmente, em maiores teores de nutrientes em seus tecidos foliares, mesmo daqueles que são requeridos em menores quantidades pelas espécies vegetais, tais como o Fe (ALMEIDA *et al.*, 2002).

Complementarmente, no caso específico do Fe, o efeito do déficit hídrico pode ter se tornado ainda mais proeminente, o que pode ser ratificado levando-se em consideração as inferências de Nunes *et al.* (2004), ao discorrerem que este elemento possui grande afinidade para com a fase sólida do solo, de tal forma que, predominantemente, o mecanismo de transporte do mesmo do solo ao sistema radicular é a difusão.

Ao que se relaciona aos efeitos da salinidade do solo sob os teores foliares de Fe, pode-se considerar que as tendências de reduções dos conteúdos deste nutriente nos tecidos foliares refletem as influências que o elevado conteúdo de sais é capaz de exercer nos processos de absorção e de acumulação de nutrientes essenciais, evidenciando que os danos do estresse salino não se restringem apenas a aquisição de macronutrientes, estendendo-se, também, a limitações na absorção e no acúmulo de micronutrientes, tais como o ferro (SOUSA *et al.*, 2012).

Estes resultados corroboram com Heidari e Sarani (2012), ao descreverem que o elevado conteúdo de sais no solo, sobretudo de sódio, podem afetar a absorção deste micronutriente, ao ponto de agravar a deficiência ou a toxicidade de Fe.

Para os referidos autores, na espécie *Matricaria chamomilla* L., o efeito depressivo da salinidade na acumulação foliar de Fe foi confirmado, o que foi atribuído a forte redução da eficiência de absorção do mesmo na presença dos sais, ao ponto que, estas diminuições, podem estar associadas ao provável antagonismo entre Fe, Na e K, tanto pelos sítios de absorção nas raízes, bem como pelos respectivos transportadores destes íons no xilema, o que, possivelmente, também contribuiu para o alcance dos presentes resultados.

Para Rabhi *et al.* (2007), em solos salinos e sódicos a solubilidade de micronutrientes é baixa e as plantas cultivadas em tais solos muitas vezes exibem deficiências nestes referidos elementos. No caso específico do Fe, sabe-se que o alto conteúdo de bicarbonatos, característico dos solos afetados por sais, mostra-se como o principal fator responsável pelo decréscimo de sua disponibilidade no solo, limitando, desta forma, a absorção de Fe pelo citosol das células radiculares, bem como o seu posterior transporte, seguido do acúmulo na parte aérea.

Conforme os referidos autores, as relações entre a salinidade e o micronutriente ferro são complexas, de tal magnitude que o estresse salino pode, na verdade, aumentar, diminuir ou não exercer efeito algum sobre os teores foliares de Fe nos vegetais. Neste sentido, os autores consideram que as diferenças incidentes podem ser ainda dependentes do tipo de planta, do tecido vegetal considerado, do nível de salinidade e da composição desta, da concentração de Fe no meio, das demais condições de crescimento, bem como da duração do período de exposição ao estresse salino.

Os teores de Fe presentes nos tecidos foliares das plantas jovens de coqueiro encontram-se acima do nível crítico ($40 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) apresentado por Sobral (1998), independente do nível de deficiência hídrica e de salinidade do solo, resultando em uma média geral de $93,02 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, o que significa que este micronutriente não se mostrou limitante à espécie, mantendo-se em níveis adequados, mesmo diante das variações registradas nos teores foliares de Fe em função das associações dos fatores em estudo.

No tocante a variável teores foliares de cobre (Cu), apresenta-se na Figura 2B a superfície de resposta e o referente modelo matemático ajustado, onde se evidenciou que o menor dos valores ($7,54 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) foi obtido através da influência mútua entre 20% da ETpc e a CE de $40,70 \text{ dS m}^{-1}$, sendo que o maior dos valores ($23,24 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$), superior em aproximadamente 68% quando comparado a este, foi mensurado através da associação do cultivo sem restrição hídrica (100% da ETpc), no menor nível salino ($1,72 \text{ dS m}^{-1}$).

Através do modelo matemático proposto, observaram-se efeitos lineares positivos e significativos para os fatores ETpc e CE, com acréscimos da ordem de 0,1308 e de 0,0106

mg kg⁻¹ MS, para cada respectivo incremento unitário nos fatores supracitados, sendo que a interação entre os fatores em estudo resultou em efeitos lineares negativos acarretando reduções de 0,0011 mg kg⁻¹ MS, também diante dos incrementos nos fatores unitários (Figura 2B).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de cobre de 3,50; 1,35; 1,49 e 1,61% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,32; 0,60; 0,05; 0,13 e 0,82% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se ainda que apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de cobre em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável.

Os acréscimos dos teores foliares de Cu frente ao favorecimento hídrico podem ser também justificados em decorrência do fato de 99% do transporte deste nutriente no sistema solo - planta ser por meio da difusão (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Neste sentido, semelhante ao constatado para os teores foliares de Fe, relata-se que sendo a difusão um processo altamente dependente da água do solo, espera-se que à medida que a disponibilidade hídrica no solo é reduzida, o teor de Cu passível de ser difundido, absorvido e assimilado por parte dos vegetais é também diminuído, justificando, possivelmente, os acréscimos lineares positivos constatados para os teores foliares deste elemento, frente ao incremento da ETpc (BASTOS *et al.*, 2008).

Quanto ao efeito constatado para o fator salinidade do solo sob a variável em questão, pode-se considerar que estes acréscimos averiguados nos teores foliares de Cu diante do gradiente de salinidade avaliado são decorrentes dos prováveis incrementos dos teores deste micronutriente no solo.

Tal proposição pode ser mais bem embasada diante das informações fornecidas por Cunha *et al.* (2014), ao relatarem que o aumento da salinidade do solo pode majorar a mobilização de metais, tais como o Cu, possibilitando a absorção destes pelos vegetais. Para os autores, sob condições salinas os cátions Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ abundam na solução do solo, assim sendo, como resultado da concorrência entre estes cátions bivalentes e os íons metálicos, os metais podem ser facilmente mobilizados, o que pode condicionar suas absorções, bem como suas respectivas acumulações por parte dos tecidos vegetais.

No entanto, os atuais registros disponíveis na literatura conduzem a dedução de que a influência da salinidade sobre o acúmulo de Cu nos tecidos vegetais também têm sido variáveis, tendo em vista que nas mais diversas espécies vegetais, enquanto alguns relatos registram acréscimos, outros expõem decréscimos nos teores foliares de Cu em função do aumento salinidade (SILVA *et al.*, 2013).

Os teores foliares de cobre apresentaram-se superiores aos limites críticos adequados para a cultura, que são de 4 a 5 mg kg⁻¹ MS, conforme o reportado por Teixeira e Silva (2003), em todas as associações dos níveis dos fatores em estudo, que originam uma média geral de 12,39 mg kg⁻¹ MS.

Em se tratando dos teores foliares de manganês (Mn), constatou-se que o menor dos valores (34,25 mg kg⁻¹ MS) foi obtido através da interação entre 20% da ETpc, no nível de salinidade correspondente a 40,70 dS m⁻¹, ao passo que o cultivo sob 100% da ETpc, em associação à salinidade equivalente a 1,72 dS m⁻¹, resultou no maior acúmulo foliar de Mn (113,97 mg kg⁻¹ MS), que por sua vez é superior em aproximadamente 70% quando equiparada ao menor dos valores obtidos (Figura 2C).

O modelo matemático ao qual os dados melhor se adequaram para os teores foliares de Mn frente à variação dos níveis dos fatores em estudo foi o linear ($R^2 = 0,9734$), ao qual estimou que os acréscimos sobre os teores foliares de Mn foram de 0,6244 mg kg⁻¹ MS, para cada incremento unitário da ETpc, todavia, o referido modelo prediz que quando as plantas são expostas às crescentes salinidades, ocorre uma diminuição nos teores foliares deste micronutriente da ordem de 0,5364 mg kg⁻¹ MS, para cada incremento unitário de CE.

Suplementarmente, a associação entre ETpc e CE, fortaleceu os efeitos positivos do favorecimento hídrico, acarretando acréscimos lineares de aproximadamente 0,0033 mg kg⁻¹ MS, diante dos respectivos incrementos unitários dos níveis dos fatores em estudo (Figura 2C).

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de manganês de 1,48; 1,42; 2,08 e 3,22% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 1,10; 0,32; 0,27; 0,19 e 0,33% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se, ainda, que, apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de manganês em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável.

A progressiva elevação dos teores foliares de Mn concomitante com a elevação do conteúdo de água no solo foi influenciado, possivelmente, pela maior absorção de água e, por conseguinte de Mn pelas plantas com o incremento do nível de reposição da evapotranspiração.

Estas proposições vão ao encontro com as idéias de Sandri, Matsura e Testezlaf (2009), quando relatam que dentre os fatores que exercem controle na solubilidade do Mn, apontam-se, incontestavelmente, o efeito particular da umidade do solo, haja vista que a baixa disponibilidade de água no solo pode afetar a absorção de Mn, em decorrência da menor mobilidade deste micronutriente no solo.

Esta inferência apóia-se ainda nas assertivas de Pegoraro *et al.* (2006), quando relatam que, de forma semelhante ao exposto para os micronutrientes Fe e Cu, o transporte do Mn no solo ocorre predominantemente por difusão, movimento térmico aleatório de íons em direção à raiz, em implicação ao gradiente de concentração originado na superfície radicular, que, por sua vez, mostra-se extremamente influenciado pelo conteúdo de água do solo.

Desta forma, provavelmente a diminuição do conteúdo de água disponível no solo, nos diferentes níveis de deficiência hídrica avaliados, acarretou redução na difusão de Mn no sistema solo - planta.

Segundo Oliveira, Rosolem e Trigueiro (2004), um maior teor de água no solo beneficia a difusão pela sua influência direta sobre a redução da tortuosidade do caminho difusivo a ser percorrido pelo nutriente no solo, de tal modo que, no presente trabalho, quando a umidade do solo não foi limitante (100% da ET_{pc}) supõe-se que uma maior taxa de transporte de Mn, bem como dos demais nutrientes foi proporcionada às raízes, aumentando, conseqüentemente, sua taxa de absorção e, com obviedade, sua respectiva acumulação nos tecidos foliares, o que acabou refletindo nos máximos valores obtidos para a aludida variável, mesmo diante dos crescentes níveis de salinidade avaliados.

As tendências de reduções do Mn ante ao gradiente de salinidade do solo avaliado, deve-se, dentre outras plausíveis razões, ao fato dos incrementos salinos causarem decréscimos no consumo de água pelas plantas, sendo uma das causas, as implicações inerentes à redução do potencial osmótico, que torna a água e os nutrientes, de modo inclusivo, o Mn, cada vez menos disponíveis (SOUSA *et al.*, 2011).

Por outro lado, deve-se ponderar que a disponibilidade do Mn no solo depende, dentre outros fatores, sobretudo do pH, do potencial de oxi-redução, da matéria orgânica e do equilíbrio com outros cátions, como o ferro, cálcio e magnésio (MOREIRA *et al.*, 2006).

Semelhante ao relatado para os demais micronutrientes, infere-se que as influências da salinidade sob os teores foliares de Mn são contraditórias, como exemplos, enquanto Silva *et al.* (2014) relatam que plantas de *Capsicum annum* L. tiveram os teores foliares de Mn acrescidos em virtude do aumento de salinidade, Terceiro Neto *et al.* (2012) já observaram similaridade no teor de manganês no tecido foliar de *Cucumis melo* L., com o crescente aumento da salinidade na água de irrigação e, por outro lado, corroborando com o presente trabalho, Sousa *et al.* (2007) constataram redução nos teores desse micronutriente com o aumento da salinidade em plantas de *Vigna unguiculata* L. Walp.

De acordo com estes últimos autores supracitados, na maioria das espécies vegetais estudadas, têm sido observadas reduções nos teores foliares de Mn em resposta à salinidade, independente do tipo de substrato experimentalmente empregado, resumindo que a aquisição de Mn pela planta é afetada pela composição química do meio salino, ao passo que a redução na absorção de Mn, evidenciada pela redução do acúmulo foliar deste micronutriente é decorrente de seu antagonismo com os íons Ca.

Em média, os valores dos teores foliares de Mn nas associações entre os níveis dos tratamentos empregados ($77,55 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) foram inferiores àquele considerado por Teixeira e Silva (2003) como crítico à espécie (100 mg kg^{-1}), o que conduz a proposição de que as plantas apenas se encontravam adequadamente supridas com Mn quando as necessidades hídricas foram plenamente atendidas (100% ETpc), independente do nível de salinidade do solo, haja vista os valores estimados para esta referida variável frente às associações entre os níveis dos fatores em estudo (Figura 2C).

Apresenta-se, na Figura 2D, a superfície de resposta que representa os teores foliares de zinco - Zn em função das combinações de diferentes níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo (CE).

A respeito dos teores foliares de zinco (Zn) em função dos tratamentos de deficiência hídrica e de salinidade do solo, verificou-se que o máximo valor, $56,23 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, foi obtido no tratamento equivalente à associação entre 100% da ETpc e o solo caracterizado por deter uma CE de $1,72 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto o menor valor médio da variável em questão, $28,02 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, inferior em aproximadamente 50%, quando equiparado ao máximo, foi constatado no tratamento em que foi aplicada a menor lâmina de água (20% da ETpc), combinado com o valor mais elevado de salinidade do solo ($40,80 \text{ dS m}^{-1}$), conforme o exposto na Figura 2D.

O modelo matemático de superfície de resposta apresentado na Figura 2D ilustra que o incremento na ETpc e na CE proporcionaram aumentos e decréscimos lineares nos

teores foliares de Zn, respectivamente. Esse aumento foi na proporção aproximada de 0,2092 mg kg⁻¹ MS, ao passo que a redução foi de 0,2403 mg kg⁻¹ MS, a cada incremento unitário de ETpc e de CE, respectivamente. No que diz respeito ao parâmetro equivalente à interação entre os referidos fatores, supõe-se que a associação entre os tratamentos contribuiu com os efeitos positivos do favorecimento hídrico sob a variável em questão, com elevações embora não tão expressivas em termos de valores absolutos (0,0022 mg kg⁻¹ MS), frente aos respectivos incrementos unitários de ETpc e de CE.

Nas plantas submetidas aos diferentes níveis de reposição da ETpc, estimaram-se acréscimos nos teores foliares de zinco de 0,53; 0,79; 0,90 e 1,19% por aumento unitário do % da ETpc, nas salinidades correspondentes a 1,72; 6,25; 25,80 e 40,70 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis de salinidade, estimaram-se decréscimos de 0,65; 0,23; 0,16; 0,11 e 0,09% por aumento unitário da CE, nos níveis de reposição da ETpc equivalentes a 20; 40; 60; 80 e 100% da ETpc, respectivamente. Observa-se, ainda, que, apesar de ter ocorrido decréscimos nos teores foliares de zinco em resposta ao incremento da CE, sempre que se aumentou a disponibilidade hídrica ocorreu um incremento na variável.

O fato das maiores lâminas de irrigação aplicadas acrescentarem os teores foliares desse micronutriente, possivelmente, atribui-se, de forma semelhante ao ocorrido para Fe, Cu e Mn, ao fato do transporte de Zn da solução do solo até a superfície das raízes também ocorrer principalmente por difusão (SOUZA *et al.*, 2010).

Sob esta perspectiva o consumo de Zn da solução do solo está também diretamente associado à quantidade de água disponibilizada às plantas, tendo em vista que a água funciona como meio de condução deste elemento do solo para as raízes, assim, quando há restrição no suprimento hídrico, a absorção seguida da acumulação de Zn é de igual modo extremamente comprometida, ao passo que o suprimento de água e de Zn pelas raízes mostra-se limitante (DOMINGHETTI *et al.*, 2014).

Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Scalco *et al.* (2014), que também observaram que o teor foliar de Zn em plantas de *Coffea arabica* aumentou de forma linear com o acréscimo da lâmina de irrigação, e são divergentes dos obtidos por Carvalho *et al.* (2002), ao constatarem que em *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg., as lâminas de irrigação não exerceram influência sobre os teores foliares de Zn.

Motalebifard *et al.* (2013) discorrem que o Zn participa de processos fisiológicos e metabólicos que condicionam tolerância aos efeitos do déficit hídrico nas plantas, ao passo

que seus teores foliares podem afetar as relações hídricas dos vegetais, modificando, principalmente, os processos associados à regulação estomática.

Para os autores, este micronutriente atua, ainda, em relevantes mecanismos, sobretudo em condições de insuficiência de água, agindo na manutenção da integridade estrutural celular, controlando a permeabilidade das biomembranas, além de desempenhar um papel fundamental no controle da atuação de espécies reativas de oxigênio (EROs), principalmente protegendo os lipídios das membranas e das proteínas da peroxidação, causada pelas EROs.

A redução nos teores foliares de Zn em função do aumento da salinidade pode ser justificada pelos efeitos adversos que os elevados teores de sais nos solos exercem sobre os processos de absorção e de transporte de Zn na planta, o que, de forma semelhante ao proposto para o Mn, pode ser ainda mais um reflexo da restrição da capacidade de absorção de água e, conseqüentemente, de Zn em decorrência da salinidade (FREIRE *et al.*, 2010).

Há poucos registros na literatura acerca dos efeitos da salinidade sob os teores foliares de Zn, o que acaba limitando a interpretação adequada dos presentes resultados. A este respeito, Chatzistathis (2014), discorre que, semelhante ao constatado para os demais micronutrientes, alguns resultados apontam que as concentrações foliares de Zn diminuem com o aumento da sodicidade, mas não necessariamente com o aumento da salinidade, ao passo que, outros resultados, mostram que a salinidade pode aumentar, manter constante ou reduzir os teores foliares deste micronutriente, conforme o que foi constatado no presente trabalho.

Como exemplo, pode-se considerar os resultados divergentes a estes que foram os obtidos por Sousa *et al.* (2012), quando constataram que o teor foliar de Zn em *Jatropha curcas* L. aumentou linearmente com o incremento da salinidade da água de irrigação.

No entanto, independente das associações entre os tratamentos avaliados, os teores foliares de Zn foram superiores a 15 mg kg⁻¹ MS, estabelecido por Teixeira e Silva (2003) como críticos à cultura, sendo constatada uma média geral para esta variável de 45,56 mg kg⁻¹ MS.

Em síntese, em termos gerais, as necessidades de micronutrientes das plantas jovens de coqueiro submetidas aos diferentes níveis de deficiência hídrica e de salinidade do solo obedeceram à seguinte ordem decrescente: Fe > Mn > Zn > Cu.

4 CONCLUSÕES

Os teores foliares dos nutrientes N, Ca, S, Fe, Mn e Zn crescem positivamente com a ampliação da disponibilidade hídrica e reduzem-se substancialmente com o aumento dos níveis salinos, demonstrando o antagonismo entre os fatores em estudo.

A interação dos menores níveis de deficiência hídrica com os maiores níveis salinos maximiza os teores foliares de Mg e Cu e minimiza os de K.

Durante o estabelecimento das plantas jovens de coqueiro, a necessidade de macronutrientes obedece à ordem decrescente: N, K, Ca, Mg, S e P e à de micronutrientes: Fe, Mn, Zn e Cu.

REFERÊNCIAS

- AHMED, I. M.; CAO, F.; HAN, Y.; NADIRA, U. A.; ZHANG, G.; WU, F. Differential changes in grain ultrastructure, amylase, protein and amino acid profiles between Tibetan wild and cultivated barleys under drought and salinity alone and combined stress. **Food Chemistry**, v. 141, p. 2743–2750, 2013.
- ALMEIDA, F. T. de; BERNARDO, S.; MARINHO, C. S.; MARIN, S. L. D.; SOUSA, E. F. de. Teores de nutrientes do mamoeiro ‘Improved Sunrise solo 72/12’ sob diferentes lâminas de irrigação, no norte fluminense. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 547-551, 2002.
- AQUINO, L. A. de; AQUINO, R. F. B. A.; SILVA, T. C.; SANTOS, D. F. dos; BERGER, P. G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.355 – 361, 2012.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V. da; SILVA, I. de F. da; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.136 – 142, 2008.
- BROCH, D. L.; PAVINATO, P. S.; POSSENTTI, J. C.; MARTIN, T. N.; QUIQUI, E. M. D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.
- CARVALHO, A. J.C. de; MARTINS, D. P. MONNERART, D.P.; BERNARDO, S.; SILVA, J. A. da. Teores de nutrientes foliares no maracujazeiro amarelo associados à estação fenológica, adubação potássica e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 403 - 408, 2002.
- CHATZISTATHIS, T. Plant Responses to Iron, Manganese, and Zinc Deficiency Stress. **Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance**, v.1, s.n, p. 293 – 311, 2014.
- CUNHA, C. S. M.; HERNADEZ, F. F. F.; SILVA, F. N. da; ESCOBAR, M. E. O.; MAGALHÃES, D. R.; ANJOS, D. C. dos. Relação entre solos afetados por sais e concentração de metais pesados em quatro perímetros irrigados no Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S80–S85, 2014.
- DOMINGHETTI, ANDERSON W.; SCALCO, MYRIANE S.; GUIMARÃES, RUBENS J.; SILVA, DOUGLAS R. G.; CARVALHO, JOÃO P. S.; PEREIRA, VINÍCIUS A. Doses de fósforo e irrigação na nutrição foliar do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p.1235 – 1240, 2014.
- 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.

- FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G. de; CURI, N.; PINTO, J. E. B. P.; GUIMARÃES, P. de T. G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1613-1619, 2002.
- FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p. 1.675 - 1.681, 2007.
- FERREIRA NETO, MIGUEL; HOLANDA, JOSÉ SIMPLÍCIO de; GHEYI, HANS RAJ; FOLEGATTI, MARCUS VINÍCIUS; DIAS, NILDO da SILVA. Atributos químicos do solo e estado nutricional de coqueiro anão fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 30 – 40, 2014.
- FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. do A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.11, p.1.432 - 1.439, 2013.
- FONTE, P. C. R. Nutrição mineral de hortaliças: horizontes e desafios para um agrônomo. **Horticultura brasileira**, v. 32, n. 3, p. 247 - 253, 2014.
- FREIRE, A. L. de O.; SOUSA FILHO, G. M. de; MIRANDA, J. R. P. de; SOUTO, P. C.; ARAÚJO, L. V. C. de. Crescimento e nutrição mineral do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e cinamomo (*Melia azedarach* Linn.) submetidos à salinidade. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 207-215, 2010.
- FREIRE, J. L. de O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R. do; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, n.1, p. 57 - 70, 2013.
- GARCIA, G. de O.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; AMARAL, J. A. T. do. Nutrição do cafeeiro conilon irrigado com água salina. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 16-27, 2012.
- HASSINE, A.B , LUTTS S. Differential responses of saltbush *Atriplex halimus* L. exposed to salinity and water stress in relation to senescing hormones abscisic acid and ethylene. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n.17, p. 1448 - 1456, 2010.
- HEIDARI, M.; SARANI, S. Growth, biochemical components and ion content of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under salinity stress and iron deficiency. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.11, s.n, p. 37 – 42, 2012.
- JALEEL, C. ABDUL; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and índole alkaloid accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, s.n, p. 110 – 116, 2007.
- LAURINDO, V. T.; SILVA, G. O.; PAVANI, L. C.; QUAGGIO, J. A. Padrão de distribuição de K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e P no solo de um pomar de citros em função da fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p. 909 - 921, 2010.

LEÃO, D. A. S.; FREIRE, A. L. de O.; MIRANDA, J. R. P. de. Estado nutricional de sorgo cultivado sob estresse hídrico e adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 74 - 79, 2011.

MAGALHÃES, J.A., CARNEIRO, M.S. de S., ANDRADE, A.C., PEREIRA, E.S., SOUTO, J.S., PINTO, M.S. de C., RODRIGUES, B.H.N., COSTA, N. de L.; MOCHEL FILHO, W. de J.E. Eficiência do nitrogênio, produtividade e composição do capim andropogon sob irrigação e adubação. **Archivos de Zootecnia**, v.61, n.236, p.577 - 588, 2012.

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

MOREIRA, SILVINO GUIMARÃES; PROCHNOW, LUIS IGNÁCIO; KIEHL, JORGE de CASTRO; MARTIN NETO, LADISLAU; PAULETTI, VOLNEI. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p. 121 - 136, 2006.

MORGAN, S. H.; MAITY, P. J.; GEILFUS, CHRISTOPH-MARTIN; LINDBERG, S.; MÜHLING, K. H. Leaf ion homeostasis and plasma membrane H⁺-ATPase activity in *Vicia faba* change after extra calcium and potassium supply under salinity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.82, s.n, p. 244 - 253, 2014.

MOTALEBIFARDA, R.; NAJAFIA, N.; OUSTANA, S.; NYSHABOURIA, M.R.; VALIZADEH, M. The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 162, s.n, p. 31 – 38, 2013.

NAZAR, R.; IQBAL, N.; MASOOD, A.; SYEED, S.; KHAN, N. A. Understanding the significance of sulfur in improving salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, s.n, p. 80 – 87, 2011.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. de; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B. da; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.758 - 765, 2009.

NUNES, F. N.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; GEBRIM, F. O.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, s.n, p. 423 - 429, 2004.

OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H., FERREIRA, P. A.; COSTA, F. O.; ALMEIDA, I. C. C. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plants in response to soil aggregate size and water potential. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, s.n, p. 317 - 327, 2010.

OLIVEIRA, F. de A. de; CAMPOS, M. de S.; OLIVEIRA, F. R. A. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; MEDEIROS, J. F. de; MELO, K. de M.. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 37-45, 2011.

- OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, s.n, p. 439 - 445, 2004.
- PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Revista Ceres**, v. 59, n.1, p. 110-117, 2012.
- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R. da; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. de SÁ; GEBRIM, F. de O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.30, s.n, p. 859 - 868, 2006.
- RABHI, M.; BARHOUMI, Z.; KSOURI, R.; ABDELLY, C.; GHARSALLI, M. Interactive effects of salinity and iron deficiency in *Medicago ciliaris*. **Comptes Rendus Biologies**, v. 330, s.n, p. 779 – 788, 2007.
- SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.755–764, 2009.
- SANTANA, T. A. de; OLIVEIRA, P. S.; SILVA, L. D.; LAVIOLA, B. G.; ALMEIDA; A.-A. F. de, GOMES, F. P. Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha curcas* L. subjected to soil water déficit. **Biomass and Bionergy**, v. 75, s.n, p. 119 - 125, 2015.
- SANTOS, J. F. dos; SACRAMENTO, B. L. do; MOTA, K. N. A. B.; SOUZA, J. T. de; AZEVEDO NETO, A. D. de. Crescimento de girassol em função da inoculação de sementes com bactérias endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 142-150, 2014.
- SCALCO, M. S.; ALVARENGA, L. A.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. W.; COLOMBO, A.; ASSIS, G. A.; ABREU, G. F. Teores foliares de fósforo e zinco, produtividade e crescimento de café irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.2, p.95 - 101, 2014.
- SILVA, JOSÉ LEÔNICIO de ALMEIDA; ALVES, SAMARA SIBELLE VIEIRA; NASCIMENTO, IARAJANE BEZERRA do; MEDEIROS, JOSÉ FRANCISMAR de; TARGINO, ANA JACQUELINE de OLIVEIRA; LINHARES, PAULO SÉRGIO F. Teores foliares no pimentão submetido à estresse salino em diferentes solos. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, n. 2, p. 77 - 82, 2014.
- SILVA, M. V. T. da; LIMA, R. M. de S.; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, A. M. A. de; SILVA, N. K. C.; OLIVEIRA, F. L. de. Diagnose foliar da abóbora submetida a diferentes níveis de salinidade e doses crescentes de nitrogênio. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, n.2, p 118-125, 2013.
- SOBRAL, L. F. Nutrição e adubação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (ed.) **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2.ed. Brasília: Embrapa CPATC. 1998, cap.3, p.65-72.

SOUSA, A. E. C.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G. Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 310-318, 2011.

SOUSA, A. E. C.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; UYEDA, C. A. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 144 - 152, 2012.

SOUSA, ROBSON A.; LACERDA, CLAUDIVAN F. de; AMARO FILHO, JOAQUIM; HERNANDEZ, FERNANDO 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, E. R. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do; MONTENEGRO, A. A. de A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. de. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.477-483, 2011.

SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; VILLANI, E. M. de A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, s.n, p.1641 - 1652, 2010.

TEIXEIRA, L. A. J.; BATAGLIA, O. C.; BUZETTI, S.; FURLANI JUNIOR, E. Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.) - atributos químicos do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 115-119, 2005.

TEIXEIRA, L. A. J.; SILVA, J. A. A. da. Nutrição mineral de populações e híbridos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) cultivados em Bebedouro (SP). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 371-374, 2003.

TERCEIRO NETO, CÍCERO P. C.; MEDEIROS, JOSÉ F. de; GHEYI, HANS R.; DIAS, NILDO da S.; OLIVEIRA, FRANCISCO R. A. de; LIMA, KEIVIANNE da S. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no meloeiro irrigado sob estratégias de manejo da salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1069 - 1077, 2012.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R. dos; RASCHE, J. W. A.; BRUNETTO, G.; MALLMANN, F. J. K.; PICCIN, R. Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p.518-527, 2012.

VALICHESKI, R. R.; MARCIANO, C. R.; PEÇANHA, A. L.; BERNARDES, R. S.; MONNERAT, P. H. Estado nutricional do coqueiro cultivado em solos submetidos a diferentes níveis de compactação e umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1152-1160, 2011.

ZEHRA, A.; GUL, B.; ANSARI, R.; KHAN, M.A. Role of calcium in alleviating effect of salinity on germination of *Phragmites karka* seeds. **South African Journal of Botany**, v.78, s.n, p. 122 - 128, 2012.