



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

MARIA DA SAÚDE DE SOUSA RIBEIRO

**INDICADORES DE TOXICIDADE E RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E
NUTRICIONAIS EM COMBINAÇÕES DE DEZ PORTA-ENXERTOS DE CITROS
COM A LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' SOB ESTRESSE SALINO**

FORTALEZA

2020

MARIA DA SAÚDE DE SOUSA RIBEIRO

INDICADORES DE TOXICIDADE E RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E NUTRICIONAIS
EM COMBINAÇÕES DE DEZ PORTA-ENXERTOS DE CITROS COM A LIMEIRA
ÁCIDA 'TAHITI' SOB ESTRESSE SALINO

Tese apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda
Coorientador: Prof. Marcos Eric Barbosa Brito

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R37i Ribeiro, Maria da Saúde de Sousa.
Indicadores de toxicidade e respostas bioquímicas e nutricionais em combinações de dez porta-enxertos de citros com a limeira ácida 'Tahiti' sob estresse salino / Maria da Saúde de Sousa Ribeiro. – 2020.
72 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
Coorientação: Prof. Dr. Marcos Eric Barbosa Brito.
1. Citrus spp. 2. Tolerância à salinidade. 3. Cloreto. 4. Solutos orgânicos. 5. Nutrição mineral. I. Título.
CDD 630
-

MARIA DA SAÚDE DE SOUSA RIBEIRO

INDICADORES DE TOXICIDADE E RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E NUTRICIONAIS
EM COMBINAÇÕES DE DEZ PORTA-ENXERTOS DE CITROS COM A LIMEIRA
ÁCIDA 'TAHITI' SOB ESTRESSE SALINO

Tese apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Marcos Eric Barbosa Brito (Coorientador)
Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Dra. Aiala Vieira Amorim
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia
Afro-Brasileira (UNILAB)

Dra. Antônia Leila Rocha Neves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Carlos Alexandre Gomes da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu filho Guilherme, aos meus pais
e a todos os meus irmãos, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força e paciência concedida para conseguir chegar ao final, mesmo em meio a tanto obstáculo.

A Inês Maria e José Melo, meus pais, que me ajudaram, incentivaram e, principalmente, me ensinaram valores pessoais.

Ao meu filho, Guilherme, por toda a paciência, mesmo sem entender nada da minha correria. Pela pureza e leveza que dá aos meus dias mais difíceis e, principalmente, por ser meu motivo maior de procurar novos horizontes.

Aos meus irmãos e sobrinhos, por todo amor durante toda essa longa jornada.

A Ítalo Carvalho, também agradeço pelo companheirismo e paciência com nossa família.

A Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Engenharia Agrícola, aos professores e funcionários pelo auxílio na minha formação profissional.

Ao prof. Claudivan, por toda paciência, ajuda e principalmente os ensinamentos, não só profissionais, mas também pessoais.

Ao prof. Marcos Eric, pela colaboração não só no trabalho de pesquisa mas por toda a disponibilidade em me ajudar sempre que necessitei, bem como todos os seus orientados, que auxiliaram muito no trabalho.

A minha banca examinadora, que além do meu orientador e coorientador era composta pela professora Aiala Vieira, Isabel Cristina, Carlos Alexandre e Leila Neves pelas belíssimas colaborações na melhoria do trabalho e principalmente pela amizade

Aos amigos do Laboratório Relação Solo-Água-Planta, pela ajuda para a realização do presente trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal, por todo auxílio nas análises.

Aos amigos que fiz durante a minha passagem na pós-graduação, os quais evito aqui citar nomes para não ser injusta e esquecer alguém, visto que foram muitos.

A todas as mães na pós-graduação, que mantem-se firmes e fortes nessa luta tão árdua para dar um melhor futuro aos seus filhos, assim como eu.

A Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro.

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota. (Madre Teresa de Calcutá).

RESUMO

A citricultura no Nordeste tem grande importância socioeconômica para a geração de emprego, porém, os problemas de disponibilidade hídrica e de salinidade da água de irrigação são fatores que limitam a produtividade dos citros. Portanto, procurar genótipos tolerantes à salinidade é uma estratégia básica para reduzir os impactos da salinidade na sustentabilidade da agricultura nesta região. Para espécies propagadas por enxerto, como citros, avaliar combinações de enxerto/porta-enxerto parece ser a melhor estratégia para obter genótipos tolerantes à salinidade, devido às influências mútuas que ocorrem. Neste estudo, foram avaliados indicadores de toxicidade iônica (razão Cl^- , Na^+ e Na^+/K^+), respostas bioquímicas (atividades de APx e SOD e teores de solutos orgânicos), a nutrição mineral (N, P, K, Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn e Fe) e as trocas gasosas em plantas de dez porta-enxertos de citros quando enxertados com a limeira ‘Tahiti’ sob irrigação com água salina, com o objetivo de identificar genótipos tolerantes ao estresse. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, seguindo um arranjo fatorial ($2 \times 10 \times 2$), correspondente a dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,3 e 3,0 dS m^{-1}); dez combinações de copa/porta-enxerto, com a limeira ‘Tahiti CPMF 2001’ usada como variedade copa; e dois tempos de avaliação (novembro de 2016 e novembro de 2017). O experimento foi realizado no campo, em condições semiáridas, e as plantas foram cultivadas em lisímetros. A salinidade afetou as trocas gasosas foliares, mas não foi observada nenhuma correlação entre a taxa fotossintética foliar e os teores de nutrientes avaliados. Os dados de nutrição mineral e de trocas gasosas foliares não permitiram identificar dissimilaridades genotípicas em termos de tolerância de citros à salinidade. Por outro lado, fortes correlações entre indicadores de toxicidade iônica e respostas bioquímicas foram mais associadas ao período de avaliação do que com diferenças entre os genótipos. Os indicadores de toxicidade iônica, especialmente o teor de Cl^- , possibilitaram maior diferença genotípica para a seleção de porta-enxertos de citros tolerantes à salinidade, em comparação com as respostas bioquímicas. Entre os cruzamentos estudados, o TSKC x (LCR x TR) foi o mais promissor na obtenção de porta-enxertos cítricos tolerantes à salinidade, considerando o critério de menor aumento no teor de cloreto de folhas na planta enxertada.

Palavras-chave: *Citrus spp.* Tolerância à salinidade. Cloreto. Solutos orgânicos. Nutrição mineral. Dissimilaridades genotípicas.

ABSTRACT

Citriculture in the Northeast has great socioeconomic importance for job creation. However, the problems of water availability and salinity of irrigation water are factors that limit citrus productivity. So, searching for salt tolerant genotypes is a basic strategy to reduce the impacts of salinity on agriculture sustainability in this region. For species propagated by grafting, as citrus, evaluating scion/rootstock combinations seems to be the best strategy for obtaining salt tolerant genotypes, due to the mutual influences that occur. In this study we evaluated indicators of ionic toxicity (Cl^- , Na^+ , and Na^+/K^+ ratio), biochemical responses (activities of APx and SOD and contents of organic solutes), mineral nutrition (N, P, K, Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn and Fe), and leaf gas exchange in leaves of ten rootstocks of citrus when grafted with Tahiti lime under irrigation with saline water, aiming to identify salt tolerant genotypes. The experiment was conducted in a randomized block design, with three repetitions, following a factorial arrangement ($2 \times 10 \times 2$): Two levels of electrical conductivity of irrigation water (0.3 and 3.0 dS m^{-1}); Ten scion/rootstock combinations, with Tahiti lime as the scion variety; Two evaluation times (November 2016 and November 2017). The experiment was carried out in the field, under semi-arid conditions, and the plants were grown in lysimeters. Salinity affected leaf gas exchange, but no correlation was observed between leaf photosynthetic rate and the levels of mineral nutrients evaluated. The data on mineral nutrition and leaf gas exchange did not allow the identification of genotypic dissimilarities in terms of salt tolerance of citrus. On the other hand, strong correlations between ionic toxicity indicators and biochemical responses were more associated to evaluation period than with differences between genotypes. The ionic toxicity indicators, especially Cl^- content, enabled better genotypic difference for the selection of salt-tolerant citrus rootstocks, compared to biochemical responses. Among the crosses studied, TSKC x (LCR x TR) was the most promising for obtaining salt-tolerant citrus rootstock, considering the criterion of lower increase in leaf chloride contents in the grafted plant.

Keywords: *Citrus* spp. Salt tolerance. Chloride. Organic solutes. Mineral nutrition. Genotypic dissimilarities.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Aspectos gerais sobre a citricultura	16
2.2	Salinidade e crescimento de plantas	17
2.3	Efeitos da salinidade nas trocas gasosas	18
2.4	Efeitos da salinidade nos teores de solutos orgânicos e atividade enzimática	19
2.5	Os citros e a salinidade	20
3	TOXICITY INDICATORS AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF TEN CITRUS ROOTSTOCKS GRAFTED WITH TAHITI LIME UNDER SALT STRESS	23
3.1	Introduction	24
3.2	Material and methods	26
3.3	Results and discussion	29
3.4	Conclusions	38
4	FISIOLOGIA E TEORES FOLIARES NUTRICIONAIS EM GENÓTIPOS DE CITROS ENXERTADOS SOB DIFERENTES SALINIDADES	39
4.1	Introdução	41
4.2	Material e métodos	44
4.2.1	<i>Localização</i>	44
4.2.2	<i>Histórico da área</i>	45
4.2.3	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	45
4.2.4	<i>Instalação e condução do experimento</i>	46
4.2.5	<i>Trocas gasosas foliares</i>	47
4.2.6	<i>Determinação do extrato nitroperclórico</i>	48
4.2.7	<i>Determinação do extrato aquoso</i>	48
4.2.8	<i>Análise estatística</i>	49
4.3	Resultados e discussão	50
4.4	Conclusões	62

5	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

A citricultura é uma das atividades agrícolas de grande importância, tanto pela sua adaptabilidade em diversas condições edafoclimáticas, quanto pelo valor nutricional de seus frutos, ou mesmo o suco destes que, por sua vez, são apreciados pela população dos mais diversos países, gerando maior renda para os produtores. O Brasil é o maior exportador de suco, tanto na forma concentrada e congelada, quanto na forma pasteurizada, de laranjas [*Citrus × sinensis* (L) Osbeck] no mundo, o que gera retorno de cerca de 1,5 bilhão de dólares anuais.

Cada vez mais, a cultura dos citros vem sendo estudada e ganha perspectiva de maiores e melhores produções com a obtenção de combinações copa/porta-enxerto que visam aumentar a produtividade, bem como conseguir manter um bom nível de produção mesmo em condições não favoráveis às plantas, como estresses hídrico e salino. Essas condições desfavoráveis são comuns na Região Nordeste do Brasil, podendo afetar a produtividade e a expansão da citricultura. Nesse sentido, a busca de combinações copa/porta-enxertos mais adaptadas e a adequação dos sistemas de manejo dos pomares são fundamentais para o desenvolvimento da citricultura na região.

Tendo em mente que a muda cítrica, composta por dois indivíduos (copa e porta-enxerto), é o insumo mais importante de um pomar, visto que é uma cultura perene, a mesma vai ser cuidada por 6 a 8 anos antes de revelar seu máximo potencial na produtividade e qualidade dos frutos, logo busca-se proteger a mesma de estresses ou qualquer adversidade para que ocorra expressão do potencial genotípico. Ainda, sabendo-se que os porta-enxertos são capazes de influenciar as mais diversas características produtivas e sanitárias da planta, dá-se então a importância da escolha de um bom porta-enxerto para o pomar a ser implantado.

Em condições salinas, o crescimento e desenvolvimento das plantas cítricas pode ser reduzido, provocando, por consequência, uma menor produção de seus frutos. Isso acontece pelo efeito tóxico dos íons sódio e cloro presentes na solução do solo ou mesmo na água de irrigação, ou pelo estresse osmótico. Estudos estão sendo feitos a fim de contornar os efeitos da salinidade, de modo a encontrar porta-enxertos e copas ou mesmo a combinação dos dois que possam ser mais tolerantes à salinidade. Porém, sabe-se que a tolerância é variável entre espécies, e entre uma mesma espécie a depender do seu estágio de desenvolvimento.

A busca por genótipos tolerantes é uma estratégia básica e de grande relevância para a sustentabilidade da citricultura em ambientes sujeitos ao estresse salino. Em citros, a maioria dos estudos tem se concentrado na seleção de porta-enxertos tolerantes, capazes de reduzir a absorção de íons potencialmente tóxicos, especialmente cloreto. Desse modo, pode-

se propor que a tolerância à salinidade das plantas cítricas obtidas por enxertia está relacionada com a capacidade do porta-enxerto de reduzir a intensidade de indicadores de toxicidade iônica e manter a absorção de nutrientes essenciais, ao mesmo tempo que intensifica os sistemas de defesa com maior acúmulo de solutos orgânicos compatíveis, e maior atuação de enzimas do sistema de defesa antioxidativo celular.

Nesse sentido, buscou-se caracterizar indicadores de toxicidade iônica (teores de Cl^- , Na^+ e relação Na^+/K^+), as respostas bioquímicas (atividades da APx e da SOD e teores de solutos orgânicos), a nutrição mineral (teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn e Fe) e as trocas gasosas foliares de dez porta-enxertos de citros quando enxertados com limeira ‘Tahiti’ [*Citrus × latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sob irrigação com água salina, com o objetivo de identificar genótipos tolerantes ao estresse salino.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais sobre a citricultura

O Brasil é o maior produtor mundial de laranjas, tendo produzido, aproximadamente, 16 milhões de toneladas em 2018 (IBGE, 2018).

Segundo a FAO (2019), cinco países são responsáveis por 58,72% da produção mundial, onde o Brasil destaca-se como maior produtor com cerca de 23,82% desse total. Seguido da China, Índia, México e EUA com 11,85%, 10,43%, 6,32% e 6,30% respectivamente. O Brasil, registrou a maior produtividade com 27,6 t/ha, seguida pelo EUA com 21,5 t/ha. Por outro lado, China e Índia que concentram 22,28% da produção mundial, as produtividades são de apenas 14,5 t/ha e 15,1 t/ha, respectivamente.

As principais regiões produtoras de frutas cítricas são o Sudeste, Sul e Nordeste, embora eles estejam distribuídos por todo País. No ano de 2017, a produção nacional foi superior a 17,4 milhões de toneladas (IBGE, 2018).

A citricultura é uma das mais importantes atividades do cenário agrícola brasileiro, tanto econômica quanto socialmente. A laranjeira doce e a limeira ácida 'Tahiti' [*C. ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka], constituem o primeiro e o quarto lugar, respectivamente, no ranking de exportação de frutas (AGRIANUAL, 2013).

Uma das características mais importantes de uma muda cítrica é o seu porta-enxerto, visto que o mesmo é capaz de influenciar características nas árvores e nos frutos cítricos, como resistência a doenças e estresses, sólidos solúveis totais nos frutos, precocidade de produção, além da quantidade da mesma, entre outros. Sabendo disso, e também da qualidade da maioria das águas predominantes no Nordeste brasileiro que em grande parte encontram-se salinizadas, porta-enxertos tolerantes ao estresse salino podem viabilizar o uso de águas com baixa qualidade e de solos salinos, principalmente no Nordeste, onde, a exemplo do que se dá na citricultura brasileira, predomina a utilização do limoeiro 'Cravo' (*C. ×limonia* Osbeck), independente da condição de clima e de solo e das cultivares-copa utilizadas (FERNANDES et al., 2011).

Por esse motivo, o uso de porta enxertos tolerantes à salinidade pode viabilizar a utilização de água de baixa qualidade e de solos salinos (GRIEVE et al., 2007; PRIOR et al., 2007; FERNANDES et al., 2011; BRITO et al., 2014a).

Sabe-se, ainda, que as culturas cítricas são sensíveis à salinidade (SYVERTSEN; GARCIA-SANCHEZ, 2014), logo, a tolerância de porta-enxertos em relação a níveis de sais,

precisa ser estudada. Brito et al. (2014b) revelaram a importância do porta-enxerto, em relação a variedade copa, a fim de obter materiais cítricos tolerantes à salinidade, e recomendaram o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, o híbrido trifoliado - 069 e o limoeiro Volkameriano [*C. ×volkameriana* (Risso) V. Ten. & Pasq.] como tolerantes aos níveis de condutividade elétrica da água de até 2,4 dS m⁻¹.

2.2 Salinidade e crescimento de plantas

A degradação do solo, devido à salinização, é um fator que influencia severamente a sustentabilidade e a produtividade das culturas em regiões áridas e semiáridas (QADIR et al., 2008). Solos afetados pelos sais representam, aproximadamente, 45 milhões de hectares (20%) de terras agrícolas, produzindo 1/3 da produção mundial de alimentos (HAJIBOLAND, 2013).

O estresse causado por sais é uma das principais tensões abióticas diretamente responsáveis pelo baixo crescimento das plantas que, eventualmente, levam à redução da produção agrícola. Mais de 6% do total de terra (aproximadamente 800 milhões de hectares) que podem potencialmente ser usados para fins agrícolas é severamente afetado por condições salinas em regiões áridas e semiáridas em todo o mundo (SARKAR et al., 2018).

Segundo Kong et al. (2012) as respostas das culturas ao estresse salino podem ser muito variáveis devido aos fatores do solo na zona radicular, como a distribuição dos sais. Ainda, de acordo com Bazihizina et al. (2012) a salinidade raramente é uniforme nos horizontes do solo, e a gama de salinidades na rizosfera pode ser grande, tanto horizontal como verticalmente, mesmo no nível da planta individual (CARTER et al., 2006; LAMBS et al., 2008; LI et al., 2011).

O crescimento, o desenvolvimento e a produção de plantas cítricas podem ser reduzidos em condições mais salinas, o que pode ser atribuído ao efeito de íons tóxicos, principalmente cloro, sódio e boro, e ao estresse osmótico, provocando redução na disponibilidade de água, ou de efeitos específicos de íons que podem acarretar toxidez ou desequilíbrio nutricional nas plantas (LEVY; SYVERTSEN, 2004; ZHAO et al., 2007; NEVES et al., 2008; DIAS; BLANCO, 2016).

Esse efeito osmótico e iônico que a salinidade provoca nas plantas, pode afetar diretamente também os rendimentos, pela redução da disponibilidade da água no solo. A magnitude do estresse osmótico é proporcional a escassez de água no solo para as plantas (SILVA JUNIOR et al., 2017).

Nas regiões áridas e semiáridas, o excesso de sais no solo tem limitado a produção agrícola. A salinidade, tanto dos solos como das águas, é uma das principais causas da queda de rendimento das culturas (SOUZA; CHAVES, 2016). Entretanto, os efeitos dependem, ainda, de outros fatores, como espécie, cultivar, estágio fenológico, tipos de sais, intensidade e duração do estresse salino, manejo cultural e da irrigação e condições edafoclimáticas (TESTER; DAVÉNPORT, 2003).

2.3 Efeitos da salinidade nas trocas gasosas

A salinidade da água de irrigação afeta diretamente as trocas gasosas foliares (BEZERRA et al., 2003) e o crescimento (PRAXEDES et al., 2014), de grande parte das culturas (PRAZERES et al., 2015). Quando as águas salinas são utilizadas na irrigação os sais transportados se depositam no solo e se acumulam sempre que a água evapora ou é consumida pelas plantas (AYERS; WESTCOT, 1999), provocando um aumento do teor de sais dissolvidos, diminuindo o potencial osmótico da solução do solo e reduzindo a disponibilidade de água às plantas (SILVA et al., 2013), resultando, conseqüentemente, em redução do crescimento (ASSIS JUNIOR et al., 2007) e do rendimento das culturas (NEVES et al., 2010).

Os sais presentes na água e/ou no solo podem alterar funções fisiológicas das plantas, de uma maneira geral, devido ao mecanismo de fechamento dos estômatos, que reduz as perdas de água por transpiração, como também diminuem o suprimento de CO₂ para as folhas, resultando em distúrbios das relações hídricas, alterações na absorção e utilização de nutrientes essenciais, além do acúmulo de íons potencialmente tóxicos, especialmente sódio e cloretos no metabolismo vegetal (AMORIM et al., 2010).

A fotossíntese é um dos fatores afetados pela salinidade (ALMEIDA, 2012), de modo que a mesma pode ter suas taxas reduzidas devido à diminuição do potencial hídrico decorrente do estresse salino. A fotossíntese ainda é inibida quando as altas concentrações de Na⁺ e/ou Cl⁻ são acumulados nos cloroplastos (HASANUZZAMAN; NAHAR; FUJITA, 2013), afetando os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A condutância estomática e a transpiração também sofrem redução quando a planta se encontra sob estresse salino, minimizando a perda de água das mesmas para evitar a desidratação (BERTOLLI; SOUZA; SOUZA, 2015). Com o decréscimo destes parâmetros a fotossíntese é prejudicada (SILVA et al., 2010).

2.4 Efeitos da salinidade nos teores de solutos orgânicos e atividade enzimática

Os efeitos deletérios da salinidade nas plantas são atribuídos a estresses osmóticos, iônicos e oxidativos (MANSOUR; ALI, 2017). O estresse oxidativo, por sua vez, é um estresse secundário induzido pela salinidade, no qual as espécies reativas de oxigênio (EROs) são produzidas e acumuladas nos tecidos e atacam os lipídios da membrana, proteínas e ácidos nucleicos (DAS et al., 2016). Vale ressaltar que as EROs podem atuar como agentes de proteção, pois nem sempre são prejudiciais, de modo que desempenham um papel nas vias de sinalização e, portanto, toleram o estresse sob condições salinas, que dependem da concentração e tempo de EROs (SAH et al., 2016).

Em condições de alta salinidade, o aumento das concentrações de íons de sódio e cloro leva a um desequilíbrio nos tecidos da planta, o que resulta na absorção reduzida de nutrientes (PARIHAR et al., 2015), além de diminuir a absorção de potássio (K^+) e cálcio (Ca^{++}), e causar a inativação de várias enzimas, a inibição da síntese proteica, uma baixa taxa de fotossíntese, queima de folhas e caules e senescência precoce das folhas sintomas perceptíveis durante o estresse salino (MUNNS, 2002).

Uma das respostas das células às condições salinas é a alteração do metabolismo e a produção de solutos compatíveis, distribuídos entre diferentes organismos (MANSOUR; ALI, 2017). Entre os diferentes compostos que funcionam como solutos compatíveis, derivados de aminoácidos quaternários, como por exemplo a prolina, a glicina betaína, a β -alanine betaina e prolina betaína, são encontrados em várias plantas sob condições de estresse (MANSOUR, 2000; SLAMA et al., 2015; NAHAR et al., 2016). Entre os derivados de aminoácidos quaternários, a glicocetaina e a prolina são os solutos mais comuns produzidos em plantas sob várias condições de estresse (NAHAR et al., 2016).

Tem sido largamente defendido que o teor de prolina pode ser usado como um parâmetro para avaliar a tolerância ao estresse salino (RAMAJULU; SUDKAKAR, 2001). Porém, o acúmulo de prolina não pode ser considerado apenas como marcador de tolerância à salinidade, visto que seu acúmulo representa uma resposta geral a muitos estresses, incluindo plantas mais altas expostas a estresses ambientais, como alta temperatura, estresse hídrico e deficiência nutricional (MISRA; GUPTA, 2005; KAHLAOUI et al., 2018).

Dias e Blanco (2016) propõem que a tolerância à salinidade compreende sucessivas reações bioquímicas, reguladas por genes específicos, sendo que, de acordo com Flowers e Flowers (2005), Brito et al. (2008), Fernandes et al. (2011), Brito et al. (2014) e Silva et al. (2014) a resposta é variável entre espécies e, em uma mesma espécie, nos diferentes estádios

de desenvolvimento. Os porta-enxertos cítricos diferem, ainda, na sua capacidade de absorver os íons tóxicos, Cl^- , Na^+ e B, e de translocar esses íons para a copa (BAÑULS et al., 1990; BAÑULS; PRIMO-MILO, 1992).

A salinidade pode afetar direta ou indiretamente a atividade enzimática das plantas, o que pode ser muito prejudicial, visto a importância das mesmas, como por exemplo a enzima Ascorbato da peroxidase, que é encontrada em, pelo menos, quatro compartimentos celulares (estroma, membrana do tilacóide, membrana dos microcorpos e citosol) e está associada com a eliminação do H_2O_2 gerado a partir do O_2^- pela ação da SOD (ALSHER et al., 2002; SHIGEOKA et al., 2002).

O acúmulo de solutos é bem evidenciado em condições de estresse por salinidade, de modo que Silva et al. (2009) observaram que os íons Na^+ e Cl^- são os solutos mais importantes no ajustamento osmótico de folhas e raízes de *Atriplex nummularia*, e que K^+ tem sua contribuição diminuída intensamente pela salinidade.

2.5 Os citros e a salinidade

O Brasil é o maior produtor de laranja doce do mundo, bem como maior exportador de suco de laranja. A produção de citros está distribuída por todas as regiões do país, porém as maiores produções concentram-se na região Sudeste, com destaque do Estado de São Paulo. Já na região Nordeste, em 2018 foram produzidas 1.147.793 toneladas de laranja, onde somente a Bahia produziu 604.023 toneladas desse total e Sergipe produziu 354.960 toneladas, esses estados são o 4° e 6° produtores nacionais, respectivamente (IBGE, 2018).

Porém, verificam-se, nessa região, em vários locais, concentrações relativamente elevadas de sais na água de poços, açudes e rios (AUDRY; SUASSUNA, 1995), o que pode vir a influenciar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas cítricas, as quais apresentam moderada sensibilidade à salinidade (LEVY; SYVERTSEN, 2004).

Os citros ocupam posição de destaque entre as fruteiras mais plantadas, sendo uma das mais consumidas e pesquisadas no mundo, em função de sua grande importância econômica e social (AMORIM, 2015). Apesar de toda a imensa diversidade de gêneros, espécies, cultivares e clones, as mesmas apresentam pouca diversificação nos plantios comerciais, ficando restritos a um pequeno número de cultivares, assim, é de grande importância ampliar a diversidade genética para garantir a sustentabilidade do mercado produtor (OLIVEIRA et al, 2014).

Plantas cítricas são frequentemente cultivadas em áreas semiáridas, onde grande parte dos solos são afetados por sais, ou apresentam um alto risco de salinização. A solução

salina do solo, por sua vez, que fica ao redor das raízes, pode derivar da água de irrigação, da liberação de sais ao solo pelo material de origem ou pela invasão do mar em terras costeiras (RUIZ et al., 2016).

Como muitas outras culturas, as espécies cítricas, em especial a laranjeira doce, são classificadas como sensíveis à salinidade (MAAS, 1993), isso porque a água de irrigação salina reduz o crescimento das árvores cítricas e reduzem a produção de frutos relativamente mais do que em muitas outras culturas (GRIEVE et al., 2007; PRIOR et al., 2007). A salinidade afeta as respostas fisiológicas e produção da planta de três maneiras: pelo estresse osmótico, estresse iônico tóxico e pelos desequilíbrios nutricionais, isso pelo fato de que os sais dissolvidos na solução nutritiva exercem efeito osmótico que reduz a disponibilidade de água livre (não ligada) por processos físicos que impedem a extração da água do solo pelas raízes (SYVERTSEN; GARCIA-SANCHEZ, 2014).

De acordo com Fernandes et al. (2011), algumas culturas podem produzir sustentavelmente em níveis elevados de salinidade no solo e trazer rendimentos satisfatórios mesmo com o estresse provocado pelos sais. Essa capacidade de adaptação é útil, visto que permite a seleção de genótipos mais tolerantes e capazes de produzir mais, além de serem economicamente viáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo em níveis baixos (TESTER; DAVENPORT, 2003).

Geralmente, em condições de alta salinidade, o crescimento, o desenvolvimento e a produção de plantas cítricas podem ser reduzidos, o que pode ser devido ao efeito de íons tóxicos, principalmente cloro, sódio e boro, e ao estresse osmótico (LEVY; SYVERTSEN, 2004; DIAS; BLANCO, 2016). Dessa forma, o uso de porta-enxertos tolerantes à salinidade pode viabilizar a utilização de água de baixa qualidade e de solos salinos (FERNANDES et al., 2011).

Storey e Walker (1999) relatam que a habilidade de fruteiras cítricas em se desenvolver em solos salinos está geralmente mais associada a “exclusão”, do que a compartimentalização aos íons nas folhas. Ao termo “exclusão”, entende-se a capacidade dos genótipos em evitar o acúmulo foliar de íons tóxicos, já a tolerância se refere a resistência aos sais já acumulados nos tecidos foliares (SOARES et al., 2006).

Os efeitos primários da salinidade nos citros são diminuição da condutância estomática, levando à redução da difusão de CO₂ e à diminuição da fotossíntese líquida (GARCÍA-SÁNCHEZ; SYVERTSEN, 2006) e ao aumento do acúmulo de íons (BRUMÓS et al., 2010).

Danos causados pela salinidade em plantas de citros geralmente estão associados ao acúmulo de cloretos e não ao acúmulo de sódio (BANULS et al., 1997; MOYA et al., 2003). Sabe-se, pela literatura, que porta-enxertos cítricos como a tangerineira ‘Cleopatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka.) e o limoeiro ‘Cravo’ são excludentes de Cl^- , explicando a natureza tolerante à salinidade desses porta-enxertos (COOPER et al., 1952; ZEKRI; PARSONS, 1992).

Porta-enxertos tolerantes ao estresse salino podem viabilizar o uso de água de baixa qualidade e de solos salinos, principalmente na Região Nordeste, onde predomina a utilização do limoeiro ‘Cravo’, independente da condição de clima e de solo e das cultivares utilizadas como copa (FERNANDES et al., 2011). A obtenção e uso de porta-enxertos tolerantes à salinidade tem sido evidenciados na literatura, em especial na fase de formação do porta-enxerto (SOARES et al., 2006; BRITO et al., 2008; FERNANDES et al., 2011), sendo importante obter um rol de materiais que viabilizem a escolha de materiais mais promissores e com maior tolerância a condições de irrigação ou de cultivo sob salinidade da água ou do solo (BRITO et al., 2014b). Assim, o desenvolvimento de novos porta-enxertos tem sido sugerido como uma estratégia para melhorar a tolerância ao sal em citros (SALEH et al., 2008).

Porém, para Brito et al. (2014a), a tolerância à salinidade nos citros deve ser avaliada considerando a combinação copa/porta-enxerto, em que os autores evidenciam a importância do porta-enxerto em detrimento da copa.

Um dos fatores determinantes da tolerância à salinidade dos porta-enxertos é a capacidade de restringir a captação e acúmulo de íons tóxicos nas folhas, todavia, isso depende de mecanismos que regulam a absorção de Na^+ e Cl^- , assim como o transporte dos mesmos por toda planta (SIMPSON et al., 2015). O acúmulo tóxico desses elementos tóxicos levam a um crescimento reduzido e pode prejudicar processos fisiológicos e bioquímicos, dependendo da sensibilidade da variedade (GARCÍA-SÁNCHEZ et al., 2006; PÉREZ-PÉREZ et al., 2007).

Altos níveis de Cl^- e Na^+ nas folhas podem reduzir o potencial osmótico, permitindo que as folhas cítricas reduzam potencial hídrico sem alteração do potencial de turgescência das folhas, evitando a desidratação das mesmas (PEREZ-PEREZ et al., 2007). Isso se dá pelo ajuste osmótico passivo da concentração de íons salinos, já que o custo energético não é necessário para diminuir o potencial osmótico das folhas (SYVERTSEN; GARCIA-SANCHEZ, 2014).

Os efeitos do estresse salino são parcialmente induzidos por relações hídricas adversas, devido à redução do potencial osmótico da solução do solo e concentrações excessivas de íons salinos nas folhas, causando toxicidades específicas e desequilíbrio nutricional (GARCIA-SANCHEZ et al., 2002; FORNER-GINER; COLS, 2011).

3 TOXICITY INDICATORS AND BIOCHEMICAL RESPONSES IN LEAVES OF TEN CITRUS ROOTSTOCKS GRAFTED WITH TAHITI LIME UNDER SALT STRESS

ABSTRACT

Searching for salt tolerant genotypes is a basic strategy to reduce the impacts of salinity on agriculture sustainability. For species propagated by grafting, as citrus, evaluating scion/rootstock combinations seems to be the best strategy for obtaining salt tolerant genotypes, due to the mutual influences that occur. In this study we evaluated indicators of ionic toxicity (Cl^- , Na^+ , and Na^+/K^+ ratio) and biochemical and nutritional responses (activities of APx and SOD and contents of organic solutes, N and K) in leaves of ten rootstocks of citrus when grafted with Tahiti lime under irrigation with saline water, aiming to identify salt tolerant genotypes. The experiment was conducted in a randomized block design, with three repetitions, following a factorial arrangement ($2 \times 10 \times 2$): Two levels of electrical conductivity of irrigation water (0.3 and 3.0 dS m^{-1}); Ten scion/rootstock combinations, with Tahiti lime as the scion variety; Two evaluation times (November 2016 and November 2017). The experiment was carried out in the field, under semi-arid conditions, and the plants were grown in lysimeters. Strong correlations between ionic toxicity indicators and biochemical responses were more associated to evaluation period than with differences between genotypes. The ionic toxicity indicators, especially Cl^- content, enabled better genotypic dissimilarity for the selection of salt-tolerant citrus rootstocks, compared to biochemical responses. Among the crosses studied, TSKC x (LCR x TR) was the most promising for obtaining salt-tolerant citrus rootstock, considering the criterion of lower increase in leaf chloride contents in the grafted plant.

Keywords: *Citrus* spp. Salt tolerance. Chloride. organic solutes. genotypic dissimilarities.

3.1 INTRODUCTION

Citrus orchards in northeastern Brazil have great socioeconomic relevance, for generating employment and income. However, citrus yield in this region is low (IBGE, 2019), possibly due to the inadequate crop management, use of less productive scion/rootstock combinations and water deficit, common in the warmer months of the year. This leads to the need for using irrigation to obtain an increase in yield, a practice that is difficult to perform due to low water availability in the region, especially in periods of prolonged droughts.

In addition to water scarcity, another problem found in northeastern Brazil is water quality, which is not always adequate for the development of citrus plants (FERNANDES et al., 2011). The water used in irrigation, when rich in salts, reduces the osmotic potential of the soil solution and, consequently, the capacity of water absorption by the roots. In addition, it can cause accumulation of potentially toxic ions in photosynthetic tissues, such as Na^+ and Cl^- , which cause disorders in cellular metabolism (MUNNS and TESTER, 2008). Salt stress can also cause secondary effects, associated in part with the production of reactive oxygen species (GONDIN et al., 2012), which can have minor impact on plants with enzymatic and non-enzymatic detoxification systems (BARBOSA et al., 2014).

Another important mechanism for maintaining water absorption under osmotic stress conditions is the accumulation of organic solutes in the cytoplasm, which contribute to cellular osmotic adjustment. Proline is among the organic solutes that most accumulate in the cytoplasm of plants under water and salt stresses, being considered an important indicator for the selection of plants that are tolerant to these abiotic stresses (FILIPPOU et al., 2014). However, some authors consider that this accumulation of proline may only be a response to the damage caused by salinity, possibly being negatively correlated with stress tolerance (LACERDA et al., 2003; MANSOUR and ALI, 2017).

Searching for tolerant genotypes is a basic strategy of great relevance for the sustainability of citrus cultivation in environments subject to salt stress (FERNANDES et al., 2011; BRITO et al., 2017). In citrus, most studies have focused on the selection of tolerant rootstocks, capable of reducing the absorption of potentially toxic ions, especially chloride (FERNÁNDEZ-BALLESTER et al., 2003; ANJUM, 2008; SYKES, 2011; EL-HABASHY, 2018). However, identifying these genotypes is not so simple because it requires long-term studies, as it is necessary to evaluate the effects of stress during various stages of plant growth, from rootstock formation to production (FERNANDES et al., 2011; BRITO et al., 2017). For species propagated by grafting, as citrus, evaluating scion/rootstock combinations seems to be

the best strategy for obtaining salinity tolerant plants, due to the mutual influences that occur. However, results of this type of study are still scarce.

In view of the above, it can be proposed, as a hypothesis, that the salinity tolerance of citrus plants obtained by grafting is related to the ability of the rootstock to reduce the intensity of ionic toxicity indicators, while intensifying defense systems with greater accumulation of compatible organic solutes and greater action of enzymes of the cellular antioxidative defense system. In this context, the objective of this study was to characterize indicators of ionic toxicity (Cl^- , Na^+ and Na^+/K^+ ratio) and biochemical and nutritional responses (activities of APx and SOD and contents of organic solutes, N and K^+) of ten citrus rootstocks when grafted with Tahiti lime [*Citrus × latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] under irrigation with saline water.

3.2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in the experimental area of the Center for Sciences and Agri-food Technology - CCTA of the Federal University of Campina Grande - UFCG, Pombal campus (6°47'20" S; 37°48'01" W; 174 m), Paraíba, Brazil, from February 2016 to December 2017. According to Köppen's classification, the area is located in a BSh climatic region (hot semiarid), with average annual rainfall of 765 mm and average temperature of 28.4°C. Rainfall totals in the experimental area were 492 mm in 2016 and 593 mm in 2017, concentrated in the first four months of the year (about 80%).

The experiment was conducted in a randomized block design, with three repetitions, following a factorial arrangement composed of three factors: 1. Two levels of electrical conductivity of irrigation water (EC_w), 0.3 and 3.0 dS m⁻¹; 2. Ten scion/rootstock combinations, with Tahiti lime as the scion variety (Table 1); 3. Two evaluation times (November 2016 and November 2017). The rootstocks were obtained from three crosses: TSKC x (LCR x TR), TSKFL x (LCR x TR) and TSKC x TRBK, where TSKC means common 'Sunki' mandarin [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], TSKFL means 'Sunki da Florida' mandarin, LCR means 'Cravo' lemon (*C. limonia* Osbeck), TR means trifoliolate orange [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] and TRBK means 'Benecke' trifoliolate orange. As a control, due to its widespread use by Brazilian citrus growers, the 'Cravo' lemon was included, totaling ten rootstocks.

Table 1. List of genotypes grafted with 'Tahiti' lime [*Citrus ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka]

Number	Genotypes	Number	Genotypes
G1	TSKC X (LCR x TR) – 017	G6	TSKFL x TRBK – 011
G2	TSKC X (LCR x TR) – 032	G7	TSKFL x TRBK – 017
G3	TSKC X (LCR x TR) – 059	G8	TSKFL x TRBK – 028
G4	TSKFL X (LCR x TR) – 012	G9	TSKFL x TRBK – 030
G5	TSKFL X (LCR x TR) – 018	G10	LCRSTC

TSKC: tangerineira 'Sunki' comum [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka]; LCR: limoeiro 'Cravo' (*C. ×limonia* Osbeck); TR: *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.; TSKFL: tangerineira 'Sunki da Flórida'; TRBK: *P. trifoliata* Benecke; LCRSTC: limoeiro 'Cravo Santa Cruz'.

The seedlings were produced in 2.0-L plastic bags, filled with commercial substrate, in a nursery at Embrapa Cassava and Tropical Fruits, in a greenhouse, in the municipality of Cruz das Almas, BA, Brazil (Figure 1). At 12 months of age, the seedlings were transplanted to 150-L lysimeters located in an experimental area of UFCG, Pombal campus. These lysimeters were filled with soil collected from an area near the study site, and classified as *Luvissolo* (Alfisol), according to the order of characterization of diagnostic horizons. Each lysimeter was filled with a 4-cm-thick layer of crushed stone, 132 L of soil and 10 L of aged

bovine manure, leaving a surface layer free to facilitate the cultural practices. Soil chemical characteristics were published by Silva et al. (2019).

Figure 1. Experimental area with drainage lysimeters, Pombal, PB, 2017.



Treatments with low and high salinity began to be differentiated 15 days after transplanting, in February 2016, and the saline treatment was obtained by adding NaCl, CaCl₂.2H₂O and MgCl₂.6H₂O salts to low-salinity water, in a proportion equivalent to 7: 2: 1, according to the relationship between EC_w and concentration ($\text{mmolc L}^{-1} = \text{EC}_w \times 10$). Irrigation was performed daily along the entire experimental period, except in the period of occurrence of rainfall and without dry spells, using a drip irrigation system. Irrigation management was performed by the water balance method, replacing the average daily consumption of the plants and adding a leaching fraction of 0.1 in order to promote leaching of part of the salts accumulated in the soil.

All analyses were performed with mature leaves collected in the upper third of the crowns at the end of the dry season of the first and second years of cultivation, at 290 (November 2016) and 655 (November 2017) days after transplantation. After being collected, the leaves were packed in aluminum foil, frozen in liquid nitrogen and lyophilized. For each period, two collections were performed, one in the morning and one in the afternoon, and the mean values of the two daily collections were presented.

Na⁺ and K⁺ contents were obtained in flame photometer, using nitric-perchloric extract, while chloride contents were determined in aqueous extracts, using the method of

Gaines et al. (1984). Nitrogen contents were obtained after sulfuric extraction and determined by the method of Baethgen and Alley (1989). The determinations of free proline, carbohydrates and soluble amino-N contents were performed in aqueous extract, using the methods described by Bates et al. (1973), Dubois et al. (1956) and Yemm and Cocking (1955), respectively.

To determine the activities of the enzymes ascorbate peroxidase (APx) and superoxide dismutase (SOD), the crude extract was prepared by weighing 0.2 g of lyophilized material and then macerating this material in a porcelain mortar with pH 7.0 buffer solution, prepared from 100 mM potassium phosphate with 0.1 mM ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). Subsequently, this material was placed in Eppendorf tubes[®] for centrifugation at 12,000 g for 15 minutes at a temperature of 4 °C, removing the supernatant for subsequent reading of enzymatic activity. APx activity was determined by the method of Nakano and Asada (1981), and SOD activity was obtained by the method of photochemical reduction of nitro blue tetrazolium chloride (NBT).

The data were subjected to the Kolmogorov-Smirnov normality test as a prerequisite for analysis of variance by F test. Then, the means were compared by Tukey test ($p < 0.05$), using the statistical program ASSISTAT (SILVA and AZEVEDO, 2016). Spearman's correlation matrix, principal component analysis (PCA), and cluster analysis were performed using the software package SPSS v.16. The adequacy of the samples was evaluated using commonality test (KMO) and Bartlett's sphericity test.

3.3 RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of variance (ANOVA) showed that there were significant interactions (double and triple) for all variables ($p < 0.01$), indicating that the responses to salt stress differed between the different scion/rootstock combinations and varied according to the time of leaf sampling. The significance of the interactions between the three factors reinforces the need for a multivariate analysis of the data, considering the large number of variables and genotypes tested.

Table 2 shows the mean values obtained in the saline treatment for the different variables in the two years of evaluation, as well as the relative values (saline/control ratio). The contents of Na^+ and the Na^+/K^+ ratio were generally higher in the second year of collection, when greater effects of salt stress and greater differences between genotypes were also found. For this last collection, the combinations of Tahiti lime with the rootstocks TSKC x (LCR x TR) - 017 (G1) and TSKFL x (LCR x TR) - 018 (G5) were the only ones that did not show significant increments in these toxicity indicators as irrigation water salinity increased. On the other hand, the combinations with the rootstocks TSKC x (LCR x TR) - 059 (G3), TSKFL x TRBK - 017 (G7) and the control 'Cravo Santa Cruz' lemon (G10) had the highest relative increments in the Na^+/K^+ ratio, at the end of the second year of cultivation.

Regarding chloride contents, the values were also higher in the second evaluation, at the end of the second year of cultivation, but the largest increments caused by salinity, in relative terms, were observed in the first year (Table 2). At the end of the first year, only the combinations with the rootstocks G1 and G4 [TSKFL x (LCR x TR) - 012] showed no increase in leaf chloride content, while the combinations with the rootstocks G6 [TSKFL x TRBK - 011], G7 [TSKFL x TRBK - 017], G8 [TSKFL x TRBK - 028] and G9 [TSKFL x TRBK - 030] were the most impacted by salinity, especially in the first evaluation.

Table 2. Absolute values of the saline treatment and relative values (saline/control ratio) for all leaf analyses of Tahiti lime [*Citrus ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] in combination with ten rootstocks (G1 to G10), collected at the end of the first and second year of cultivation, under irrigation with low and high salinity water.

Rootstocks	Na ⁺	Na ⁺ /K ⁺	Cl ⁻	N	K ⁺	Proline	Carb.	N-amino	APx	SOD
Concentration or enzyme activity in saline treatment (2016) ¹										
G1	5.26	0.19	2.89	32.37	26.76	2297.82	635.20	292.37	19.89	14.61
G2	6.15	0.30	3.12	23.72	21.13	2249.28	564.10	279.17	17.90	17.19
G3	4.43	0.20	5.00	25.88	21.47	2630.45	578.79	278.30	18.55	16.64
G4	6.89	0.32	2.59	25.71	21.78	2604.86	716.22	305.65	12.66	18.97
G5	7.26	0.27	5.47	30.57	26.09	2605.51	636.48	293.80	12.65	16.53
G6	6.30	0.25	6.53	32.43	24.09	2008.64	578.66	240.78	12.43	16.34
G7	5.31	0.37	6.04	12.77	14.04	2086.13	647.13	261.50	13.73	15.08
G8	6.09	0.30	6.14	26.67	20.11	2537.85	603.23	275.83	16.15	14.97
G9	5.90	0.28	4.63	22.39	21.23	2227.19	529.15	303.91	13.85	20.35
G10	7.65	0.30	4.25	32.70	23.19	2559.60	671.00	343.11	20.16	15.05
Salinity/control ratio (2016) ²										
G1	1.16	1.00	1.21	0.91	1.14*	1.02	1.29*	1.51*	0.96	0.75*
G2	1.30	1.50	1.26*	0.83*	0.88*	0.94	0.93	1.50*	1.21*	1.17*
G3	0.93	0.97	1.42*	0.88	0.96	1.23	0.83*	1.48*	0.82*	0.85*
G4	1.51*	1.69*	1.30	0.81*	0.89*	0.95	1.13	1.21*	0.53*	1.11*
G5	1.48*	1.41	3.18*	0.85*	1.04	1.24	1.11	1.22*	0.69*	1.16*
G6	1.30	1.07	2.49*	1.21*	1.13*	0.81	0.99	1.18*	0.64*	1.00
G7	1.16	1.66*	2.36*	0.53*	0.68	0.99	1.06	1.31*	0.63*	0.89*
G8	1.32	1.42	2.58*	0.71*	0.92	1.32*	1.23*	1.27*	1.07	0.91
G9	1.15	1.25	1.95*	0.65*	0.91	1.65*	0.95	1.58*	1.05	1.22*
G10	1.40*	1.28	1.78*	0.97	0.90*	1.16	1.24*	1.47*	1.10*	0.85*
Concentration or enzyme activity in saline treatment (2017) ¹										
G1	25.00	0.90	13.86	29.45	28.55	3661.72	1606.46	409.37	10.33	23.51
G2	25.83	0.99	11.96	25.78	26.24	3756.73	928.83	356.19	10.01	20.11
G3	20.00	0.91	12.23	22.92	22.26	3030.97	1180.30	600.19	6.72	18.36
G4	25.00	0.98	12.62	24.03	26.06	3713.43	1456.00	538.74	12.77	21.30
G5	23.33	0.88	11.37	22.98	20.33	3116.23	1647.28	576.44	20.32	19.54
G6	27.50	1.22	16.03	26.91	22.32	3276.03	1164.90	518.53	23.57	21.41
G7	25.00	1.42	16.41	23.52	18.03	2988.62	1094.40	671.89	10.78	36.33
G8	32.50	1.18	17.59	26.29	27.90	2892.23	760.33	573.42	10.12	19.38
G9	26.66	1.07	15.59	21.74	25.27	4415.32	1128.02	419.70	13.50	15.98
G10	27.66	1.00	12.22	32.87	27.39	4122.56	1272.40	481.83	12.57	21.25
Salinity/control ratio (2017) ²										
G1	1.07	1.06	1.38*	0.84*	1.02	1.01	1.44*	1.07	1.16	0.93*
G2	1.48*	1.58*	1.24*	0.81*	0.93	1.55*	0.65*	0.78*	0.54*	0.69*
G3	1.20	2.00*	1.17*	0.50*	0.60*	1.03	1.12*	1.35*	0.50*	1.12*
G4	1.33*	1.41*	1.17*	0.71*	0.96	1.11	1.64*	1.32*	0.66*	0.71*
G5	1.02	0.94	1.04	0.70*	0.76*	0.96	1.41*	1.30*	0.76*	0.83*
G6	1.57*	1.49*	1.58*	1.10	1.03	1.38*	0.99	1.18*	1.58*	0.91*
G7	1.15	1.74*	1.55*	0.72*	0.68*	1.07	0.90*	1.49*	0.49*	2.23*
G8	1.44*	1.51*	1.68*	0.78*	0.97	1.16	0.61*	1.47*	0.69*	0.76*
G9	1.28*	1.34*	1.54*	0.76*	0.95	1.28*	0.97	0.97	0.84*	0.51*
G10	1.58*	1.96*	1.17*	0.93	0.79*	1.50*	1.33*	1.25*	1.00	0.95

1N, K⁺, Na⁺ and Cl⁻ concentrations are expressed in g kg⁻¹; proline, carbohydrates (Carb) and N-aminosoluble (N-amino) concentrations are expressed in μmol g⁻¹; SOD and APX activity are expressed in UA g⁻¹ min⁻¹ and μmol H₂O₂ g⁻¹ min⁻¹, respectively. 2 Values obtained by dividing the result of the saline treatment (3.0 dS m⁻¹) by that of the control treatment (0.3 dS m⁻¹); * Significant differences between control and saline treatments by Tukey's Test (p < 0.05).

The N content in the leaves was shown to be a sensitive variable to salinity in the ten citrus combinations tested, with a general tendency of reduction in plants irrigated with saline water (Table 2). In the first evaluation period, at the end of the first year, only the combinations with the rootstocks G1, G3 and G10 did not show a reduction in leaf N content, while in the second evaluation, at the end of the second year, only the combinations with the rootstocks G6 and G10 maintained the contents not affected by salinity. Based on the critical level of 25.0 g kg⁻¹ in citrus leaves (SILVA et al., 2016), salinity affected most of the rootstocks evaluated, which induced N deficiency in the Tahiti lime scion at the end of the second year of cultivation (G3, G4, G5, G7 and G9) compared to the first year {G2 [TSKC x (LCR x TR) - 032], G7 and G9}. These reductions in N contents have been observed in other studies and are associated with reduction in mass flow or competition between Cl⁻ and nitrate ions under salinity conditions (LACERDA et al., 2016).

For the contents of organic solutes (proline, soluble carbohydrates and soluble amino-N), a higher accumulation was observed in the evaluation performed in the second year of cultivation (Table 2). However, the response to salinity varied widely among the solutes evaluated. Proline content was significantly increased in only two genotypes (G8 and G9) at the end of the first year and in four genotypes (G2, G6, G9 and G10) at the end of the second year, and only the combination with the rootstock G9 showed increments in both evaluations. The contents of soluble carbohydrates and soluble amino-N increased in most scion/rootstock combinations, with more significant values in the evaluation performed at the end of the second year of cultivation (Table 2). In a comparison of the genotypes, there were quite different responses to salt stress between G1, G2 and G9; a trend of increase in these solutes in G1 in the two evaluations, a reduction in G2 in the second evaluation, and almost no change in the content of these solutes in G9.

For the activity of enzymes APx and SOD, in general, there was a downward trend with the increase in salinity, with the highest values of SOD activity observed at the end of the second year of cultivation (Table 2). In this last evaluation, when the highest values of toxicity indicators and solute accumulation were also obtained, there was great variation in the activities of these enzymes in response to salinity. The combinations with the rootstocks G1 and G10 kept the activities of these enzymes virtually unchanged, while those with G2, G4, G5, G8 and G9 showed a clear reduction in the activity of both enzymes. On the other hand, the combination with the rootstock G7 showed a strong reduction in APx activity and a strong increase in SOD activity.

The means comparison test (Table 2) enabled the identification of variations between genotypes, but led to difficulty in obtaining a broader interpretation of the analyzed variables, given the high number of scion/rootstock combinations evaluated.

Table 3. Spearman's correlation matrix for all leaf analyzes of Tahiti lime [*Citrus × latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] in combination with ten rootstocks, collected at the end of the first and second year of cultivation, under irrigation with low and high salinity water.

	Na ⁺	N	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺	APx	SOD	Carb	Prol	N-amino	Cl ⁻
Na	1									
N	-0.180	1								
K ⁺	0.459**	0.470**	1							
Na ⁺ /K ⁺	0.951**	-0.338*	0.232	1						
APx	-0.453*	0.112	-0.253	-0.410	1					
SOD	0.522**	-0.034	0.246	0.550**	-0.167	1				
Carb	0.783**	-0.188	0.472**	0.782**	-0.174	0.548**	1			
Prol	0.751**	-0.075	0.459**	0.731**	-0.271	0.487**	0.684**	1		
N-amino	0.856**	-0.252	0.363*	0.871**	-0.277	0.536**	0.826**	0.711**	1	
Cl ⁻	0.905**	-0.320*	0.319*	0.938**	-0.389*	0.507**	0.783**	0.738**	0.870**	1

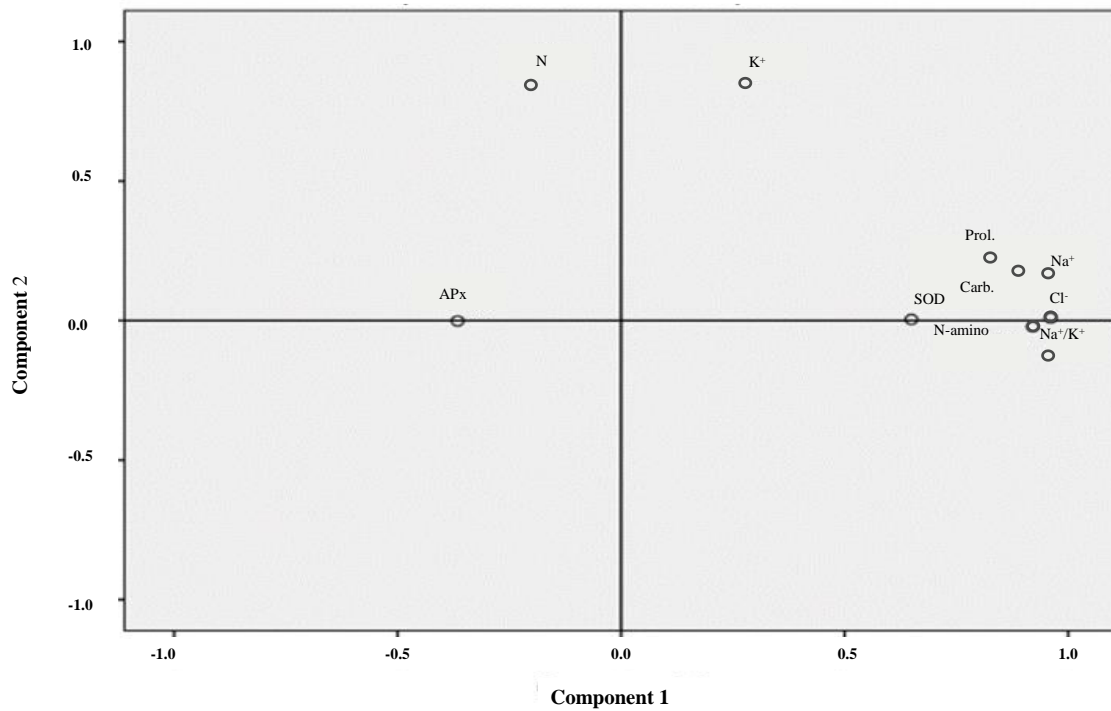
** and * Significant correlation is at 0.01 and 0.05, respectively; N = nitrogen; K⁺ = potassium; Na⁺/K⁺ = sodium/potassium ratio; APx = Ascorbate Peroxidase enzyme activity; SOD = Superoxide Dismutase enzyme activity; Carb = carbohydrates; Prol = proline; N-amino = N-aminosoluble and Cl⁻ = chloride.

In trials of this type, the use of more appropriate statistical tools, such as correlation matrices, principal component analysis and cluster analysis, is preponderant. In this study, Spearman's correlation matrix (Table 3) showed that the indicators of phytotoxicity (Na⁺, Cl⁻ and Na⁺/K⁺ ratio) were strongly correlated with each other and positively correlated with the biochemical variables (proline, soluble carbohydrates, soluble amino-N and SOD), except with APx activity, with which it was negatively correlated. A negative correlation was also observed between chloride and total nitrogen contents in the leaves.

PCA enabled the identification of two components with eigenvalue greater than 1.0, which explain 74% of the evaluated data (Figure 2). Component 1 (eigenvalue of 56.93%) shows a strong association between Na⁺ (0.954), Cl⁻ (0.924), Na⁺/K⁺ (0.951), proline (0.649), soluble amino-N (0.848), carbohydrates (0.756) and SOD (0.422). In this component only one variable had a negative value, APx (-0.134), but with a little significant loading. On the other

hand, component 2 (eigenvalue of 17.03%) separated only the leaf contents of N and K, with loadings of 0.873 and 0.887, respectively.

Figure 2. Principal component analysis (PCA) for all leaf analysis of Tahiti lime [*Citrus × latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] in combination with ten rootstocks collected at the end of the first and second year of cultivation, under irrigation with low and high salinity water. KMO test: 0.745 and Bartlett's test: 45.



The strong correlations between toxicity indicators and biochemical responses, revealed in the correlation matrix (Table 3) and PCA (Figure 2), seem to be associated, at least in part, with the period of evaluation, since these variables had much more significant values in the evaluation performed in the second year. Obviously, the variables with higher loadings are those that most responded to saline treatments, with considerably more significant values in the second year of evaluation. These results are relevant for perennial plants such as citrus, indicating that the effects of salinity can be intensified over time, possibly due to environmental conditions, plant conditions and impacts on soil physical and chemical properties. On the other hand, the N and K responses indicated a greater relationship with the effects of salt stress, and the reduction of N contents in most scion/rootstock combinations was noticeable (Table 2), regardless of the period of evaluation.

Cluster analysis provides valuable guidance for the choice of parents in a breeding program, as the new hybrid combinations to be obtained must be based on the magnitude of their dissimilarities. However, in studies on salinity tolerance, the identification of

dissimilarities should take into account relative responses, which enable the separation of genotypes that have characteristics of adaptation to stress. In the present study, the cluster dendrogram constructed from the relative data of the variables (Table 2), based on the Euclidean distance as a measure of dissimilarity (Figure 2), showed the formation of five and four groups, respectively in the evaluations performed at the end of the first and second years of cultivation.

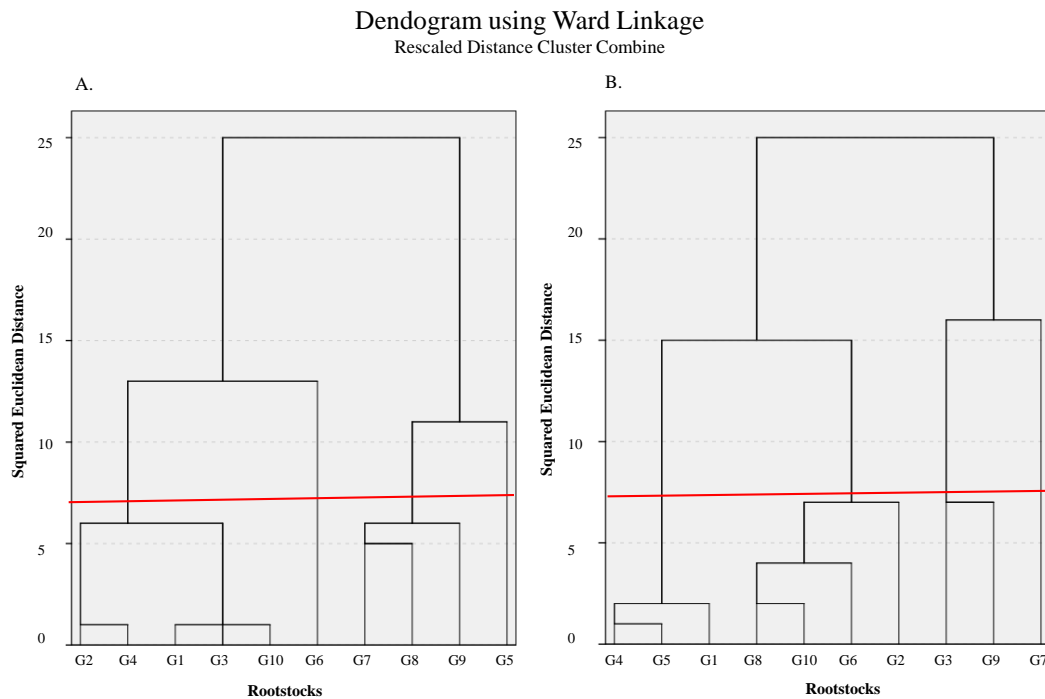
The first group in the 2016 evaluation was formed by the combinations with rootstocks G2 and G4 (Figure 3A), which showed moderate increments in toxicity indicators (Na^+ , Na^+/K^+ and Cl^-) in the saline treatment, but with no significant increase in biochemical responses (SOD, carbohydrates, proline, soluble amino-N). The second group was formed by the combinations with the rootstocks G1 and G3, which were related to moderate increments only in chloride and soluble amino-N compounds, and reduction in SOD activity. The third group, which comprised the rootstocks G9 and G10, showed as similarity the greatest increment in chloride contents, in relation to the two previous groups. G9 and G10 also presented increments in proline, soluble amino-N and Na^+/K^+ ratio. Groups 4 (G6, G7 and G8) and 5 (G5) differ from the others due to the more significant increments in chloride contents in the saline treatment, with values 2.6 to 3.2 times higher than those found in the control. Biochemical responses in these genotypes were virtually nonexistent.

Regarding the 2017 evaluation (Figure 3B), the first group was formed by the combinations with the rootstocks G1, G4 and G5, which showed as similarity low increments in chloride contents, moderate increments in sodium contents and reduction in SOD activity, comparing saline treatment with control. The second group, which comprised combinations with rootstocks G3 and G10, differed from the first group because it did not show reduction in SOD activity and had considerable increments in the Na^+/K^+ ratio, with a value twice as high in the saline treatment compared to the control. The genotypes that form the third group, G2, G6, G8 and G9, showed as similarity the largest increments in the set of toxicity indicators (Na^+ , Na^+/K^+ and Cl^-) in the saline treatment, reduction of SOD activity and increase in proline content. The fourth group consisted only of the combination with the rootstock G7, which differed from the others because it showed a significant increase in SOD activity when the plants were irrigated with saline water, and the value was twice as high as that of the control treatment. This genotype was also related to high accumulation of chloride and amino acids and high Na^+/K^+ ratio.

The results of the cluster analysis of the two years (2016 and 2017) made it possible to identify important separations in relation to the parents of the ten genotypes tested as rootstocks for Tahiti lime under salt stress (Figure 3). The hybrids obtained from the TSKFL x

TRBK cross (Table 1), G6, G7, G8 and G9, formed groups with significantly higher increments in chloride contents, compared to the others. These results contrast with what was found for G1, G2 and G3, generated from the TSKC x (LCR x TR) cross, which were predominantly found in groups with lower chloride increments in the saline treatment, compared to the others. On the other hand, G5, obtained from the TSKFL x cross (LCR x TR), as well as G10 ('Cravo Santa Cruz' lemon), showed intermediate results, being part of groups with high chloride contents in one of the evaluations.

Figure 3. Dendrogram resulting from cluster analysis of Tahiti lime [*Citrus × latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] in combination with ten rootstocks (G1 to G10) collected at the end of the first (A) and second (B) year of cultivation, under irrigation with low and high salinity water.



The ability of certain citrus rootstocks to reduce the extraction and accumulation of toxic ions in leaves is one of the determining factors for salinity tolerance, a behavior that depends on mechanisms that regulate the absorption and transport of Na^+ and Cl^- throughout the plant (GONZALEZ et al., 2012; SIMPSON et al., 2015). For some authors, however, in citrus the leaf Cl^- content is pointed out as a better indicator of salinity tolerance than Na^+ (MOYA et al., 2003; HUSSAIN et al., 2012). Considering this criterion, the rootstocks obtained from the TSKC x (LCR x TR) cross (Table 1) would be the most promising for breeding programs aimed at salinity tolerance, as they had lower accumulation of chloride in the leaves (Table 2; Figure 3). Results of previous studies on growth evaluation have also indicated rootstocks with these parents among the most salt tolerant (SÁ et al., 2017; BRITO et al., 2017; BRITO et al., 2018). However, results obtained with mandarin trees (*C. reticulata* Blanco)

indicated that the correlation between salt tolerance and low chloride accumulation is observed in most genotypes, but not in all of them (YAHMED et al., 2015). These authors also found that, in some accessions, high contents of Cl^- were better correlated with detoxification processes. This result is similar to that observed for G7, in the evaluation of the second year, which showed a high increment in chloride content and a significant increase in SOD activity (Table 2; Figure 3). This suggests the importance of including this genotype, TSKFL x TRBK - 017, in future studies, face these conflicting responses to salt stress.

Many authors consider that the activity of antioxidative enzymes is an important line of defense of cells against reactive oxygen species (PANDA et al., 2019). Despite the increase in SOD activity observed in the combination of Tahiti lime / TSKFL x TRBK - 017, which was a dissimilarity factor in comparison to other genotypes (Figure 3), the other results do not seem to indicate a relevant role of detoxification enzymes in the salinity tolerance in citrus. Genotypes with small variations in ionic toxicity indicators (such as the rootstock G1, TSKC x (LCR x TR) - 017) also showed small variations in the activities of these enzymes (Table 2). On the other hand, genotypes with strong toxicity indicators, such as G9 (TSKFL x TRBK - 030), showed reductions in the activities of these enzymes. These results demonstrate a possible direct effect of salinity on the performance of these enzymes, which did not behave either as a defense mechanism as advocated by some (BARBOSA et al., 2014) or as an indicator that the plant would be suffering more from stress, as argued by others (MILLER et al., 2010). It is worth pointing out that there were no analyses of other important enzymes of the cellular antioxidative system, such as catalase, and the relative importance of these enzymes varies widely among plant species when subjected to abiotic stress (GONDIM et al., 2012).

The accumulation of organic solutes in response to salinity has been pointed out as an important mechanism for the osmotic adjustment of the cell and for the protection of cellular structures and functions (MUNNS and TESTER, 2008; SHAFIEIZARGAR et al., 2015). In the present study, there was a coincidence between the most significant values of the ionic toxicity indicators and of the organic solute contents (Table 2), influenced much more by the evaluation time, as revealed in the PCA (Figure 2), than by genotypic dissimilarity (Figure 3). In the case of proline, contrasting genotypes in terms of ionic toxicity indicators, such as G1 and G7 (Table 2 and Figure 3), do not exhibit proline accumulation in response to salt stress. On the other hand, the genotype G9 (TSKFL x TRBK - 030) was the only one with significant accumulation of chloride and proline in both evaluations. This may be an indication that the accumulation of this solute occurs in response to the damage caused by the stress (LACERDA et al., 2003),

considering that greater chloride accumulation is an indication of sensitivity to salt stress in citrus (MOYA et al., 2003; SALEH et al., 2008; HUSSAIN et al., 2012).

3.4 CONCLUSIONS

Strong correlations between ionic toxicity indicators and biochemical responses were more associated with the evaluation period than with differences between genotypes.

The ionic toxicity indicators, especially Cl⁻ content, enabled better genotypic dissimilarity for the selection of salt-tolerant citrus rootstocks, compared to biochemical responses, using Tahiti lime as scion variety.

Among the crosses studied, TSKC x (LCR x TR) was the most promising for obtaining salt-tolerant citrus rootstock, considering the criterion of lower increase in leaf chloride contents in the grafted plant.

4 TROCAS GASOSAS E NUTRIÇÃO MINERAL EM FOLHAS DE DEZ PORTA-ENXERTOS DE CITROS ENXERTADOS COM A LIMEIRA TAHITI SOB ESTRESSE SALINO

RESUMO

Objetivou-se caracterizar as trocas gasosas foliares e os teores nutricionais de dez genótipos de citros quando enxertados com a limeira ácida 'Tahiti', sob irrigação com águas salinas. Neste sentido, foi realizado um experimento em lisímetros na Universidade Federal de Campina Grande Campus de Pombal, PB, compreendendo a aplicação de estresse salino em combinações copa/porta-enxerto de citros na fase inicial de crescimento em campo, com estresse no período de 290 a 655 dias após o transplante (DAT). O trabalho contou com 20 tratamentos, composto por duas salinidades (0,3 e 3,0 d S m⁻¹) e 10 genótipos de citros, os quais foram dispostos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Ao final do primeiro e segundo anos de avaliação (290 e 655 DAT), foram avaliadas as trocas gasosas foliares (A, gs, E, A/gs e A/E), e os teores de nutrientes foliares (Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn e Fe) a partir de folhas coletadas em campo. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, como pré requisito para a análise de variância pelo teste F. Em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05), utilizando-se o software estatístico ASSISTAT. A matriz de correlação de Spearman e análise de componentes principais (ACP) foram realizadas utilizando-se o software SPSS v.16. Para avaliar a adequação das amostras, utilizou-se o teste de adequabilidade (KMO) e testes de esfericidade de Bartlett. A salinidade afetou as trocas gasosas foliares, os efeitos sobre os genótipos variaram nos períodos avaliados, sendo que a redução na taxa de fotossíntese foi explicada em grande parte pela queda na condutância estomática, indicando, conforme evidenciam os dados da matriz de correlação e da ACP. Não foi observada nenhuma correlação entre a taxa fotossintética foliar e os teores de nutrientes avaliados. Os dados de nutrição mineral e de trocas gasosas foliares não permitiram identificar diferenças genotípicas em termos de tolerância de citros à salinidade.

Palavras-Chave: *Citrus* spp. Salinidade. Fotossíntese. Condutância estomática. Nutrientes essenciais.

LEAF GAS EXCHANGE AND MINERAL NUTRITION OF TEN CITRUS ROOTSTOCKS GRAFTED WITH TAHITI LIME UNDER SALT STRESS

ABSTRACT

The objective was to characterize leaf gas exchange and nutritional contents of ten citrus genotypes when grafted with the acid lime tree 'Tahiti', under irrigation with saline water. In this sense, an experiment in lysimeters was carried out at the Universidade Federal de Campina Grande Campus of Pombal, PB, comprising the application of salt stress in citrus canopy/rootstock combinations in the initial phase of growth in the field, with stress in the period of 290 655 days after transplantation (DAT). The work had 20 treatments, composed of two salinities (0.3 and 3.0 dS m⁻¹) and 10 citrus genotypes, which were arranged in a randomized block design, with three replications. At the end of the first and second years of evaluation (290 and 655 DAT), leaf gas exchange (A, g_s, E, A/g_s and A/E) and leaf nutrient content (Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn and Fe) from leaves collected in the field. The data were submitted to the Kolmogorov-Smirnov normality test, as a prerequisite for the analysis of variance by the F test. Then, the means were compared by the Tukey test (p <0.05), using the statistical software ASSISTAT. The Spearman correlation matrix and principal component analysis (ACP) were performed using the SPSS v.16 software. To assess the adequacy of the samples, the commonality test (KMO) and Bartlett's sphericity tests were used. Salinity affected leaf gas exchange, but the effects on genotypes varied in the evaluated periods, and the reduction in photosynthesis rate was largely explained by the drop in stomatal conductance, indicating, as evidenced by the correlation matrix data and the ACP. No correlation was observed between the leaf photosynthetic rate and the nutrient content evaluated. The data on mineral nutrition and leaf gas exchange did not allow the identification of genotypic dissimilarities in terms of salt tolerance of citrus.

Keywords: *Citrus* spp.. Salinity. Photosynthesis. Stomatal conductance. Essential nutrients.

4.1 INTRODUÇÃO

A Região Nordeste responde por cerca de 11,6% da produção nacional de citros, sendo uma cultura de grande relevância socioeconômica na região, em função da geração de emprego e renda, especialmente nos estados da Bahia, Sergipe e Paraíba. Contudo, a produtividade é reduzida, cerca de quase 50% menor que a média nacional, o que pode ser atribuído ao déficit hídrico, acarretando na necessidade de introdução de irrigação para se obter um aumento na produção (FERNANDES et al., 2011; SILVA et al., 2012).

Essa região apresenta características favoráveis para o cultivo de citros, tais como temperatura e luminosidade, porém, as baixas taxas pluviométricas e as altas taxas de evapotranspiração fazem com que os cultivos se tornem dependentes de irrigação (CARVALHO, 2017). Dentre as espécies de citros cultivados no Nordeste, destaca-se a limeira ácida ‘Tahiti’ conhecida e comercializada no mercado brasileiro como limão ou limão ‘Tahiti’, que apresenta tolerância de até $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ à salinidade no extrato de saturação (SYVERTSEN; GARCÍA-SANCHEZ, 2014, ALMEIDA, 2019).

Os citros estão entre os grupos de frutíferas que possuem grande importância econômica para o Brasil, devido ao seu alto valor agregado e grande aceitação no mercado interno e externo. Segundo IBGE (2015), no ano de 2014 a produção nacional (laranjas, limões e tangerinas) foi superior a 14 milhões de toneladas, estando concentrada cerca de 76% na Região Sudeste, com destaque para o Estado de São Paulo.

Como qualquer outra frutífera, os citros demandam quantidades expressivas de água para produzir, porém, a irregularidade de chuvas limita a disponibilidade de água de boa qualidade no semiárido nordestino, onde tem-se tornado necessário o uso de água salina na irrigação como uma alternativa para suprir a demanda hídrica das culturas, principalmente no período de estiagem, quando os poços e açudes da região apresentam níveis de sais mais elevados na água, afetando de forma mais intensa na fase de muda da grande maioria das fruteiras, a exemplo dessas espécies (SÁ et al., 2013; BRITO et al., 2014).

Em condições salinas, as plantas cítricas tendem a reduzir seu crescimento e sua área foliar, de forma a afetar diretamente seus processos fisiológicos, tais como a fotossíntese, condutância estomática e transpiração, além de causar desordem nos processos nutricionais e bioquímicos (DIAS; BLANCO, 2016; PEREZ-PEREZ et al., 2015). Dessa forma, o uso de combinações copa/porta-enxerto de citros tolerantes à salinidade pode viabilizar a utilização de água de baixa qualidade e de solos salinos (FERNANDES et al., 2011; BRITO et al., 2014).

Um dos primeiros mecanismos de defesa das plantas de citros submetidas a estresses, seja de ordem nutricional, hídrica e/ou salina, é o fechamento estomático, que reflete diretamente na assimilação de CO₂ e na transpiração (HUSSAIN et al., 2012). Resultados observados por Brito et al. (2012), avaliando o comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico, confirmam que a condutância estomática e a transpiração foram prejudicadas pela redução da disponibilidade hídrica, apresentando maiores valores dessas variáveis quando as plantas foram submetidas à maior lâmina de irrigação, com destaque na combinação entre o ‘Cravo’ e a limeira ácida ‘Tahiti’ e nas combinações do HTR – 069, como porta-enxerto, e as copas de pomeleiro ‘Star Ruby’ (*C. ×paradisi* Macfad) e a ‘Tahiti’. Porém na combinação entre o ‘Cravo’ e o ‘Star Ruby’ o comportamento foi inverso, podendo-se verificar maior adaptação desta combinação às condições de menor disponibilidade hídrica, sendo um indicativo de material promissor para a produção na região semiárida.

No que diz respeito a transpiração, Silva et al. (2014), avaliando os mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico, verificaram que após 24 horas de submissão as soluções salinizadas, houve efeito significativo apenas no genótipo HTR-127, ocorrendo redução nos valores, implicando na percepção do estresse salino nesse momento, havendo estabilização na avaliação às 48 horas, destacando-se, neste genótipo, a maior média entre os materiais quando submetido a solução preparada com água de 0,3 dS m⁻¹, e a menor média quando exposto a solução preparada com água de 4,0 dS m⁻¹.

Nessa perspectiva, pesquisas estão sendo realizadas de forma a intensificar os estudos sobre a tolerância de espécies de citros ao estresse salino, como por exemplo as realizadas por Brito et al. (2014b) e Fernandes et al. (2011), que avaliaram a tolerância de genótipos citros (*Citrus* spp.), e ressaltam que o desenvolvimento de novos genótipos mais tolerantes são de fundamental importância para a viabilização do cultivo dessas espécies não apenas no Nordeste, mas em todo o Brasil. Pesquisas complementares de Nascimento et al. (2012) e Silva et al. (2012), identificaram alguns genótipos de porta-enxertos, que tem potencial para a produção de mudas em condições salinas, sendo necessário, contudo, ampliar o rol de genótipos, identificando materiais tolerantes que possam ser usados em condições de campo.

Além do desequilíbrio na parte fotossintética, sabe-se, ainda, que níveis elevados de sais na solução do solo provocam distúrbios na absorção de nutrientes, afetando as concentrações de íons na planta (DONG, 2012). Além disso, a salinização é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade das culturas, por reduzir a disponibilidade de água às plantas, podendo ainda causar alterações fisiológicas e bioquímicas nas mesmas (MGUIS et al., 2012).

Sykes (2011) avaliou a resposta à salinidade de 40 genótipos de porta-enxertos de citros em condições de casa de vegetação, e indicou que genótipos com parentais de *P. trifoliata* possuem um menor acúmulo de Cl^- e Na^+ nos tecidos caulinares, podendo ser empregados na criação de novos porta-enxertos tolerantes, ressaltando que esse gênero também é resistente a doenças.

Para complementar aquele estudo, Calvet et al. (2013) ressaltam a importância de pesquisas voltadas para o comportamento morfofisiológico e bioquímico das plantas cultivadas sob a influência da salinidade, consistindo assim, de ferramenta para auxiliar os programas de melhoramento vegetal.

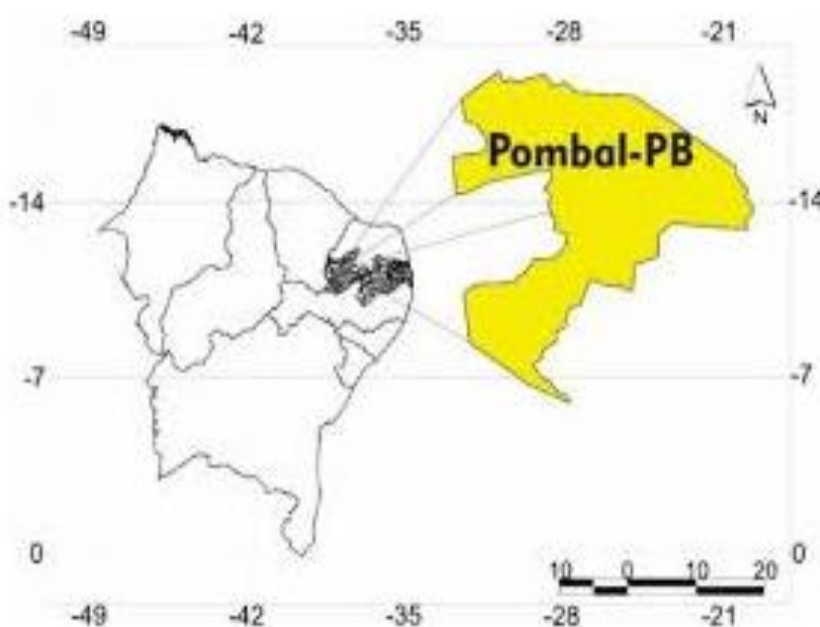
Assim, objetivou-se avaliar a nutrição mineral (teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn e Fe) e as trocas gasosas foliares de dez porta-enxertos de citros quando enxertados com limeira 'Tahiti' sob irrigação com água salina, com o objetivo de identificar genótipos tolerantes ao estresse salino.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização

O experimento foi desenvolvido no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar - CCTA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado no município de Pombal (6°47'20" S e 37°48'01" W, a uma altitude de 174 m), Paraíba, PB, Brasil (Figura 4). De acordo com a classificação de Köppen, a área está inserida em uma região climática BSh, com precipitação média anual é de 605 mm e a temperatura média de 28,4 °C (Tabela 4).

Figura 4. Localização geográfica da cidade na qual o experimento foi desenvolvido. Pombal, PB, 2017



FONTE: DIEGO CRISPIM

Tabela 4. Médias de precipitação (PPT) e de temperaturas (T) nos anos de 2016 e 2017 em Pombal, PB.

		2016											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PPT.	(mm)	-	19.2	250.0	68.0	35.2	10.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0
T (°C)		-	28.3	28.8	27.2	27.7	27.2	27.2	27.7	29.0	29.6	28.5	29.8
		2017											
PPT.	(mm)	102.4	200.0	69.8	57.0	34.5	46.0	11.5	0.0	0.0	6.0	0.0	78.0
T (°C)		30.2	28.9	28.0	27.2	27.6	27.3	26.9	28.4	29.6	29.0	29.2	30.3

4.2.2 Histórico da área

As mudas enxertadas de citros foram transplantadas para o lisímetros, no dia 05 de maio de 2017. As avaliações de trocas gasosas bem como a coleta de folhas para análise foram realizadas aos 290 e 655 dias após o transplântio (DAT), correspondendo aos meses de novembro dos anos de 2016 e 2017

4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado em um delineamento experimental de blocos casualizados, com esquema fatorial composto por três fatores, representados por dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), dez genótipos de citros, utilizados como porta-enxertos e duas épocas de avaliação (estação seca e chuvosa). Foram utilizadas quatro repetições, formadas por dois vasos de 500 L, contendo uma planta cada um.

Foram testadas duas fontes hídricas na irrigação, uma com CEa de 0,3 dS m⁻¹, denominada de S1, proveniente do rio Pianco, o qual está localizado na bacia hidrográfica denominada Piranhas e é o que abastece a cidade de Pombal, e outra com 3,0 dS m⁻¹, denominada de S2. Para o preparo da água de maior salinidade foram adicionados à água de abastecimento os sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O proporção equivalente de 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente, relação esta predominante aos íons em fontes de água utilizada para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (MEDEIROS, 1992; AUDRY; SUASSUNA, 1995). As águas foram armazenadas em recipientes plásticos de 500 L, um para cada nível de CEa estudado, devidamente protegidos, evitando-se a evaporação, a entrada de água de chuva e a contaminação com materiais que pudessem comprometer sua qualidade.

Dos dez genótipos testados como porta enxertos, nove eram provenientes de três progênies mais o limão cravo, sendo este último utilizado como referência por ser o mais empregado no Brasil; 3. Duas épocas de avaliação (novembro de 2016 e de 2017). (Tabela 1, capítulo 1).

4.2.4 Instalação e condução do experimento

As mudas de cada porta enxerto de citros enxertada com a limeira ácida 'Tahiti' foram obtidas junto ao viveiro de produção de mudas da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA, seguindo recomendações de produção de mudas certificadas e usando-se materiais de origem apogâmica. As mudas foram produzidas em sacolas plásticas com capacidade de 2.000 mL, preenchidas com substrato comercial e recipiente que permitiu que as dez combinações entre a limeira ácida 'Tahiti', como copa, e os porta-enxertos, estivessem aptos ao transporte, compreendendo um período anterior ao transplante das mudas para os recipientes de cultivo.

As plantas de citros foram cultivadas em lisímetros de 150 L, sendo que o solo utilizado no preenchimento foi retirado de área próxima da pesquisa, o qual é classificado como luvissole e seguindo a ordem de caracterização de horizontes diagnósticos do solo, sendo primeiramente peneirado. No enchimento dos lisímetros, procedeu-se a inclusão de uma camada de 4 cm de brita, seguida por uma camada de solo de 17 cm de altura, posteriormente outra camada de 17 cm de solo, na qual se incluiu 10 L de esterco, sendo assim, cada lisímetro foi preenchido com 132 Litros de solo e 10 Litros de esterco bovino, totalizando 142 Litros, deixando-se uma camada superficial para facilitar tratos culturais. As características químicas do solo e do esterco estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Características químicas do solo utilizado para o preenchimento dos lisímetros de cultivo das plantas de citros. Pombal, PB, 2017.

	Ph	C.E	P	N	K	Na	Ca	Mg	SB	(t)	MO
	CaCl ₂	dS/m ⁻¹	mg/dm ³	%	cmol _c /dm ³				cmol _c /dm ³		g Kg ⁻¹
1:											
Solo	7,26	0,03	7	0,16	0,52	0,36	4,55	2,35	7,79	7,42	3
Esterco	6,47	1,09	98	2,44	3,82	1,54	4,52	2,63	12,51	10,97	40

A irrigação com água de baixa e alta salinidade foi realizada diariamente, com uso de sistema de irrigação por gotejamento instalado nos lisímetros (Figura 5), tendo início aos 15 dias após o transplante, com as plantas adaptadas ao ambiente. O manejo de irrigação foi realizado pelo método do balanço hídrico, de forma a repor o consumo médio diário das plantas

e uma fração de lixiviação de 0,1 foi adicionada, a fim de propiciar a lixiviação de parte dos sais acumulados na zona radicular, provenientes da água de irrigação (Equação 1).

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{1 - Fl}$$

Em que:

VI = volume a ser irrigado no próximo evento de irrigação (mL); Va = volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL); Vd volume drenado (mL), e FL = coeficiente usado para se obter uma fração de lixiviação de aproximadamente 10% (1 - 0,10).

Figura 5. Sistema de irrigação por gotejamento instalado nos lisímetros de drenagem, Pombal, PB, 2017.



4.2.5 Trocas gasosas foliares

Para a determinação das trocas gasosas, utilizou-se um analisador de gases no infravermelho (IRGA), modelo Li-6400XT (Licor, USA), onde as leituras foram mensuradas nas folhas completamente expandidas de ramos vegetativos da parte mediana da copa. A condutância estomática (gs), a taxa fotossintética líquida (A) e a taxa transpiratória (E) foram obtidas aos 290 e 655 DAT dias após a aplicação dos tratamentos. As medições foram conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO₂ e sob radiação saturante (1600 μmol m⁻² s⁻¹). A partir dos dados obtidos foi estimada a eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) e eficiência instantânea do uso da água (A/E).

4.2.6 Determinação de extrato nitroperclórico

A determinação de Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn e Mn foi conforme a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O extrato foi preparado pesando-se aproximadamente 0,5 g do material seco e triturado, adicionando-se 6 mL da solução nitroperclórica (ácido nítrico + ácido perclórico na proporção 2:1), os quais foram colocados em tubos de digestão e em seguida agitados. Esses extratos foram deixados de um dia para o outro em repouso para uma pré-digestão. No dia seguinte, os tubos foram aquecidos inicialmente a 50 °C, buscando estabilidade, e aumentando a temperatura gradualmente (100, 160 e 210 °C) por um período de aproximadamente 3 horas. Quando a temperatura estabilizou em 160 °C, a amostra foi reduzida pela metade do volume inicial, aumentando-se a temperatura para 210 °C, onde as amostras permaneceram até adquirirem uma coloração translúcida. Após o resfriamento, as amostras foram diluídas em água desionizada e aferidas em um balão volumétrico de 50 mL sendo filtradas e posteriormente utilizadas para a determinação dos nutrientes.

4.2.7 Determinação de extrato aquoso

Para determinação de teores de fósforo foliares, foi utilizado o extrato aquoso sugerido por Cataldo et al. (1975), com pequenas modificações nos volumes de modo que os mesmos foram aumentados para caso se necessitasse de uma repetição. Isso não implica em diferença no valor final visto que o volume entra na equação de ajuste. O mesmo consistiu em pesar-se 0,1 g do material liofilizado e macerado em nitrogênio líquido, em tubos de ensaio, e a esses foram adicionados 10 mL de água destilada. As amostras foram levadas a banho maria por 1 hora a 45 °C, sendo agitados a cada 15 min. O sobrenadante foi filtrado com o auxílio de um funil e papel de filtro para posterior análise (Figura 6). A determinação foi conforme a metodologia proposta por Braga e Defelipo (1974).

Figura 6. Extrato aquoso para determinação de alguns nutrientes e solutos em dez genótipos de plantas de citros submetidas a dois níveis de salinidade da água de irrigação e dois períodos (seco e chuvoso), cultivados em Pombal, PB, 2018.



4.2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, como pré requisito para a análise de variância pelo teste F. Em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o software estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016). A matriz de correlação de Spearman e análise de componentes principais (ACP) foram realizadas utilizando-se o software SPSS v.16. Para avaliar a adequação das amostras, utilizou-se o teste de adequacidade (KMO) e testes de esfericidade de Bartlett.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 encontra-se o resumo da análise de variância, na qual se verifica que ocorreram interações (duplas e triplas) significativas para todas as variáveis ($p < 0,01$), com exceção para o fósforo, cálcio, ferro e zinco na interação entre salinidade e genótipo. Também não houve interação para o P, Ca, Fe e Cu na interação entre salinidade e ano de avaliação e ainda não houve interação para o P na interação entre genótipo e ano. Para a interação tripla, apenas observou-se significância para o Mg, Zn e Mn.

Tabela 6 – Análise de Variância para teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu), em dez genótipos de plantas de citros submetidas a dois níveis de salinidade da água de irrigação, nas estações secas de 2016 e 2017, cultivados em Pombal, PB.

Fontes de Variação	Quadrados médios							
	GL	P	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
Salinidade (A)	1	0.003ns	0.526ns	7.329**	213.656ns	8040.425**	5068.211**	0.373ns
Genótipos (B)	9	4.996**	1.550**	1.193**	823.898**	2406.711**	1176.890**	4.918**
Ano (C)	1	15.453**	25.537**	67.258**	353988.598**	643049.184**	132028.137**	7.124*
Int. (A x B)	9	2.436ns	0.658ns	0.345*	556.608ns	749.766ns	968.177**	6.030**
Int. (A x C)	1	2.617ns	1.169ns	4.552**	658.949ns	7600.244**	3757.021**	0.066ns
Int. (B x C)	9	3.460ns	0.734*	0.356*	647.538*	2210.317**	741.399**	3.879**
Int. (AxBxC)	9	2.708ns	0.642ns	0.484**	593.951ns	1013.891*	269.831*	1.450ns
Tratamento	39	3.602**	1.525**	2.578**	9704.081**	18361.949**	4340.001**	3.950**
Blocos	2	45.660**	0.151ns	0.041ns	621.333ns	281.499ns	204.755ns	0.093ns
Resíduo	78	1.800	0.329	0.150	302.886	400.775	119.062	1.140
CV%		21.58	19.53	15.49	18.11	19.28	16.51	19.50

^{ns} Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F ; * e ** Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Na Tabela 7 encontra-se o resumo da análise de variância, na qual se verifica que a salinidade influenciou todas as variáveis positivamente. Para os genótipos, apenas a transpiração (E) apresentaram significância. E para o ano de avaliação apenas a fotossíntese não foi significativa. Ocorreram interações duplas significativas apenas para a E entre salinidade e ano de avaliação e para a mesma variável na interação entre genótipo e ano. Não ocorreram interações triplas significativas, exceto para a eficiência intrínseca do uso da água (A/gs).

Tabela 7 – Análise de Variância para condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) e eficiência do uso da água (A/E), em dez genótipos de plantas de citros submetidas a dois níveis de salinidade da água de irrigação, nas estações secas de 2016 e 2017, cultivados em Pombal, PB.

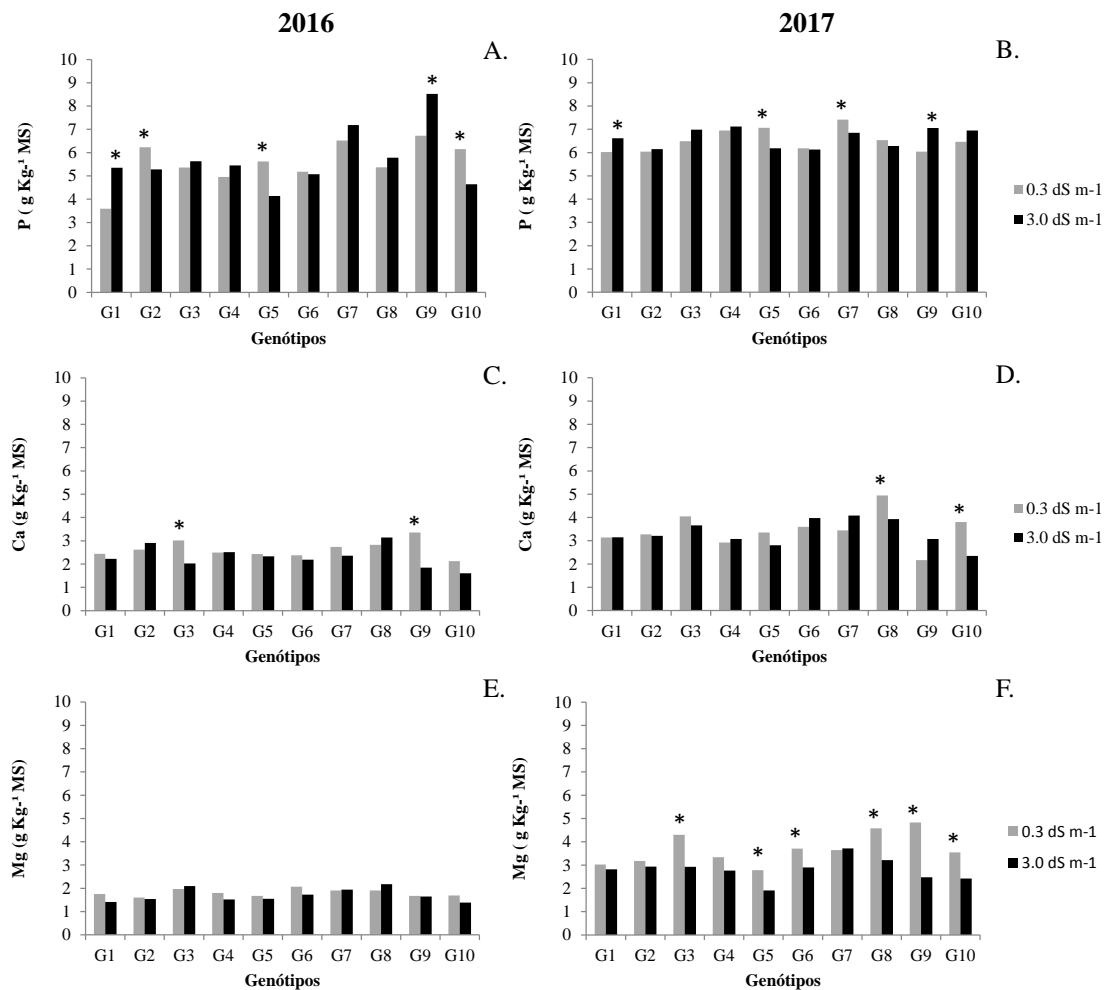
Fontes de Variação	Quadrados médios					
	GL	gs	A	E	A/gs	A/E
Salinidade (A)	1	0.00389**	51.82123**	4.11083**	1225.72525**	2.13369*
Genótipos (B)	9	0.00024ns	2.29161ns	0.44074**	255.59216ns	0.42278ns
Ano (C)	1	0.00238**	0.01155ns	90.73802**	2628.80498**	125.01918**
Int. (A x B)	9	0.00012ns	1.30761ns	0.13892ns	135.67529ns	0.16396ns
Int. (A x C)	1	0.00001ns	0.18422ns	0.72546*	2.54178ns	0.24945ns
Int. (B x C)	9	0.00041ns	1.19458ns	0.41481**	212.51192ns	0.33165ns
Int. (AxBxC)	9	0.00013ns	1.86353ns	0.19973ns	305.52293*	0.22640ns
Tratamento	39	0.00037ns	2.87008**	2.72621**	308.73828**	3.53091**
Blocos	2	0.00151**	3.76307ns	0.06858ns	180.47153ns	0.16090ns
Resíduo	78	0.00030	1.40666	0.12981	137.16517	0.43030
CV%		26.36	22.97	15.82	14.55	24.48

^{ns} Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F ; * e ** Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Em relação aos teores de P (Figura 7 A, B), observa-se que, de modo geral, não houveram grandes incrementos nos teores do elemento entre uma avaliação (2016) e a outra (2017). As respostas variaram, também, com relação aos genótipos e a salinidade da água de irrigação, observando-se incremento do teor de fósforo foliar nas condições salinas nos G1 e G9, nos dois anos de avaliação e redução no teor de fósforo nos G2, G5 e G10, no primeiro ano e G5 e G7 no segundo.

Para os teores de Ca^+ (Figura 7 C, D), observam-se que maiores valores no segundo ano de coleta, de forma que as respostas foram variadas entre os genótipos e as salinidades. Efeitos do estresse salino, tiveram tendência de maior queda nos teores de cálcio foliares nos genótipos G3, G9 e G10 no primeiro ano e G8, G5 e G10 no segundo ano de avaliação.

Figura 7. Teores de fósforo (A e B), cálcio (C e D) e magnésio (E e F) em dez genótipos de citros irrigados com águas de baixa e alta salinidade, ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo.



* =

diferença significativa entre as combinações com relação ao teor de sais na água de irrigação. A ausência do mesmo, indica que não houve diferença significativa (ns).

Para os teores de Mg (Figuras 7 E, F), observa-se maiores valores gerais no segundo ano de coleta, sendo notadas diferenças menores no primeiro ano, entre os genótipos e a CEa utilizada. Porém no segundo ano, observou-se que a salinidade provocou decréscimo principalmente nas combinações G3, G5, G6, G8, G9 e G10.

Marschner (1995) afirma que o excesso de Na^+ ou SO_4^{2-} podem provocar deficiência e cálcio nas plantas. Além disso, outros autores também demonstram esse efeito de deficiência desse nutriente por ocasião da salinidade (LARCHER, 2000, LACERDA et al., 2004; BOSCO et al, 2009). Sabe-se que o cálcio, por ter baixa mobilidade na planta, é acumulado, principalmente, nos tecidos maduros, onde se tem uma taxa de transpiração mais intensa (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

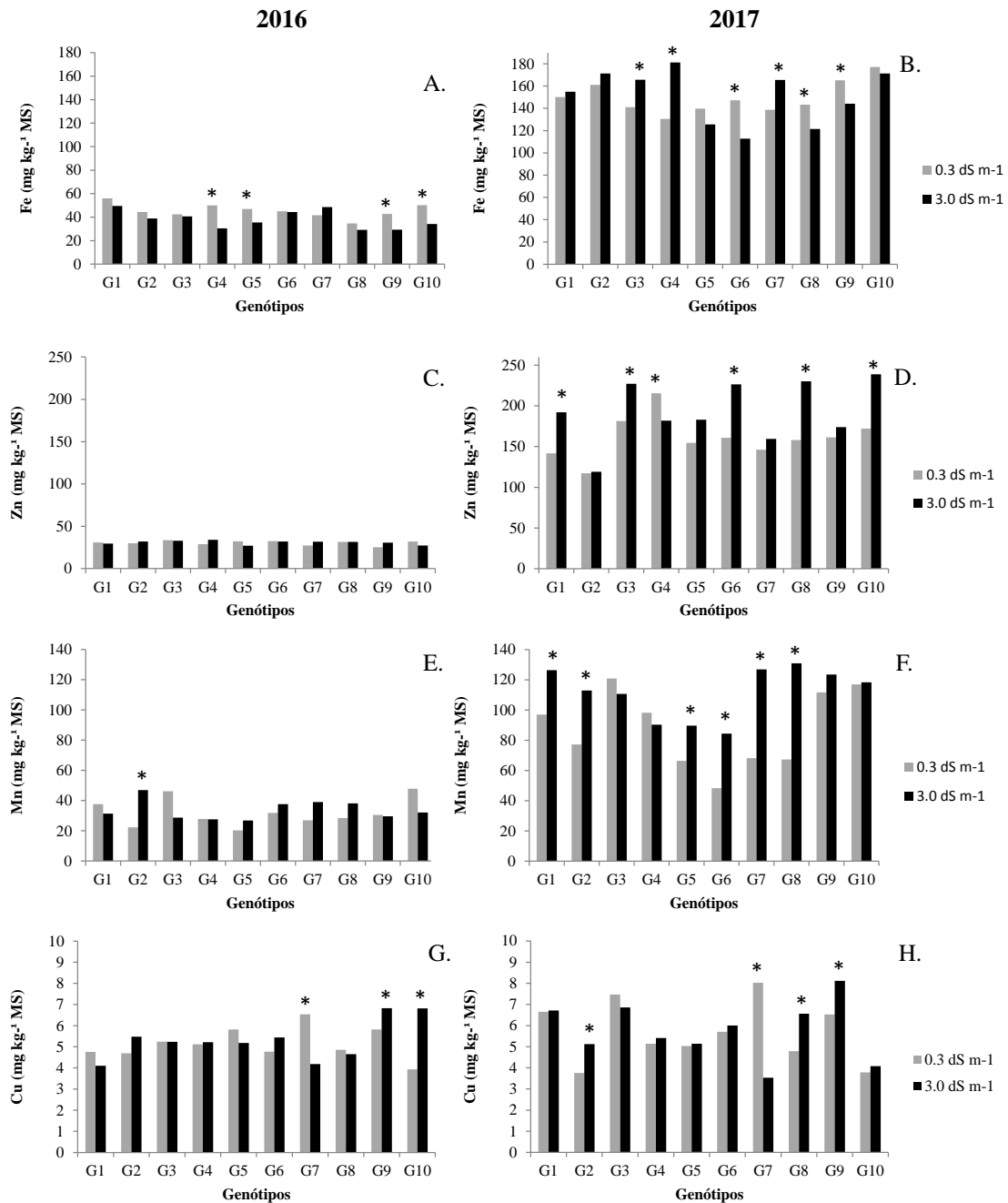
O acúmulo de P nas folhas de plantas sob estresse salino pode ser explicado por consequência da redução da translocação associada à diminuição da taxa de crescimento das plantas sob estresse (LACERDA et al., 2006). Sabe-se, também, que elevadas concentrações de íons específicos, como o Na^+ e o Cl^- , podem provocar desequilíbrio nutricional nas plantas, ocasionando frequente deficiência de íons como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrato (LAUCHLI; EPSTEIN, 1990), o que explica o fato do menor teor de magnésio presente nas folhas de plantas irrigadas com água acrescida de sais.

Para os teores de micronutrientes, de maneira geral, observa-se que maiores valores foram encontrados ao final do segundo ano de avaliação (Figura 8), com exceção dos teores de cobre que não variou de uma avaliação para outra (Figura 8 G e H).

Para os teores de ferro (Figuras 8 A e B), observa-se que no primeiro ano de avaliação, as combinações G3 e G6 não apresentam efeitos nos genótipos em relação as respostas a salinidade da água de irrigação. Observa-se também maior acúmulo de Fe presente nas folhas com o incremento da salinidade. No segundo ano de avaliação, no G1 e G10 não se notaram diferenças nos teores de ferro foliar, independente da CEa aplicada. Já no G2, G3, G4 e G7 houve acúmulo de ferro por ocasião do incremento dos sais na água (Figura 8B).

Com relação aos teores de zinco foliar, no primeiro ano de avaliação, não observou-se diferenças significativas entre os níveis de salinidade (Figura 8C). Já ao final do segundo ano, no genótipo G2 não se constatou diferença nos teores de zinco com o aumento da salinidade. Porém no G1, G3, G6, G8 e G10 se verificaram incrementos nos teores de zinco com a adição de sais na água de irrigação (Figura 8D).

Figura 8. Teores de ferro (A e B), zinco (C e D), manganês (E e F) e cobre (G e H) em dez genótipos de citros irrigados com águas de baixa e alta salinidade, ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo.



* =

diferença significativa entre as combinações com relação ao teor de sais na água de irrigação. A ausência do mesmo, indica que não houve diferença significativa (ns).

Para os teores de manganês foliar, ao final do primeiro ano de avaliação, observa-se que os genótipos G4 e G9 não variaram no teor do micronutriente por ocasião da salinidade. Observa-se também que há um aumento no teor do mesmo nos G2, G6, G7 e G8 por ocasião do incremento da salinidade (Figura 8 E). Em 2017, observa-se que apenas o G10 não varia no teor de Mn foliar por ocasião da CEA. Porém, todos os outros genótipos apresentam aumento

nos teores do elemento com o aumento da salinidade da água de irrigação com exceção de G3 e G4.

Com relação aos teores de cobre foliar, observa-se que não há variação, independente da salinidade, no G3, G4 e G8. Já há um aumento no teor do elemento com incremento da salinidade no G9 e G10 (Figura 8 G). Ao final do segundo ano de avaliação (Figura 6H), não houve diferenças significativa entre os níveis de salinidade nos genótipos G1, G4, G5 e G6. Porém, no G8 e G9 se notou grande aumento no teor quando irrigadas com água salina.

Maiores valores de cobre foliar nas plantas que foram irrigadas com água de baixa salinidade, corroboram os dados de Freire et al. (2015), que quando trabalhando com maracujazeiro Amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* DEG.) sob estresse salino, observaram, nas plantas irrigadas com água de baixa CEa, que os teores de cobre foram elevados de 12,10 para 26,23 mg kg⁻¹ (116,8%). Por outro lado, efeito contrário foi encontrado por Bosco et al. (2009), que identificaram influência do estresse salino em plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.), ao descreveram que o estresse aumentou o conteúdo de cobre nas folhas da cultura.

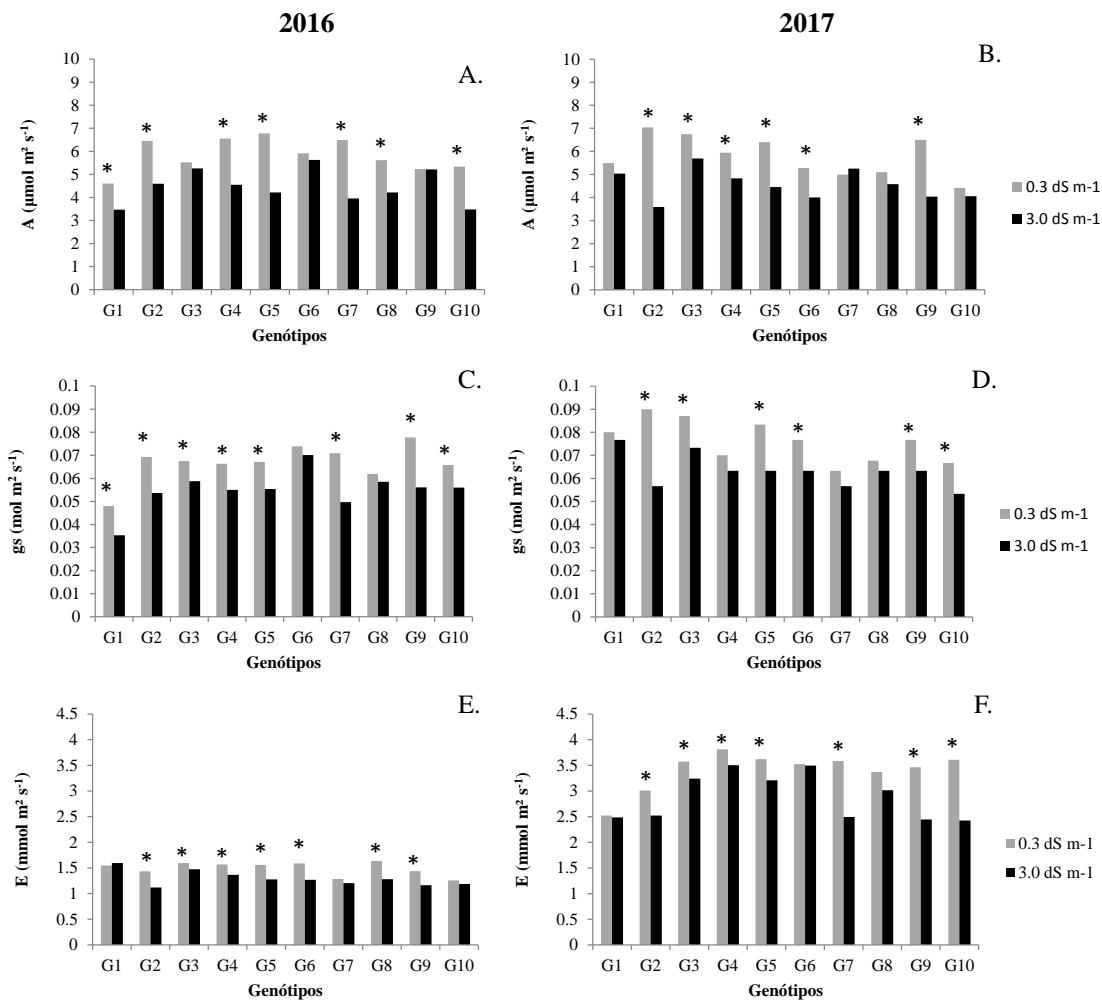
Trabalhando com pinhão manso (*Jatrofa curcas* L.) submetido a estresse salino e adubação fosfatada, Sousa et al. (2012) observaram que o teor de zinco foliar aumentou linearmente com o incremento da salinidade da água de irrigação. Em trabalhos realizados com milho, Sousa et al. (2010) também observaram incremento de zinco com aumento da salinidade da água de irrigação.

Em citros, comportamento parecido foi observado, de modo que houve, de maneira geral, incremento de zinco nas plantas irrigadas com água de salinidade 3,0 dS m⁻¹. De acordo com Sousa et al. (2010), o aumento da salinidade só propicia incremento dos teores foliares de manganês nas plantas se o pH do meio não for elevado, pois a elevação do pH a valores superiores a 6 contribui para o aparecimento de deficiências de micronutrientes (LIMA et al., 2000).

Para Bosco et al. (2009), os teores de manganês foliar das plantas de berinjela, diminuiram à medida que se elevou o nível de NaCl da solução nutritiva. Sabe-se que o ferro, catalisa a biossíntese da clorofila, uma vez que ele faz parte de enzimas responsáveis pela sua formação (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Trabalhando com feijão-de-corda, Neves et al. (2009), observaram aumento nos teores foliares de ferro em função dos níveis salinos da água de irrigação em campo.

Em relação as trocas gasosas (Figura 9), observa-se que para todos os casos, independente do ano de avaliação, a condutividade elétrica da água de irrigação influenciou nas combinações, uma vez que a salinidade propiciou uma diminuição nas respostas. Para a fotossíntese (A), não se observou grande aumento entre os dois anos de avaliação. Ao final do primeiro ano apenas nos genótipos G3, G6 e G9 não se constatou impacto na fotossíntese com o incremento da CEa. Já em 2017, as combinações que sofreram menor redução fotossintética por ocasião da água acrescida de sais foram G1, G7, G8 e G10 (Figura 9 A e B).

Figura 9. Taxas de fotossíntese (A) (A e B), condutância estomática (*gs*) (C e D) e transpiração (E) (E e F) em dez genótipos de citros irrigados com águas de baixa e alta salinidade, ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo.



* =

diferença significativa entre as combinações com relação ao teor de sais na água de irrigação. A ausência do mesmo, indica que não houve diferença significativa (ns).

Para a condutância estomática (*gs*), observa-se pequeno aumento no segundo ano de avaliação em relação ao primeiro. Para 2016, os genótipos G6 e G8 apresentaram menor redução na *gs* quando se avalia a água de irrigação. Já, ao final de 2017, G1, G7 e G8

apresentaram menor dano na redução na abertura estomática por ocasião da irrigação com água de CEa 3,0 dS m⁻¹ (Figura 9 C e D).

Para a transpiração (E), observa-se que houve um aumento significativo no segundo ano de avaliação. Para 2016 (Figura 9 E), as combinações G1, G7 e G8, apresentaram menor efeito da salinidade na transpiração, de modo que esses genótipos chegam a apresentar quase a mesma taxa de transpiração quando irrigadas com água de CEa 0,3 e 3,0 dS m⁻¹. Para 2017, para a mesma situação acima, observamos menor dano por ocasião da salinidade nas combinações G1, G6 e G8 (Figura 9 F). Maiores condutâncias estomáticas e transpirações no segundo ano de avaliação podem estar associadas tanto as maiores precipitações quanto a maior temperatura média observadas no segundo ano de avaliação (Tabela 4).

A redução na condutância estomática é um mecanismo de tolerância à salinidade que reduz o processo fotossintético e transpiratório, como também regula a entrada de água nas plantas, com isso evitando também a entrada de sais, reduzindo dessa forma a toxicidade por íons específicos (FLOWERS; FLOWERS, 2005). Como o fechamento de estômatos é responsável pelo controle das trocas gasosas, as menores taxas de condutância estomática foram observadas nas plantas irrigadas com água de maior salinidade, mostrando redução na assimilação de CO₂, na cavidade subestomática para realização da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A fim de se evitar a perda de água quando em condições adversas, o primeiro mecanismo utilizado pelas plantas é o fechamento ou redução da abertura dos estômatos, o que já foi observado por vários autores, como Fernandes et al. (2011) em plantas cítricas cultivadas sob água salina, assim como por Suassuna (2012) com porta- enxertos de citros sob redução progressiva da disponibilidade hídrica e Gomes (2004), por sua vez, trabalhando com laranja doce enxertada em limoeiro ‘Cravo’, que não difere dos resultados encontrados com as plantas enxertadas com a limeira ácida ‘Tahiti’ que sofreram redução, de um modo geral, na taxa fotossintética, devido a redução na abertura estomática quando as combinações foram submetidas a uma água de maior concentração salina.

De um modo geral, a diminuição da transpiração nas combinações submetidas ao maior nível salino da água de irrigação, pode estar associada à percepção das plantas aos sais acumulados no solo pela irrigação com água de elevada salinidade. Assim, Brito et al. (2012) estudando híbridos sob condições de estresse hídrico e enxertado com pomeleiro ‘Star Ruby’ e limeira ácida ‘Tahiti’, observaram o potencial para produção no semiárido de plantas de citros utilizando-se combinações de copa/porta-enxerto, bem como sua susceptibilidade à lâminas de

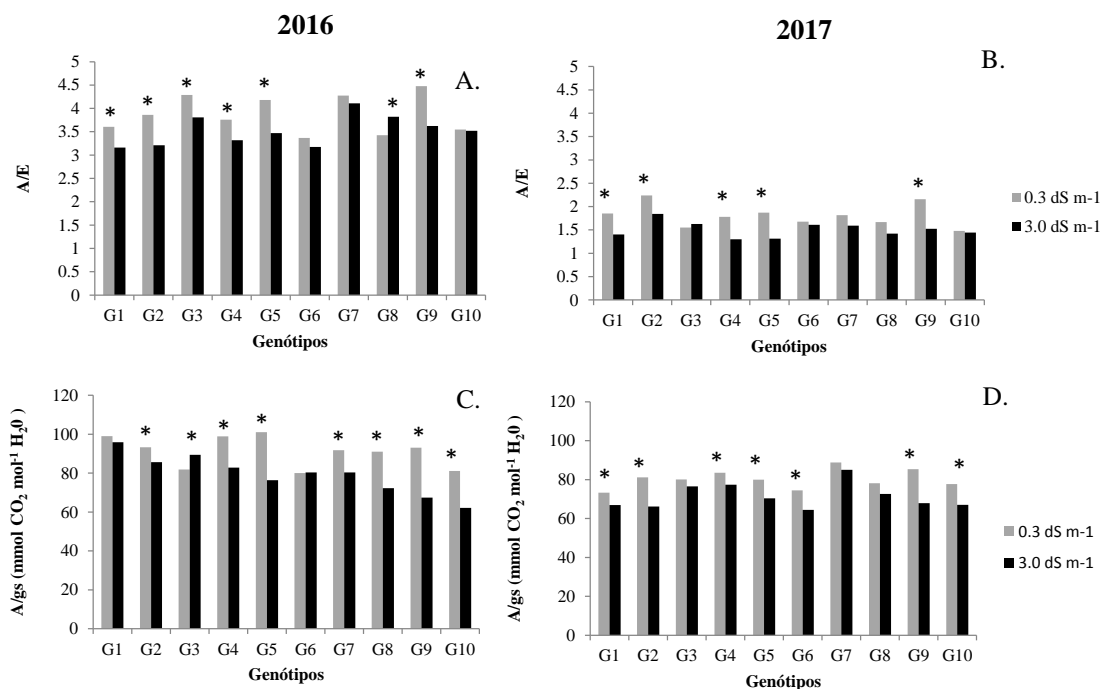
irrigação, encontrando-se perdas de apenas 10% das trocas gasosas dessas combinações quando submetidas a irrigação de lâmina menor que 75%.

Para a eficiência instantânea no uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), observou-se os maiores resultados ao final do primeiro ano de avaliação, isso ocorreu devido aos valores de transpiração e condutância estomática terem sido menores em 2016 (Figura 10).

Para a A/E, ao final do primeiro ano, apenas G6, G7 e G10 mantiveram a eficiência do uso da água mesmo quando irrigadas com água de CEa 3,0 dS m⁻¹. De modo que G7 destaca-se por apresentar maior eficiência nessa condição de irrigação que as demais. Em 2017, G3, G6 e G10 não apresentaram diferença para os valores de A/E comparando-se as duas condições de água de irrigação (Figura 10 A e B).

Para a A/g_s, em 2016 (Figura 10 C) os genótipos G1 e G6 não apresentam diferença significativa independente da água de irrigação. Já em 2017, G3 e G7 apresentam as mesmas características, G7 sobressai-se por apresentar maior eficiência intrínseca do uso da água em condição de água acrescida de sais.

Figura 10. Eficiência do uso da água (A/E) (A e B) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) (C e D) em dez genótipos de citros irrigados com águas de baixa e alta salinidade, ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo.



* = diferença significativa entre as combinações com relação ao teor de sais na água de irrigação. A ausência do mesmo, indica que não houve diferença significativa (ns).

De um modo geral, as plantas apresentaram uma maior eficiência no uso da água ao final do primeiro ano e em plantas irrigadas com água de menor salinidade, o que pode ser relacionado as menores taxas de transpirações nessa avaliação, o que ajuda na conservação interna da água. De acordo com Larcher (2006), a eficiência momentânea da água varia dentro e entre espécies vegetais, o que também foi verificado por Pinzón-Torres e Schiavinato (2008) em quatro espécies leguminosas arbóreas tropicais.

Em relação a eficiência instantânea do uso da água em híbridos de citros sob condições de salinidade da água, Silva et al. (2014) verificaram que o LCR x TR - 001 sofreu reduções quando submetido a salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ durante as primeiras 24 h, mantendo-se constante até a avaliação às 48 horas. Efeito contrário foi observado no híbrido TSKC x (LCR x TR) - 040 (BRS, no qual se verificou aumento da eficiência do uso da água durante todo período de avaliação. Tal observação permite deduzir que esse genótipo possui rápida percepção do estresse salino, assim como tolerância, já que manteve a eficiência do uso da água nas avaliações às 24 e 48 h após início da submissão ao estresse.

A maior eficiência instantânea do uso de água, de uma forma geral, mostra que as combinações melhoram a gestão de água dentro das plantas no período em que a temperatura está mais elevada, a evaporação e a transpiração estão maiores e acabam fechando mais os estômatos nessa condição, por outro lado diminui a assimilação de CO_2 . De acordo com Taiz e Zeiger (2013) o estresse hídrico reduz primeiro a g_s antes de reduzir a taxa fotossintética, para que, assim, a planta assimile mais moléculas de CO_2 para cada unidade de água transpirada, sendo mais eficiente na utilização da água disponível. Como a água salina é mais dificilmente absorvida pela planta, observa-se uma maior eficiência no uso da água para as plantas irrigadas com água de menor salinidade, apresentando assim, maiores taxas de A/g_s .

Os gráficos de comparação de médias (Figuras 7, 8, 9 e 10) permitem observar muitas variações entre os genótipos, porém, é difícil analisá-los de forma agrupada, devido ao grande número de genótipos. Por esse motivo, utilizamos estatística multivariada (matrizes de correlação, a análise da componente principal e a análise de agrupamento) para facilitarmos uma conclusão.

Na matriz de correlação de Spearman (Tabela 8) nota-se que as variáveis das trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática e a eficiência intrínseca do uso da água) correlacionam-se mais fortemente entre si do que entre os macro e microelementos avaliados no trabalho. As mesmas variáveis correlacionam-se, negativamente, com P e Ca. Já os teores de magnésio, zinco, ferro e manganês, correlacionam-se bem com a transpiração. Observa-se também correlação entre Ca, P, Cu e a eficiência do uso da água.

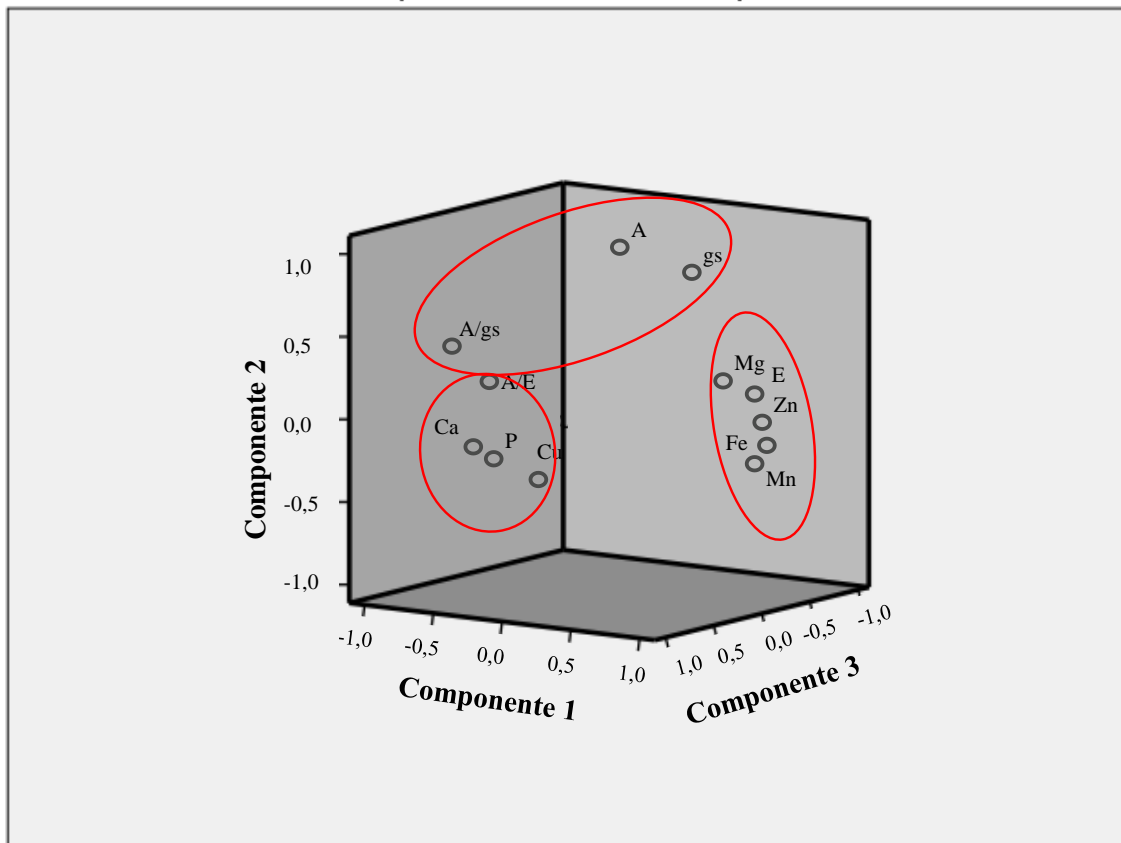
Tabela 8 – Matriz de correlação de Spearman resultante da análise de agrupamento de dez genótipos de citros irrigados com águas de baixa e alta salinidade, ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo.

	P	Mg	Mn	Ca	Fe	Cu	Zn	A	gs	E	A/E	A/gs
P	1.000											
Mg	-0.271	1.000										
Mn	-0,352*	0,757**	1.000									
Ca	0,367*	-0,491**	-0,559**	1.000								
Fe	-0,314*	0,742**	0,799**	-0,637**	1.000							
Cu	0.189	0.010	-0.104	0.111	-0.042	1.000						
Zn	-0,395*	0,728**	0,835**	-0,575**	0,736**	-0.107	1.000					
A	0.089	0.202	-0.166	-0.061	0.042	0.125	-0.025	1.000				
Gs	-0.248	0,469**	0.223	-0.251	0,341*	0.060	0.264	0,738**	1.000			
E	-0,440**	0,808**	0,648**	-0,597**	0,760**	0.048	0,763**	0.154	0,429**	1.000		
A/E	0,435**	-0,687**	-0,723**	0,515**	-0,724**	0.077	-0,754**	0,367*	-0.032	0,836**	1.000	
A/gs	0,367*	-0.289	-0,523**	0.194	-0,321*	0.225	-0,405**	0,477**	0.162	-0.263	0,544**	1.000

** e * A correlação é significativa nos níveis 0,01 e 0,05, respectivamente; P = fósforo; Mg= magnésio; Mn = manganês; Ca = cálcio; Fe = ferro; Cu = cobre; Zn = zinco; A = fotossíntese; gs = condutância estomática; E = transpiração; A/E = eficiência do uso da água e A/gs = Eficiência Intrínseca do uso da água.

A ACP mostra a separação de três componentes com autovalor maior do que 1,0, as quais explicam 76,9% dos dados avaliados (Figura 11). A componente 1 (autovalor de 50,84%) mostra forte associação entre Mg (0,852), Mn (0,886), Fe (0,943), Zn (0,921) e E (0,917). Por outro lado, a componente 2 (autovalor de 16,36%) separou apenas a A (0,983), gs (0,817) e a relação entre A/gs (esta porém com baixo poder de correlação). E por fim, a componente 3 (autovalor de 9,69%), separa os teores de P (0,711) e Cu (0,711), fortemente correlacionadas, e ainda Ca (0,132) e A/E (0,239) Com baixos níveis de explicação, respectivamente.

Figura 11. Análise de Componentes principais (PCA), das variáveis analisadas em dez genótipos de citros irrigados com águas de baixa e alta salinidade, ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo. Teste de adequidade (KMO): 0.631 e teste de Bartlett: 45



4.4 CONCLUSÕES

A salinidade afetou as trocas gasosas foliares, porém os efeitos sobre os genótipos variaram nos períodos avaliados, sendo que a redução na taxa de fotossíntese foi explicada em grande parte pela queda na condutância estomática, indicando, conforme evidenciam os dados da matriz de correlação e da ACP.

Não foi observada nenhuma correlação entre a taxa fotossintética foliar e os teores de nutrientes avaliados.

Os dados de nutrição mineral e de trocas gasosas foliares não permitiram identificar diferenças genotípicas em termos de tolerância dos citros à salinidade.

5. CONCLUSÃO

A salinidade influenciou tanto as taxas de trocas gasosas, teores nutricionais, a atividade enzimática, os teores de solutos orgânicos e os indicadores de toxicidade.

Os porta-enxertos obtidos dos cruzamentos TSKC X (LCR x TR) são os mais promissores para melhoramento visando a maior tolerância à salinidade, considerando-se o critério de menor incremento nos teores foliares de cloreto e um genótipo dos cruzamentos de TSKFL x TRBK, mais especificamente G7 e a testemunha G10 (LCRSTC) para bons resultados nutricionais mesmo estando sob condições de baixa qualidade de água de irrigação.

REFERÊNCIAS

- ABDELGADIR, E. M.; OKA, M.; FUJIYAMA, H. Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. **Journal of plant nutrition**, v.28, n. 1, p.33-46, 2005.
- ABOGADALLAH, G. M.; SERAG, M. M.; QUICK, P. W. Fine and coarse regulation of reactive oxygen species in the salt tolerant mutants of barnyard grass and their wild-type parents under salt stress. **Physiologia Plantarum**, v. 138, n. 01, p. 60-73, 2010.
- AGRIANUAL: **Anuário Da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Editora FNP, 2013. p.270-281.
- ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) - Universidade Rural do Semiárido, Mossoró, 2012.
- ALMEIDA, J. F. **Ecofisiologia de limeira ácida tahiti condicionada a porta-enxertos de citros e salinidade da água**. 2019. 60 f. Dissertação (Mestrado em horticultura tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.
- ALSHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1331-1341, 2002.
- AMORIM, A.V.; GOMES-FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, p: 113 – 121, 2010
- AMORIM, M. S. **Desempenho inicial de combinações copa e portaenxerto de citros no litoral norte do estado da Bahia**. Dissertação. 77p. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Mestrado em ciências agrárias, Cruz das Almas, BA. 2015.
- ANJUM, M. A. Effect of NaCl concentrations in irrigation water on growth and polyamine metabolism in two citrus rootstocks with different levels of salinity tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s.l.], v. 30, p. 43-52, 2008.
- ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 702- 713, 2007.
- AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A Salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino**: caracterização, variação sazonal e limitações de uso. Recife: CNPq, 1995.128p.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- BAETHGEN, W. E.; ALLEY, M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.961-969, 1989.

BAÑULS, J.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. Effect of salinity on uptake and distribution of chloride and sodium in some citrus scion- rootstock combinations. **Journal of Horticultural Science**, v.65, p.715-724, 1990.

BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E. Effect of chloride and sodium on gas exchange parameters and water of *Citrus* plants. **Physiologia Plantarum**, v.86, p.115-123, 1992.

BANULS, J.; SERNA, M.; LEGAZ, F.; TALON, M.; PRIMO-MILLO, E. Growth and gas exchange parameters of Citrus plants stressed with different salts. **Journal of Plant Physiology**, v.150, p. 194-199. 1997.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. DE A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Revista Ciência Rural**, v.44, p.453-460, 2014.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, J. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BAZIHIZINA, N.; BARRETT-LENNARD, E. G.; COLMER, T. D. Plant growth and physiology under heterogeneous salinity. **Plant and soil**, v. 354, p. 1-19, 2012.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; SILVA, G. O.; HARTWING, I.; VALÉRIO, I. P.; FINATTO, T. Dissimilaridade genética entre genótipos de trigo avaliados em cultivo hidropônico sob estresse por alumínio. **Bragantia**, v.65, n.1, p.55-63, 2006.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.28, p.196-205, 2015.

BEZERRA, M. A.; OLIVEIRA, R. A.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Fotossíntese de plantas de cajueiro-anão precoce submetidas ao estresse salino. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v. 47, p. 149-152, 2003.

BHATT, I.; TRIPATHI, B. N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology Advances**, v.29, p.850-859, 2011.

BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p.157-164, 2009.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica do fósforo com extrato de solos e plantas. **Revista Ceres**, v. 41, p. 73 – 85, 1974.

BRITO, E. B. M.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; MELO, A. S. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, 2012.

BRITO, M. E. B.; BRITO, K. S. A. DE; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R., SUASSUNA, J.F.; SANTOS SOARES FILHO, W. DOS; XAVIER, D.A. Growth of ungrafted and grafted citrus rootstocks under saline water irrigation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n.50, p. 3600-3609, 2014a.

BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; SOARES FILHO, W. S. S.; SANTOS, R. T. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 17 – 27, 2014b.

BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; CARDOSO, J. A. F.; SOARES FILHO, W. S. S. Sensibilidade de variedades e híbridos de citrange à salinidade na formação de porta-enxertos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.4, p 343-353, 2008.

BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; SILVA, L. A.; SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; FIGUEIREDO, L. C. Saline stress onto growth and physiology of trifoliolate Citrus hybrids during rootstock formation. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, p. 1523-1534, 2017.

BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; SOARES FILHO, W. S.; SILVA, L. A.; FERNANDES, P. D. Gas exchange and fluorescence of citrus rootstocks varieties under saline stress. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, p. 1-8, 2015.

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. DA S.; MELO, A. S. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, suppl., p.857-865, 2012.

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. A.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D.; SILVA, E. C. B.; SÁ, F. V. S.; SILVA, L. A. Emergence and morphophysiology of Sunki mandarin and other citrusgenotypes seedlings under saline stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 1, p. 1-16, 2018.

BRITO, M.E.B.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; MELO, A.S. DE; SOARES FILHO, W. DOS S.; SANTOS, R.T. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, v. 27, n.1, p. 17 - 27, 2014b.

BRUMÓS, J.; TALÓN, M.; BOUHLAL, R.; COLMENERO FLORES, J. Cl homeostasis in includer and excluder citrus rootstocks: transport mechanisms and identification of candidate genes. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, p. 2012–2027. 2010.

CALVET, A. S. F.; PINTO, C. M; LIMA, R. E. M.; MAIA-JOCA, R. P.M.; BEZERRA, M. A. Crescimento e acumulação de solutos em feijão-de-corda irrigado com águas de salinidade crescente em diferentes fases de desenvolvimento. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 148-159, 2013.

CARDOSO, M. N.; ARAÚJO, A. G.; OLIVEIRA, L. A. R.; CARSO, B. T.; M. A. V. C. S.; SANTOS, P. S. N.; OLIVEIRA, A. C. A.; MACHADO, C. A.; LEDO, A. S. Proline synthesis and physiological response of cassava genotypes under *in vitro* salinity. **Ciência Rural**, v.49, n.06, 2019.

CARTER, J. L.; VENEKLAAS, E. J.; COLMER, T. D.; EASTHAM, J.; HATTON, T. J. Contrasting water relations of three coastal tree species with different exposure to salinity. **Physiology Plant**, v.127, p.360–373, 2006.

CARVALHO, K.; CAMPOS, M. K. F.; DOMINGUES, D. S.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E. The accumulation of endogenous proline induces changes in gene expression of several antioxidant enzymes in leaves of transgenic Swingle citrumelo. **Molecular Biology Reports**, v.40, p.3269–3279, 2013.

CARVALHO, M. F., CORREA, M. M., CARVALHO, G. C., ROLIM NETO, F. C., MARINHO, G., & ANDRADE, S. B. D. Atividade enzimática de três variedades de cana-de-açúcar sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n.9, p.806-810, 2016.

CARVALHO, W. S. G. **Eficiência produtiva e porte de cultivares de citros enxertadas sobre os porta-enxertos limoeiro ‘cravo’ e ‘flying dragon’, em cultivo irrigado**. 2017. 71f. Dissertação (Mestrado em ciências e tecnologias agropecuárias). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

CATALDO, J. M.; HAROOM, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CAVALCANTI, F.R.; LIMA, J.P.M.S.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A. & SILVEIRA, J.A.G. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. **Journal of Plant Physiology**, v.164, p. 591-600, 2007.

COOPER, W.; GORTON, B.; OLSON, E. Ionic accumulation in citrus as influenced by rootstock and scion and concentration of salts and boron in the substrate. **Plant Physiology**, v. 27, p.191. 1952

DAS, S. K.; PATRA, J. K.; THATOI, H. Antioxidative response to abiotic and biotic stresses in mangrove plants: a review. **International Review Hydrobiology**, v. 101, p. 3-19, 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 13, p. 328-352.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. GOMES FILHO, E. (2 Ed). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 129-141.

DONG, H. Technology and field management for controlling soil salinity effects on cotton. **Australian Journal of Crop Science**, v.6, n.2, p.333-341, 2012.

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

EL-GABASHY, S. *In vitro* Evaluation and Selection for Salinity Tolerance in Some Citrus Rootstock Seedlings. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 10, n.1, p. 17-27, 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FADEL, A. L., MOURÃO FILHO, F. D. A. A., STUCHI, E. S., WULFF, N. A., & COUTO, H. T. Z. Citrus sudden death associated virus (CSDaV) and citrus tristeza virus (CTV) in eleven rootstocks for 'Valência' sweet orange. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.40, n.4: e-788, 2018.

FAO. **Food and Agriculture of the United Nations** (2019). Statistical Databases. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. S.; MELO, A. S.; CARNEIRO, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 33, n. 2, p. 259-267, 2011

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. dos S.; MELO, A. S. de; CARNEIRO, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 259-267, 2011.

FERNANDEZ-BALLESTER, G.; GARCIA-SANCHEZ, F.; CERDA, A.; MAERTINEZ, V. Tolerance of citrus rootstock seedlings to saline stress based on their ability to regulate ion uptake and transport, **Tree Physiology**, n. 23, p. 265–271, 2003.

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.

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

FORNER-GINER, M. A.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER, J. B. Nutritional responses of citrus roots to salinity: performance of the new hybrids, Forner-Alcaide5 and Forner-Alcaide13. **Journal Plant and Nutrition**, v. 34, p.1–16. 2011.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; DANTAS, M. M. M.; MACEDO, L. P. M.; AZEVEDO, T. A. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. **Revista AGROTEC** – v. 36, n. 1, p. 65-81, 2015.

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, p.371-374, 1984.

GARCÍA-SÁNCHEZ, F., PEREZ-PEREZ, J.G., BOTIA, P., MARTÍNEZ, V. The response of young mandarin trees grown under saline conditions depends on the rootstock. **European Journal Agronomy**, v.24, p. 129–139, 2006.

GARCÍA-SANCHEZ, F.; JIFON, J.; CARVAJAL, M.; SYVERTSEN, J. P. Gasexchange: chlorophyll and nutrient contents in Relation to Na⁺ and Cl⁻ accumulation in Sun burst mandar in grafted on different roots tocks. **Plant Science**, v.162, p. 705–712, 2002

GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; SYVERTSEN, J. Salinity tolerance of Cleopatra mandarin and Carrizo citrange citrus rootstock seedlings is affected by CO₂ enrichment during growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, p. 24–31. 2006.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.16, n.3, p.155-161, 2004.

GONDIM, F. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, J. H.; ALENCAR, N. L. M.; PRISCO, J. T. Catalase plays a key role in salt stress acclimation induced by hydrogen peroxide pretreatment in maize. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 56, p. 62-71, 2012.

GONZALEZ, P.; SYVERTSEN, J. P.; ETXEBERRIA, E. D. Sodium distribution in salt stressed citrus rootstock seedlings. **Horticultural Science**, v. 47, n. 10, p. 1504-1511, 2012.

GRIEVE, A. M.; PRIOR, L. D.; BEVINGTON, K. B. Long-term effects of saline irrigation water on growth, yield, and fruit quality of Valencia orange trees. **Journal Agricultural Research**, v.58, p.342–348, 2007.

HAJIBOLAND, R. Role of arbuscular mycorrhiza in amelioration of salinity. In: Salt Stress in Plants. **Springer**, pp. p. 301–354, 2013

HANNACHI, S.; VAN LABEKE, M. C. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). **Science Horticulturae**, v. 228, p. 56–65, 2018.

HARTER, L. S.; HARTER, F. S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de morango. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n.1, 2014.

HASANUZZAMAN, M; NAHAR, K.; FUJITA, M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: AHMAD, P.; AZOOZ, M. M.; PRASAD, M. N. V. (Eds). **Ecophysiology and responses of plants under salt stress**. Springer New York, 2013. chapter 2, p.25-87.

HUSSAIN, S.; LURO, F.; COSTANTINO, G.; OLLITRAULT, P.; MORILLON, R. Physiological analysis of salts stress behavior of citrus species and genera: low chloride accumulation as an indicator of salt tolerance. **South African Journal Botany**, v. 81, p. 103–112, 2012.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** (2018). Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/laranja/b1_laranja.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** (2015). Sistema de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=11>. Acesso em: 19 jan. 2019.

KAHLAOUI, B.; HACHICHA, M.; MISLE, E.; FIDALGO, F.; TEIXEIRA, J. Physiological and biochemical responses to the exogenous application of proline of tomato plants irrigated with saline water. **Journal of the Saudi Society of agricultural sciences**, v. 17, p. 17-23, 2018.

- KANAWAPEE, N.; SANITCHON, J.; LONTOM, W.; THREERAKULPISUT, P. Evaluation of salt tolerance at the seedling stage in rice genotypes by growth performance, ion accumulation, proline and chlorophyll content. **Plant Soil**, v.358, p.235-249, 2012.
- KONG, X. Q.; LUO, Z.; DONG, H.H.; ENEJI, A. E.; LI, W. J. Effects of non-uniform root zone salinity on water use, Na⁺ recirculation, and Na⁺ and H⁺ flux in cotton. **Experimental Botany**, v. 63, p.2105-2116, 2012.
- LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, J. O.; LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Morphophysiological responses of cowpe leaves to salt stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 18, n. 4, p. 455-465, 2006.
- 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 Ciência do Solo**, v. 28, n. 02, p. 289-295, 2004.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. P. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.107-120, 2003.
- LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.202, n. 3, p.192-202, 2016.
- LAMBS, L.; MULLER, E.; FROMARD, F. Mangrove trees growing in a very saline condition but not using sea water. **Rapid Communications Mass Spectrometry**, v.22, p.2835-2843, 2008.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- LÄUNCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji, K.K. (ed), Agricultural Salinity Assessment and Management. **American Society of Civil Engineers**. 1990. p. 113-137.
- LEVY, Y.; SYVERTSEN, J. Irrigation Water Quality and Salinity. Effects in Citrus Trees. **Horticultural Reviews**, v. 30, p. 37-82, 2004.
- LI, C.; LI, Y.; MA, J. Spatial heterogeneity of soil chemical properties at fine scales induced by *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) plants in a sandy desert. **Journal Gynecological Research Obstetrics**, v.26, p.385-394. 2011.
- LIMA, D. V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R.; CURI, N.; HIGA, N. T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiarião e da soja em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.96- 104, 2000.
- MAAS, E.V. Salinity and citriculture. **Tree Physiology**, v.12, p.195-216. 1993.
- MAIA, J. M.; MACEDO, C. E. C. DE; VOIGT, E. L.; FREITAS, J. B. S.; SILVEIRA, J. A. G. Antioxidative enzymatic protection in leaves of two contrasting cowpea cultivars under salinity. **Biologia Plantarum**, v.54, p.159-163, 2010.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS. 1997.
- MANSOUR, M. M. F. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants o salinity stress. **Biol. Plant**, v. 43, p. 491-500, 2000.
- MANSOUR, M. M. F.; ALI, ESMAT, F. Evaluation of proline functions in saline conditions. **Phytochemistry**, v. 140, p .52 – 68, 2017.
- MANSOUR, M. M. F.; ALI, E. F. Glycinebetaine in saline conditions: an assessment of the current state of knowledge. **Acta Physiology Plant**, p.39-56, 2017.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MEDEIROS, J. F. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo ‘GAT’ nos estados do RN, PB e CE. Campina Grande, **Dissertação** (Mestrado), 1992. 137p. Universidade Federal da Paraíba.
- MGUIS, K.; ALBOUCHI, A.; KHADHRI, A.; ABASSI, M.; YAKOUBI-TEJ, M.; MAHJOUR, A.; OUERGHI, Z.; BRAHIM, N. B. Adjustments in leaf water relations of wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth. and wheat (*Triticum durum* Desf.) plants 37 grown in a salinity gradient. **Australian Journal of Crop Science**, v.6, n.5, p.768-776, 2012.
- MILLER, G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment** v.33, n. 4, p. 453–467, 2010.
- MISRA, N.; GUPTA, AK. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. **Plant Science**, v.169, p. 331 – 339, 2005.
- MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. 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.
- MOREIRA, L. M.; MOURA, L. F.; ALMEIDA, F. B. B.; PONTES FILHO, R. A.; GONDIM, F. A. Efeitos de diferentes concentrações de resíduo industrial de suplemento mineral para animal sobre o crescimento de plantas de girassol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.14, nº. 1, p. 3-8, 2019.
- MOYA, J.; GOMEZ-CADENAS, A.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Chloride absorption in salt-sensitive Carrizo citrange and salt-tolerant Cleopatra mandarin citrus rootstocks is linked to water use. **Journal of Experimental Botany**, v.54, p. 825. 2003
- MUNNS R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *The Annual Review of Plant Biology*, 59:651–81, 2008.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell Environ**, v. 25, p. 239-250, 2002.
- NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Roles of Osmolytes in Plant Adaptation to Drought and Salinity. **Springer**, India, v.1, p. 37-68, 2016.

- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v.22, n.5, p.867-880, 1981.
- NASCIMENTO, A. K. S.; FERNANDES, P. D.; SUASSUNA, J. S.; OLIVEIRA, A. C. M.; SOUSA, M. S. S.; MELO, C. A. C. Tolerância de genótipos de citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 1, p. 78 14- 22, 2012.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; 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, p.758- 765, 2009.
- NEVES, M. F. (Org.). **O retrato da Citricultura brasileira**. Ribeirão Preto: Markestrat, 2010. 138 p.
- OLIVEIRA, R. P., SOARES FILHO, W. S., MACHADO, M. A., FERREIRA, E. A., SCIVITTARO, W. B., GESTEIRA, A. S. Melhoramento genético de plantas cítricas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.35, n.281, p.22-29, jul./ago. 2014.
- PANDA, A.; RANGANI, J.; PARIDA, A. K. Cross talk between ROS homeostasis and antioxidative machinery contributes to salt tolerance of the xero-halophyte *Haloxylon salicornicum*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 166, 103799, 2019.
- PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S.M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science Pollution Research**, v. 22, p. 4056 - 4075, 2015.
- PASSOS, O. S.; PEIXOTO, L. S.; SANTOS, L. C.; CALDAS, R. C.; SOARES FILHO, W. S. Caracterização de híbridos de *Poncirus trifoliata* e de outros porta-enxertos de citros no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.410-413, 2006.
- PÉREZ-PÉREZ, J. G., SYVERTSEN, J. P., BOTÍA, P., GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized Carrizo citrange seedlings during drought stress and recovery. **Annals Botany**, v.100, p.335–345, 2007.
- PEREZ-PEREZ, J.G., GARCIA-SANCHEZ, F., ROBLES, J.M., BOTÍA, P. ‘Star Ruby’ grapefruit and ‘Clemenules’ mandarin trees show different physiological and agronomic responses to irrigation with saline water. **Irrigation Science**, v. 33, p. 191–204. 2015.
- PINZÓN-TORRES, J. A.; SCHIAVINATO, M. A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, v. 35, n. 3, p. 395-404, 2008
- PONTE, L. F. A.; FERREIRA, O. S.; ALVES, F. A. L.; FERREIRA-SILVA, S. L.; PEREIRA, V. L. A.; SILVEIRA, J. A. G. Variabilidade de indicadores fisiológicos de resistência à salinidade entre genótipos de cajueiro-anão e gigante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.1- 8, 2011.
- PRAXEDES, S.C.; DAMATTA, F.M.; LACERDA, C.F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Salt stress tolerance in cowpea is poorly related to the ability to cope with oxidative stress. **Acta Botanica Croatica**, v. 73, n. 1, 2014.

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

PRIOR, L. D.; GRIEVE, A. M.; BEVINGTON, K. B.; SLAVICH, P. G. Long-term effects of saline irrigation water on Valencia orange trees: relationships between growth and yield, and salt levels in soil and leaves. **Journal Agricultural Research**, v.58, p.349–358, 2007.

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

RAMAJULU, S.; SUDKAKAR, C. Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. **Journal Plant Physiology**, v. 157, p. 81 – 85, 2001.

RUIZ, M.; QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÂNTARA, B.; ALEZA, P.; MORILLON, R.; NAVARRO, L.; PRIMO-MILLO, E.; MARTÍNEZ-CUENCA, M. R. Effects of salinity on diploid (2x) and doubled diploid (4x) Citrus macrophylla genotypes. **Scientia Horticulturae**, v.207, p.33-40, 2016.

SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, J. L.; NOVAIS, M. C.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; LOPES, K. P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. **Revista Ceres**. v. 60, p. 388-396, 2013.

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; FIGUEIREDO, L. C.; MELO, A. S.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L. Biochemical components and dry matter of lemon and mandarin hybrids under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.21, n.4, p.249-253, 2017.

SAH, S. K.; REDDY, K. R.; LI, J. Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. **Front. Plant Science**, v.7, p. 571, 2016.

SALEH, B.; ALLARIO, T.; DAMBIER, D.; OLLITRAULT, P.; MORILLON, R. Tetraploid citrus rootstocks are more tolerant to salt stress than diploid. **Comptes. Rendus Biologies**, v. 331, p. 703–710, 2008

SARKAR, P. K.; GHOSH, K. P.; PRAMANIK, K.; MITRA, S.; SOREN, T.; PANDEY, S.; MONDAL, M. H.; MAITI, T. K. A halo tolerant enterobacter sp. displaying ACC deaminase activity promotes rice seedling growth under salt stress. **Research Microbiology**, v.169, p. 20-32, 2018.

SHAFIEIZAGAR, A.; AWANG, Y.; AJAMGARD, F.; JURAIMI, A. S.; OTHMAN, R.; AHMADI, A. K. Assessing Five Citrus Rootstocks for NaCl Salinity Tolerance Using Mineral Concentrations, Proline and Relative Water Contents as Indicators. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 14, n. 1, p. 20-26, 2015.

SHIGEOKA, S.; ISHIKAWA, T.; TAMOI, M.; MIYAGAWA, Y.; TAKEDA, T.; YABUTA, Y.; YOSHIMURA, Y. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of Experimental Botany**. V. 53, p. 1305-1319, 2002.

SILVA JÚNIOR, E. G.; SILVA, A. F.; LIMA, S. J.; SILVA, M. F. C.; MAIA, J. M. Vegetative development and content of calcium, potassium, and sodium in watermelon under salinity stress on organic substrates. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1149-1157, 2017.

SILVA, A. L.; BRITO, E. B. M.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C., SOARES FILHO, W. D. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, 2014.

SILVA, A. O. D.; KLAR, A. E.; SILVA, Ê. F. D. F.; TANAKA, A. A.; SILVA JUNIOR, J. F. 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. D.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S. D.; 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.

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

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software, Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, F. V.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; TRAVASSOS, K. D.; SUASSUNA, J. F.; CARDOSO, J. A. F. Produção de citros irrigados com água moderadamente salina. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 396 - 407, 2012a.

SILVA, J. T. A. D.; SILVA, I. P. D.; SIMÃO, F. R. Produção e nutrição de limoeiro 'Tahiti' em função da adubação com nitrogênio e potássio em cinco safras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.4, p.357-363, 2016

SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SALES, G. N. B.; ALMEIDA, J. F.; SOARES FILHO, W. S. Growth and fluorescence of 'tahiti' acid lime/rootstock on sunki mandarin hybrids under salinity. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 4, p. 1131-1142, 2019

SIMPSON, C. R.; NELSON, S. D.; MELGAR, J. C.; JIFON, J.; SCHUSTER, G.; VOLDER, A. Effects of salinity on physiological parameters of grafted and ungrafted citrus trees. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 483 – 489, 2015.

SLAMA, I.; ABDELLELY, C.; BOUCHEREAU, A.; FLOWERS, T.; SAVOURE, A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. **Annals Botany**, v. 115, p. 433-447, 2015.

SOARES, L. A. A.; BRITO, M. E. B., FERNANDES, P. D., LIMA, G. S.; SOARES FILHO, W. S.; OLIVEIRA FILHO, E. S. Crescimento de combinações copa-porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.211-217, 2015.

- SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; GRAF, C. C. D.; ZANETTI, M.; ZOCCHI, S. S. Irrigação de porta-enxertos cítricos com água salina. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.3, p.428-440, 2006.
- SOBHANIAN, H.; AGHAEI, K. & KOMATSU, S. Changes in the plant proteome resulting from salt stress: toward the creation of salt-tolerant crops? **Journal of proteomics**, v. 74, n. 8, p. 1323-1337, 2011.
- SOUSA, C. A. E.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; UYEDA, A. C. 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, G. G.; LACERDA, C. F.; CAVALCANTE, L. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; BEZERRA, M. E. J.; SILVA, G. L. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1143-1151, 2010a.
- SOUSA, G. G.; LACERDA, C. F.; SILVA, G. L. FREITAS, C. A. S.; CAVALCANTE, L. F.; SOUSA, C. H. C. Acumulação de biomassa, teores e extração de micronutrientes em plantas de milho irrigadas com águas salinas. **Agropecuária Técnica**, v.31, p.1-10, 2010b.
- SOUZA, R. S.; CHAVES, L. H. G. Germinação e desenvolvimento inicial das plântulas de chia (*Salvia hispanica* L) irrigadas com água salina. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. 31, 2016.
- STOREY, R.; WALKER, R. R. Citrus and salinity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.8, n. 1-4, p. 39-81, 1999.
- SUASSUNA, J. F.; CARDOSO, J. A. F. Produção de citros irrigados com água moderadamente salina. **Irriga**, Edição Especial, p. 396 - 407, 2012.
- SYKES, S. R. Chloride and sodium excluding capacities of citrus rootstock germplasm introduced to Australia from the People's Republic of China. **Scientia Horticulturae**, v. 128, p. 443-449, 2011.
- SYVERTSENA, J. P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 128–137, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E., MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Art Med, 2017. 132p.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.
- YAHMED, J. B.; NOVILLO, P.; GARCIA-LOR, A.; SALVADOR, A.; MIMOUN, M. B.; LURO, F.; TALON, M.; OLLITRAULT, P.; MORILLON, R. Salt tolerance traits revealed in mandarins (*Citrus reticulata* Blanco) are mainly related to root-to-shoot Cl⁻ translocation limitation and leaf detoxification processes. **Scientia Horticulturae**, v. 191, p. 90–100, 2015.
- YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of aminoacids with ninhydrin. **The Analyst**, v.80, p.209-213, 1955.

ZEKRI, M.; PARSONS, L. Salinity tolerance of citrus rootstocks: effects of salt on root and leaf mineral concentrations. **Plant and Soil**, v.147, p.171–181. 1992.

ZHAO, G. Q.; MA, B. L.; REN, C. Z. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. **Crop Science**, v.47, p.123-131, 2007.