

ALEJANDRO HURTADO SALAZAR

**TOLERÂNCIA AO ESTRESSE ABIÓTICO (SALINIDADE E SECA)
E INFLUÊNCIA DE PORTA-ENXERTOS NA QUALIDADE DE FRUTOS
EM PASSIFLORA SPP.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

H967t
2016 Hurtado Salazar, Alejandro, 1983-
Tolerância ao estresse abiótico (salinidade e seca) e influência de
porta-enxertos na qualidade de frutos em *Passiflora* spp. / Alejandro
Hurtado Salazar. - Viçosa, MG, 2016.
x, 100f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Cláudio Horst Bruckner.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Maracujá. 2. *Passiflora*. 3. Plantas - Crescimento. 4. Plantas -
Efeito da seca. 5. Plantas - Efeito do sal. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia. II. Título.

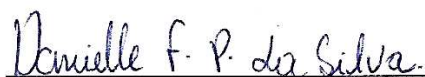
CDD 22. ed. 634.425

ALEJANDRO HURTADO SALAZAR

**TOLERÂNCIA AO ESTRESSE ABIÓTICO (SALINIDADE E SECA)
E INFLUÊNCIA DE PORTA-ENXERTOS NA QUALIDADE DE FRUTOS
EM PASSIFLORA SPP.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

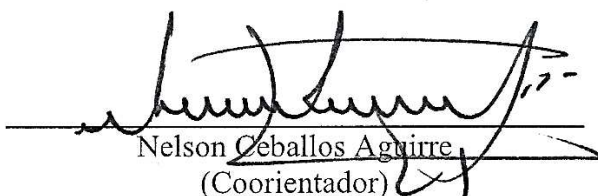
APROVADA: 19 de fevereiro de 2016.



Danielle Fabíola Pereira da Silva



Maira Christina Marques Fonseca



Nelson Ceballos Aguirre
(Coorientador)



Rodrigo Oliveira de Lima
(Coorientador)



Cláudio Horst Bruckner
(Orientador)

À minha esposa Dahiana,
ao meu filho Gabriel
e aos meus pais, Leonidas e Luz Marina,
grandes responsáveis por esta conquista.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela chance de aperfeiçoamento dos meus estudos.

Ao professor Claudio Horst Bruckner, pela orientação, pela confiança e pelo acolhimento, bem como pelo exemplo de competência e idoneidade para o desenvolvimento dos trabalhos.

Aos professores coorientadores Rodrigo Oliveira, Edgard Augusto Toledo Picoli e Nelson Ceballos Aguirre e às doutoras Danielle Fabiola Pereira Silva e Maira Christina Marques Fonseca, pelo apoio e pelas sugestões.

Aos integrantes da família Bruckner, José Osmar Costa e Silva, Rosana Gonçalves Pires Matias, Mariana Ribeiro, Marcos Morgado, Daniela Da Hora, Telma Miranda, Victor Marinho e Silvia Oliveira, pela amizade e ajuda.

À equipe de funcionários do Pomar do Fundão e do setor de Fruticultura da UFV, pela amizade, disponibilidade e ajuda.

Aos meus pais Jose Leonidas Hurtado e Luz Marina Salazar, que me conduziram por caminhos sábios, doaram-se inteiros e renunciaram os seus sonhos para que muitas vezes eu pudesse realizar os meus.

Aos meus irmãos Ruth Lyomar e Oscar Leonardo, pelo apoio e incentivo e por sempre acreditarem que sou capaz.

À minha esposa Dahiana Fernanda Perez Galindo e ao meu filho Gabriel, pelo apoio, pelo incentivo, pela compreensão, pelo amor e pelo depósito de credibilidade em meu futuro.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 1 – EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO-SALINO NO CRESCIMENTO E NA DISTRIBUIÇÃO DE MATÉRIA SECA EM QUATRO ESPÉCIES CULTIVADAS DE <i>Passiflora</i> L.....	19
RESUMO	19
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS.....	44
CAPÍTULO 2 – ACÚMULO DE PROLINA E ÍONS EM QUATRO ESPÉCIES DE <i>Passiflora</i> SOB ESTRESSE HÍDRICO-SALINO	48
RESUMO	48
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS	50
Determinação de prolina.....	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO 3 – ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO NO CONTROLE E REGULAÇÃO DO TEOR DE SAL EM <i>Passiflora tarminiana</i> Coppens & V.E. Barney	67
RESUMO	67
INTRODUÇÃO	67
MATERIAL E MÉTODOS	69
Material vegetal e tratamento salino.....	69
Microscopia eletrônica	70
RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS.....	79
CAPÍTULO 4 – EFFECT OF WILD ROOTSTOCK OF GENUS <i>Passiflora</i> L. ON THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS AND FRUIT QUALITY OF PASSIONFRUIT.....	83

ABSTRACT	83
INTRODUCTION.....	83
MATERIALS AND METHODS	84
RESULTS AND DISCUSSION	87
CONCLUSION	90
REFERENCES.....	93
CONCLUSÕES GERAIS.....	96
ANEXO A – SOLUÇÃO NUTRITIVA DE HOAGLAND	98
ANEXO B – FONTES COMERCIAIS PARA A PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	99
ANEXO C – FLORES E FRUTOS DOS ACESSOS DE PASSIFLORAS COMERCIAIS SELECIONADOS PARA AVALIAÇÃO AOS ESTRESSES ABIÓTICOS (SALINIDADE E SECA).....	100

RESUMO

HURTADO SALAZAR, Alejandro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Tolerância ao estresse abiótico (salinidade e seca) e influência de porta-enxertos na qualidade de frutos em *Passiflora* spp.** Orientador: Cláudio Horst Bruckner. Coorientadores: Rodrigo Oliveira de Lima, Edgard Augusto de Toledo Picoli e Nelson Ceballos Aguirre.

Atualmente, as pesquisas desenvolvidas sobre as passifloráceas buscam entender os efeitos da salinidade no desenvolvimento nas diferentes fases fenológicas iniciais dessa cultura; entretanto, são ainda incipientes dentro de um programa de melhoramento para condições de estresse abiótico com ênfase em salinidade e seca. Assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar o (1) efeito dos estresses hídrico e salino sobre variáveis indicadoras de crescimento em quatro espécies de *Passiflora* L.; (2) a resposta diferencial sobre o acúmulo de prolina e sobre os teores nutricionais dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio; (3) estudar a capacidade de *P. tarminiana* prosperar em altos níveis de salinidade para fazer a excreção de sódio; e encontrar características morfológicas e estruturais que podem ser relacionadas com a resistência dessa planta; e (4) determinar o efeito das espécies silvestres de *Passiflora gibertii* N.E. Brown e *Passiflora mucronata* Lam como porta-enxertos sobre o conteúdo de antioxidantes e qualidade de frutos de maracujá. Para isso foram desenvolvidos quatro experimentos. No experimento um, foi avaliado o efeito do estresse hídrico e salino no crescimento e na distribuição de matéria seca em quatro espécies cultivadas de *Passiflora*. O experimento foi instalado em delineamento de parcelas subsubdivididas, onde a parcela foi o percentual de saturação de água em relação à exigência da cultura (100%, 66% e 33%); a subparcela foi composta por níveis de saturação de sal (CE: 1,5; 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹) e nela estavam os 11 acessos, em um arranjo completamente aleatório com cinco repetições, em que a unidade experimental foi uma planta. O padrão de distribuição de matéria seca de raiz e parte aérea foi modificado com o aumento do estresse hídrico e do salino. Determinaram-se como tolerantes à salinidade e seca os acessos m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), m13 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m15 (*P. tarminiana*); e medianamente tolerantes, os acessos m2 (*P. edulis* f. *edulis*), m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*). No segundo experimento avaliou-se o acúmulo de prolina e íons em quatro espécies de *Passiflora* em estresse hídrico e salino. As plantas foram cultivadas

em condições controladas por sete meses, irrigadas com solução nutritiva com adições de NaCl (100mM) até atingir as condutividades desejadas (1,5; 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹) e umidades do substrato constantes em 100%, 66% e 33%. A concentração de Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e prolina nas folhas foi determinada pelo método proposto por Bates et al. (1973). A acumulação de prolina aumentou nos tecidos estudados, em resposta ao estresse salino, e os níveis máximos de prolina foram observados em plantas tratadas com solução de NaCl com condutividade de 5,5 dS m⁻¹, o que resultou em níveis superiores de Na⁺ nas folhas, com algumas exceções. Isso confirmou a existência de associação entre o aumento da acumulação desse aminoácido e os níveis de íons nos tecidos. As relações Na⁺/Ca⁺⁺, Na⁺/Mg⁺⁺ e Na⁺/K⁺ foram aumentadas nas folhas, evidenciando-se como importantes variáveis no estudo nutricional das plantas em condições de salinidade. No terceiro experimento, foi avaliada a estratégia de fuga para o controle e a regulação do teor de sal em plantas de *Passiflora tarminiana*. A excreção de sal, os parâmetros de crescimento e as concentrações de íons excretados foram examinados em plantas cultivadas durante sete meses, submetidas a diversos níveis de salinidade ((NaCl) 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹ (25, 40 e 55 mM)) e de estresse hídrico moderado (33% e 100% umidade no substrato). Foram avaliados os cristais de sal e as estruturas da epiderme da folha. Foi usado o acesso comercial *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney c. O experimento foi instalado em delineamento de parcelas subdivididas, onde a parcela foi com o percentual de saturação de água de 33% e 100%, a subparcela foi composta pelos diferentes níveis de saturação de sal (CE: 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹), com cinco repetições, em que a unidade experimental foi uma planta. Foi observada excreção de sais na superfície adaxial em folhas de *P. tarminiana*, possivelmente por presença de glândulas especiais excretoras de sal. Além dessas possíveis glândulas, foram observadas outras estruturas da epiderme como papilas e tricomas, que provavelmente estão envolvidas na tolerância de *P. tarminiana* à salinidade. No quarto experimento foi avaliado o teor de antioxidante em frutos de maracujá-amarelo sobre diferentes porta-enxertos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e 25 repetições, com um total de 100 unidades experimentais, cada um dos quais foi representada por uma planta plantada em vaso de 30 L. Os tratamentos foram: *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora gibertii* NE Brown e *Passiflora mucronata* Lam. Como tratamento controle, foram usadas plantas a partir de sementes de *P. edulis* e enxertadas na mesma espécie. Foi avaliado o conteúdo de β-caroteno, ácido ascórbico, coloração do suco e casca do fruto. Com o uso de espécies silvestres como porta-enxertos, o conteúdo de β-caroteno

dos frutos de maracujá não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$). Indicando o potencial de porta-enxertos silvestres por seus efeitos positivos como a tolerância a diferentes estresses bióticos e abióticos, mantendo a qualidade comercial dos frutos de maracujá.

ABSTRACT

HURTADO SALAZAR, Alejandro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Tolerance to abiotic stress (salinity and drought) and influence of rootstocks on fruit quality of *Passiflora* spp.** Adviser: Cláudio Horst Bruckner. Co-adviser: Rodrigo Oliveira de Lima, Edgard Augusto de Toledo Picoli and Nelson Ceballos Aguirre.

Understanding the effects of salinity on different phenologic stages is an important research goal. It is an incipient research objective related to breeding for abiotic stress conditions with emphasis on salinity and drought. The first objective of this study were to assess the effect of water stress and the salt on indicator variables of growth in four species of *Passiflora* L. A second objective was study the differential response on the accumulation of proline and on the nutritional content of cationic macronutrients and their relations with the sodium. Third, there were studied the ability of *P. tarminiana* in in growing under high salinity levels, based in sodium excretion, and finding morphological and structural features that may be related to the resistance of the plant. Fourthly, the effect of wild species as rootstocks on the content of antioxidants and fruit quality of passionfruit. Four experiments were performed. In the first experiment, we evaluated the effect of water and salt stress on the growth and distribution of dry matter in four cultivated species of *Passiflora*. The experiment was outlined on a split plot design, where the plot was the water saturation percentage in relation to the requirement of culture (100%, 66% and 33%); the subplot consisted of salt saturation levels (EC: 1.5, 2.5, 4.0, and 5.5 dS m⁻¹) and it had 11 accesses in a completely random arrangement with five repetitions. The experimental unit was a plant. The pattern of distribution of dry matter of root and shoot was modified with the increase of water stress and the salt. It was determined as tolerant to salinity and drought the accesses m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), m13 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) and m15 (*P. tarminiana*); and moderately tolerant, the m2 accesses (*P. edulis* f. *edulis*), m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) and m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*). In the second experiment, we evaluated the accumulation of proline and ions in four species of *Passiflora* in water and salt stress. The plants were grown under controlled conditions for seven months, irrigated with nutrient solution added of NaCl (100 mM) to achieve the desired conductivity (1.5; 2.5; 4.0; and 5.5 dS m⁻¹) and moisture contained in the substrate in 100%, 66% and 33%. The concentration of Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺,

Mg⁺⁺ and proline in leaves was determined by the method proposed by Bates et al. (1973). The increased proline accumulation in the tissues studied, in response to salt stress and the maximum proline levels were observed in treated plants with NaCl solution with a conductivity of 5.5 dS m⁻¹, which resulted in higher levels of Na in the leaves, with some exceptions. The association between increased accumulation of this amino acid and ion levels in the tissues was found. The ratios Na⁺/Ca⁺⁺, Na⁺/Mg⁺⁺ and Na⁺/K⁺ increased in the leaves, showing whether as nutritional important variables in the study of plants in saline conditions. In the third experiment we evaluated the exit strategy for the control and regulation of salt content in plant of *Passiflora tarminiana*. The salt excretion, growth parameters and the concentrations of ions excreted were examined in plants cultivated for seven months, subject to various levels of salinity ((NaCl) 2.5, 4.0, and 5.5 dS m⁻¹ (25, 40 and 55 mM)) and moderate drought stress (33% moisture in the substrate). We evaluated the salt crystals and structures of the leaf epidermis. A commercial access *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney was studied. The experiment was outlined as a split plot design; the plot consisted of 33% and 100% water saturation, the subplot was composed by levels of salt saturation (EC: 2.5, 4.0, and 5, 5 dS m⁻¹), with five replications in the experimental unit was a plant. Salt excretion was observed in the adaxial side of the leaf of *P. tarminiana*, possibly due to the presence of special salt secretory glands. In addition to these possible glands we also observed other epidermal structures such as buds and trichomes, which are probably involved in *P. tarminiana* tolerance to salinity. In the fourth experiment, the antioxidant content were evaluated in yellow passion fruits over different rootstocks. The experimental design was completely randomized, with four treatments and 25 repetitions, each experimental unit represented by a plant in a 30 L pot. The treatments were: *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora gibertii* NE Brown and *Passiflora mucronata* Lam. As control treatments, *P. edulis* seedlings and grafted on the same species were evaluated. The contents of β -carotene, ascorbic acid, juice and peel content and fruit color were evaluated. The β -carotene content was not effected by the rootstocks ($p < 0.05$). The wild rootstock is potentially useful for its possible tolerance to different biotic and abiotic stresses, since keeping the marketable quality of the fruits of passion.

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Passiflora* é originário da América do Sul e apresenta em torno de 400 espécies, sendo que no Brasil são encontradas entre 111 e 150 espécies, principalmente no centro-norte do país, caracterizando-se por ser o maior centro de distribuição geográfica (LOPES et al., 2010). Atualmente Brasil, Equador, Colômbia e Peru são os principais produtores mundiais de maracujá-amarelo com aproximadamente 640.000 t/ano (OCAMPO et al., 2013), devido a grande diversidade de espécies do gênero, no qual o Brasil possui a maior e mais diversificada coleção de germoplasma (FERREIRA et al., 2005), seguido da Colômbia (BERNACCI et al., 2005). Atualmente, as passifloras são cultivadas em regiões tropicais de quatro continentes (LIMA; CUNHA, 2004).

No caso do maracujá roxo (*Passiflora edulis* f. *edulis*), no ano 2013 as exportações anuais na Colômbia ficaram em torno de 3.000 toneladas, em comparação com 523 toneladas de seis anos antes. Nesse período, as vendas externas se multiplicaram por cinco, ao passar de USD\$3.924 milhões em 2007 a USD\$20.455 milhões, entre janeiro e setembro de 2013 (AGRINET, 2015). Essa espécie apresentou crescimento de 417% nas vendas externas desde o ano 2007.

Para *P. maliformis* as produções estão em aumento na Colômbia a partir do ano 2007, com produções de 3.010 toneladas para satisfazer o mercado interno (AGRINET, 2015) com um grande potencial de expansão e exportação. *P. tarminiana* apresentou no ano 2013 uma produção de 25.000 toneladas em uma área de 1.500 hectares com um rendimento de 16,6 ton ha⁻¹ das quais 5,48 toneladas foram para exportação por um valor de USD\$15.201 (AGRINET, 2015). Houve um crescimento da demanda desses frutos tropicais nos mercados europeus, especialmente Alemanha e Bélgica.

Especialistas da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) analisaram os desafios climáticos e como resolvê-los, alegando que o aquecimento global terá implicações profundas tanto no modo quanto nos locais onde os alimentos são produzidos, além de levar à redução das propriedades nutricionais de determinadas culturas, gerando implicações em políticas de combate à fome, à pobreza e ao comércio global de alimentos (FAO, 2015). Esses mesmos especialistas observaram como as mudanças climáticas elevaram o desafio do rápido aumento da demanda global por produtos agrícolas, visando alimentação e combustível necessários ao crescimento da população e à elevação dos níveis de renda.

As alternativas para atender à crescente demanda global por alimentos são maior exploração das plantações de entressafra, gerando maior parte do tempo rendimentos mais baixos; aumento da produtividade; e expansão das áreas de cultivo, sendo este último uma alternativa viável em alguns países emergentes como Colômbia e Brasil.

Nesse contexto, uma fração significativa das colheitas agrícolas pode ser realizada em solos de áreas marginais, que têm estresses principalmente abióticos (FRITSCHÉ-NETO et al., 2011). Como a agricultura é altamente dependente das condições meteorológicas locais (FAO, 2015), espera-se, que ela seja muito sensível às mudanças climáticas nos próximos anos. Em particular, uma atmosfera mais quente e seca perto do Equador poderia reduzir a produção agrícola na região, enquanto o aquecimento moderado poderia, pelo menos em curto prazo, ser benéfico para as culturas em outras áreas (FAO, 2015).

Entre os estresses abióticos, a salinidade e a seca são os principais fatores que reduzem a produtividade das culturas no mundo (FAGIERA et al., 2011). Na América do Sul, a área acometida por esses estresses é de aproximadamente 85 milhões de hectares, considerando os solos salinos e salinos sódicos. Solos suscetíveis a estresses abióticos na Colômbia cobrem uma área de 86.592 km², em que 78.277 km² estão em áreas com problemas de seca, o que representa 90,39% do total desses solos predipostos ao estresse abiótico. As áreas suscetíveis a esses tipos de estresses abrangem grande parte da região do Caribe, os vales do Cauca, o rio Magdalena e as terras altas do Orinoco, onde atualmente planeja-se expandir a fronteira agrícola da Colômbia (ZUÑIGA et al., 2012).

No caso do Brasil, além da Região Nordeste, onde há problemas com esses estresses abióticos, o Rio Grande do Sul e o Pantanal mato-grossense também apresentam problemas relativos a estresses abióticos (RIBEIRO et al., 2009). Segundo esses autores, considerando o mapa de solos do Brasil, os solos comprometidos por salinidade e seca ocupam cerca de 160.000 km² ou 2% do território brasileiro. A maior parte dessa área está nos Estados da Bahia, com 44%, e do Ceará, com 26% do total.

De acordo com a FAO (2015), há mais de 30 anos tem sido geralmente aceito que as tendências de aumento da temperatura e a mudança dos padrões de chuva nas áreas agrícolas têm implicações importantes, muitas vezes negativas para a produtividade das terras agrícolas, o que aumenta a pressão para a produção global de alimentos nas próximas décadas. Além dessas alterações, uma série de outras alterações relacionadas na biosfera pode melhorar ou piorar esses impactos. De fato, tem sido sugerido que a gravidade das mudanças climáticas e a intensidade, duração e frequência de eventos

extremos serão limitantes para a produção de alimentos, especialmente os eventos de seca, fator que mais limita o crescimento e desenvolvimento de plantas.

Nos países em desenvolvimento, a seca pode prejudicar comunidades. O impacto dela é muitas vezes duradouro, especialmente se os pequenos produtores têm de vender equipamentos agrícolas a fim de sobreviver à perda de renda de culturas. Já nos desenvolvidos, a seca em uma grande região produtora de alimentos pode encarecer o preço dos alimentos em todo o mundo (CAMPBELL, 2013).

Eventos de seca são esperados em maior frequência e severidade no futuro, como resultado das mudanças climáticas, principalmente como consequência de reduções na precipitação regional, mas também por causa do aumento da evaporação impulsionado pelo aquecimento global. Avaliações anteriores de mudanças históricas em seca no final do século XX e início do XXI indicaram que essas podem já estar acontecendo globalmente. Sheffield et al. (2012) obtiveram uma maneira diferente de interpretar o papel do aquecimento global nas mudanças do ciclo de água no planeta e os seus extremos, como secas, e como podem ser quantificados os impactos das mudanças climáticas futuras. Segundo os estudos de Briffa et al. (2009) e Cai et al. (2009), temperaturas mais altas do que o normal foram a causa do aumento da seca nos últimos anos pelo aumento da evaporação. No entanto, há evidências de que o impacto direto das altas temperaturas pode realmente ser má interpretação da realimentação entre a Terra e a atmosfera. É mais provável que a evaporação diminua durante a seca em razão da precipitação reduzida, e que a seca eleve a temperatura, porque há menos arrefecimento por evaporação e, conseqüentemente, um fluxo de calor é mais elevado do que o fluxo de ar, que por consequência é aquecido. As temperaturas anômalas, em curto prazo, podem ser uma resposta à seca, em vez de um fator forçante à seca. Uma preocupação é se a influência percebida de aquecimento sobre a seca quantificada por métodos empíricos é extrapolada para o futuro, e os impactos previstos das alterações climáticas são susceptíveis de serem superestimados. Portanto, é essencial manter uma perspectiva sobre a magnitude dos impactos do aquecimento global com base na compreensão física das relações complexas entre o clima e a variabilidade hidrológica.

Segundo Campbell (2013), nas próximas décadas, esperam-se mudanças climáticas que provoquem secas mais frequentes e mais graves. Os governos precisam investir em pesquisa para tornar a agricultura mais resiliente. Tais estratégias podem incluir variedades de culturas adaptadas à seca, melhoria das técnicas de manejo do solo ou maior uso de irrigação.

Plantas em estresse abiótico (seca e salinidade) apresentam nanismo, reduzindo o surgimento e a expansão de novas folhas que são geralmente aceitas como mecanismos adaptativos de plantas expostas a estresses abióticos (VAARIO et al., 2011). Para maracujá-amarelo, de acordo com Dias et al. (2012), quando as plantas são submetidas a condições de estresse salino na solução do solo evidenciam a inibição do crescimento em algumas situações, o que causa a senescência dela. As plantas de maracujá-amarelo são sensíveis tanto à salinidade do solo como à da água (CAVALCANTE et al., 2005). Dias et al. (2012) relataram que o maracujá é consideravelmente acometido pelos efeitos de salinidade, principalmente quando a condutividade elétrica da água é mais elevada do que 2.5dS m^{-1} . Assim, o desenvolvimento de metodologias simples, reprodutíveis e confiáveis para as pesquisas em passifloráceas, em condições de estresse abióticos, ainda são incipientes.

Em razão desses problemas, em algumas regiões da Colômbia e do Brasil há diminuição nos rendimentos por causa de problemas de estresse abióticos, passíveis para o estabelecimento da cultura. A necessidade de garantir altas produtividades e qualidade dos frutos depende de pesquisas sobre o comportamento de passifloras cultivadas em condições de estresse abióticos e suas características agrônômicas. De acordo com Wheeler (2015), é necessário investimento e desenvolvimento de estratégias de adaptação às alterações climáticas, como variedades melhoradas das culturas e da pecuária para aumentar a resiliência do clima em comunidades agrícolas. As respostas à seca podem envolver a criação de reservas de financiamento a partir do qual alívios financeiros podem ser extraídos por comunidades afetadas por eventos climáticos severos. Esses podem ser desenvolvidos por meio de parcerias público-privadas como na Índia, onde quase 10 milhões de agricultores estão abrangidos por um regime de seguro-safra com base no tempo (CAMPBELL, 2013). Assim, outras redes de segurança também são necessárias. Essas podem envolver dinheiro e transferências em espécie, sistemas de garantia de emprego e capacidade para entregar respostas humanitárias rápidas; por exemplo, o etíope Programa Rede de Segurança Produtiva, que abrange oito milhões de pessoas, em que foi criada infraestrutura para coleta de água (CAMPBELL, 2013).

Daryanto et al. (2015) coletaram dados da literatura entre 1980 e 2014, relataram o rendimento de monocultura de legumes em condições de sequeiro e analisaram esse conjunto de dados utilizando técnicas de meta-análise. Como resultados, evidenciaram que a redução de água foi positivamente relacionada com a queda de produtividade, mas a extensão do impacto variou de acordo com as espécies de leguminosas e o estado

fenológico em que a planta se encontrava quando a seca ocorreu. No geral, lentilha (*Lens culinaris*), amendoim (*Arachis hypogaea*) e guandu (*Cajanus cajan*) foram menos acometidos em termos de produção, quando induzidos à seca e comparados com leguminosas como feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e grama-verde (*Vigna radiata*). Em relação ao estágio fenológico, houve maior redução da produção quando as leguminosas foram submetidas à seca durante a sua fase reprodutiva em relação à sua fase vegetativa.

Os solos são definidos como salinos quando oferecem condições adversas para o crescimento da maioria das espécies por causa da presença de sais solúveis e, ou, sódio trocável na zona radicular (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2008). Os sais solúveis consistem, normalmente, de várias proporções dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} ; dos ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ; e, às vezes, de K^+ , CO_3^{2-} e NO_3^- . Os solos interferidos por esses sais são comuns nas regiões áridas e semiáridas em razão da baixa precipitação e alta evaporação (FAGIERA et al., 2010). A salinidade pode influenciar a absorção de Ca^{2+} e K^+ , dependendo da espécie e do nível de salinidade (NIU et al., 2010).

Hunsche et al. (2010) avaliaram a translocação de íons que conduzem a um padrão distinto de distribuição de Na^{2+} , K^+ e açúcares solúveis em genótipos de tomate cultivados em ambientes salinos. Os autores concluíram que em condições de salinidade existem mudanças induzidas nos níveis de potássio nas folhas e na concentração de glicose nas raízes, que podem ser usadas como características adicionais para discriminar genótipos quanto à sua sensibilidade ao sal. Esses parâmetros podem ser úteis quando as comparações na produção de frutos ou o desempenho vegetativo não fornecem alguma indicação conclusiva, por exemplo, por causa dos hábitos de crescimento distintos de cultivares selecionados para a produtividade de frutas e genótipos nativos que têm um desenvolvimento vegetativo mais efetivo. No entanto, estudos adicionais considerando as relações dinâmicas fonte-dreno em razão da carga de frutos precisam ser considerados. Mori et al. (2008) testaram a hipótese de que a adubação nitrogenada pode ajudar a aumentar a tolerância do tomateiro à salinidade; entretanto, tal hipótese não foi confirmada, e as alterações induzidas pela salinidade no crescimento da planta, no rendimento e na qualidade estabilizaram-se em altos níveis de condutividade elétrica da água. Os mesmos autores relataram que as reduções de produtividade foram por causa, principalmente, do menor peso do fruto. Os valores de biomassa diminuíram à medida que os níveis de salinidade aumentaram; e os teores de sólidos solúveis e carotenoides e a firmeza dos frutos foram melhorados com o aumento da salinidade.

Niu et al. (2010) avaliaram a tolerância à salinidade com base na sobrevivência, no crescimento e na produção de frutos de oito variedades de pimentas, encontrando que a tolerância está associada à variedade. Os mesmos autores relataram que as variedades tolerantes tinham menor acúmulo de Na^{2+} e, ou, Cl^- geralmente no tecido.

O estresse por salinidade em melão induz menor produção de fitomassa, menor concentração de clorofila nas folhas e menor produtividade (KAYA et al., 2007), o que corrobora com os resultados encontrados em pesquisas anteriores com morango (KAYA et al., 2001) e pepino (KAYA et al., 2003). Portanto, percebe-se que a salinidade pode afetar diversas culturas de diferentes formas como o crescimento, a produtividade e a qualidade dos frutos.

Em estudos relacionados aos efeitos da salinidade da água de irrigação (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,5; e 6,0 dS m^{-1}) em substratos (0,34 e 1,41 dm^{-3} de volume) sobre a germinação de sementes e variáveis de crescimento inicial do maracujazeiro-amarelo, Cavalcante et al. (2002) concluíram que a salinidade da água inibe a germinação das sementes, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, principalmente em substratos de menor volume. Esses autores verificaram que os efeitos da salinidade foram mais agressivos sobre o crescimento em altura, diâmetro do caule, área foliar e biomassa das plantas que na germinação das sementes, assim como a irrigação com águas de salinidade superior a 1,0 dS m^{-1} não possibilitaram a produção de mudas com qualidade para cultivo.

Na avaliação de efeitos da salinidade da água nos níveis de 0,75; 2,5; 4,5; e 6,0 dS m^{-1} sobre a germinação de sementes de maracujazeiro-amarelo, Meza et al. (2007) verificaram 79% de germinação nos tratamentos com água de mais baixa salinidade, contrariamente ao observado nos tratamentos com água de teor salino mais elevado, que apresentaram a menor taxa de germinação (49%). Portanto, percebeu-se que as pesquisas desenvolvidas atualmente com a cultura do maracujazeiro-amarelo buscam entender os efeitos da salinidade nas diferentes fases fenológicas iniciais da cultura. No entanto, essas pesquisas são incipientes dentro de programas de melhoramento para condições de estresse abiótico com ênfase em salinidade e seca. Ainda não são explorados mecanismos de detecção rápidos e de baixo custo de passifloráceas tolerantes a estresse salino e hídrico.

O estresse salino, segundo Silveira et al. (2010), está relacionado com dois tipos de efeitos: o osmótico e o iônico. Os primeiros efeitos causados pelo excesso de sais são de natureza biofísica, se destacando os efeitos osmóticos, restringindo o transporte de água. Em seguida, rapidamente é desencadeada uma sequência de reações moduladas por

hormônios, que levam restrição à abertura estomática e assimilação fotossintética do CO₂. Esses efeitos predominam na primeira fase do estresse salino (“fase osmótica”), que ocorre nos estádios iniciais da exposição das plantas à salinidade ou na presença de níveis moderados de sais em contato com o sistema radicular. Os mesmos autores relataram que na “fase osmótica”, na realidade, tratava-se de uma resposta fisiológica, ou seja, de aclimação ao estresse do que em resposta aos danos sofridos pelo estresse salino propriamente dito. Isso é, muitas vezes, o que comumente se diagnostica como sintomas de efeitos negativos do estresse salino, que são, na realidade, respostas fisiológicas normais das plantas para se superarem ou se aclimatarem àquela situação adversa.

À medida que os íons salinos se acumulam em excesso no citosol das células surgirão problemas de toxicidade (fase tóxica ou iônica) nas plantas expostas à salinidade (SILVEIRA et al., 2010). Entretanto, as espécies diferem largamente na resistência protoplasmática ou na resistência do tecido ao estresse salino. Essa capacidade de resistir está ligada principalmente com a intensidade de compartimentalização dos íons salinos dentro dos vacúolos e com a manutenção de um balanço K⁺/Na²⁺ favorável no citosol. Atualmente, esse tem sido um dos alvos para a seleção de cultivares resistentes de algumas culturas.

Para Freire et al. (2003), os sais em excesso no solo, na água de irrigação ou na solução nutritiva prejudicam o comportamento germinativo, vegetativo e produtivo das plantas pela ação dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos na solução do solo. Quanto maior a concentração de sais no solo, maior será o esforço que a planta terá que fazer para absorver a água. Assim, sob essa condição, à medida que a planta cresce aumenta a concentração de sais na região da zona radicular das culturas.

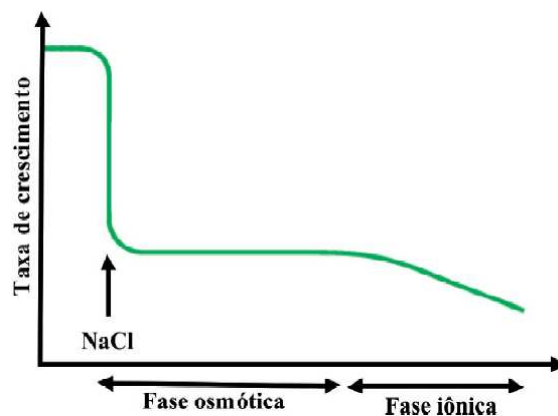
Segundo Cavalcante et al. (2005), a salinidade na água e no solo provoca alterações no potencial osmótico entre as plantas e o meio salino. Além disso, causa toxicidade iônica e desequilíbrio na absorção de nutrientes, consequentemente reduzindo o consumo hídrico com relevâncias negativas para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

De acordo com Silveira et al. (2010), na fase de toxicidade iônica da salinidade ocorrem efeitos diretos e indiretos causados pelo excesso de íons no tecido ou mesmo no meio externo radicular. Esses mecanismos ainda não são bem compreendidos, mas acredita-se que concentrações acima de certo limiar desencadeiam reações bioquímicas em cadeia relacionadas à percepção e expressão de genes ligados ao fator modulador do

estresse (presença de íons, potencial osmótico, mudanças na pressão de turgescência). Em seguida, ocorre a resposta da planta, envolvendo expressão gênica, síntese de proteínas e balanço hormonal. Essas respostas desencadeiam diversos processos fisiológicos importantes.

Na Figura 1, apresenta-se um esquema hipotético evidenciando a restrição de crescimento imposta pela exposição ao estresse salino: uma resposta rápida e de alta intensidade é causada pelo aumento da pressão osmótica no meio externo (fase osmótica), o que reduz intensamente o crescimento. Uma resposta posterior em razão do acúmulo excessivo de íons tóxicos nos tecidos (fase iônica), em geral, leva ao surgimento de sintomas visuais de toxicidade nas folhas, geralmente clorose seguida por surgimento de áreas necróticas. Essas respostas variam intensamente entre genótipos, nível de salinidade, solo e fatores ambientais.

Os processos mais diretamente associados com a toxicidade iônica são a senescência e a morte celular programada, ambas induzidas por salinidade. Esses dois processos são complexos e interligados e são respostas comuns das plantas a estresses bióticos, semelhante aos processos desencadeados por ataque por patógenos. Acredita-se que esses dois processos sejam os responsáveis pela sintomatologia visual da toxicidade iônica como clorose foliar (degradação de clorofila) e surgimento de pontos necróticos no limbo foliar (sintomas de apoptose ou morte celular) (SILVEIRA et al., 2010).



Fonte: Editado de Silveira et al. (2010).

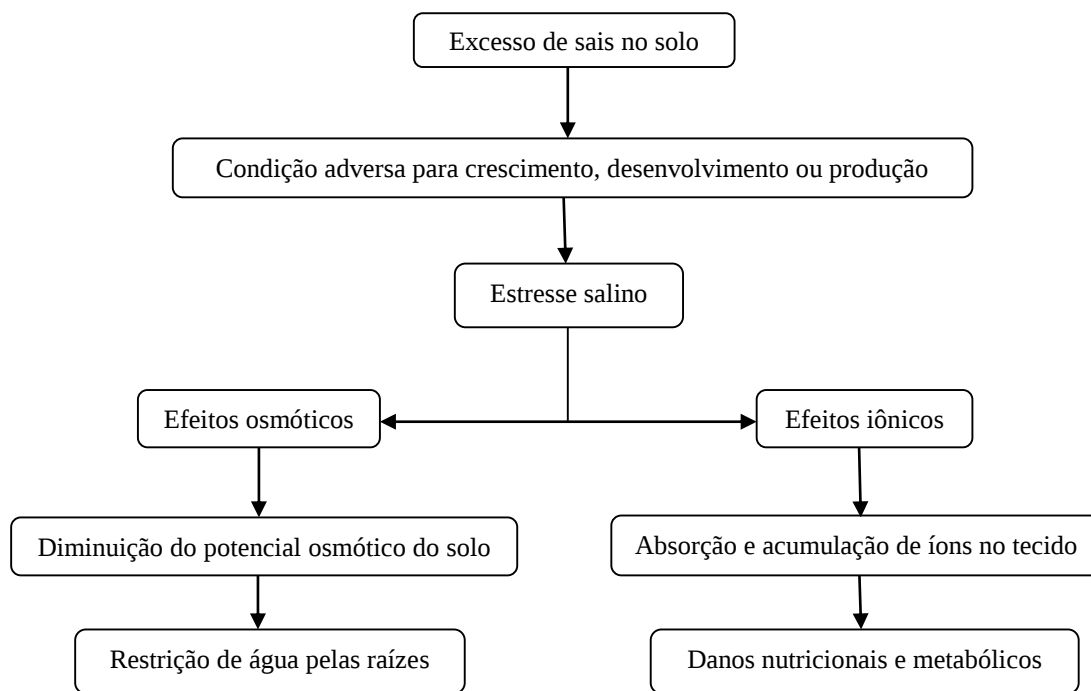
Figura 1 – Esquema hipotético das fases correspondentes aos efeitos osmóticos e iônicos do estresse salino na restrição do crescimento de uma planta.

Entretanto, o excesso de íons no citosol, especialmente o Na^+ , causa grandes alterações na atividade de enzimas e na estrutura funcional de proteínas, causando efeitos diretos de toxicidade. Nessas condições, a salinidade pode induzir problemas sérios no transporte de água e de nutrientes minerais, acarretando “seca por salinidade” e desbalanço nutricional, especialmente na alta relação $\text{Na}^{2+}/\text{K}^+$ no citosol (SILVEIRA et al., 2010). Esses autores afirmaram que esses efeitos manifestam-se somente na presença de níveis elevados de salinidade (estresse agudo) nas espécies sensíveis. Entretanto, muitas vezes, os sintomas de severidade do estresse não são positivamente associados com as concentrações dos íons salinos nos tecidos das plantas, mas sim com as concentrações no meio radicular externo.

Os principais efeitos do estresse salino nas plantas estão ilustrados na Figura 2. Silveira et al. (2010) relataram como a aclimação à salinidade, que pode ocorrer na presença de níveis moderados de sais ou nos genótipos mais resistentes, constitui um processo complexo que envolve o surgimento de uma nova homeostase metabólica envolvendo alterações hormonais no metabolismo celular e na expressão gênica. A consequência mensurável causada pelo excesso de sais na primeira fase do estresse é a rápida e intensa redução na taxa de crescimento, principalmente da área foliar. Por muito tempo, e ainda presente nos dias de hoje, a explicação geral para essa resposta fisiológica é dada pela modulação no crescimento associada com a diminuição na expansão da parede celular (redução na pressão de turgescência).

Já em nível bioquímico, ainda não existe na literatura um modelo teórico capaz de explicar a rápida modulação exercida pelo excesso de sais (no meio radicular) sobre o crescimento. É possível que essa resposta envolva uma cadeia de sinalização molecular (moduladores e proteínas), ativação e expressão de genes ligados às proteínas do ciclo celular (ciclinas), modulando a síntese proteica e a divisão celular, com participação de hormônios. Portanto, a modulação no crescimento, exercida pela salinidade moderada, deve-se a uma nova homeostase ditada por menores taxas de crescimento associadas, principalmente com menor fotossíntese (SILVEIRA et al., 2010). Nessa fase, as reações bioquímicas ocorrem normalmente, porém com menores velocidades.

Dessa maneira, afirma-se que os efeitos da salinidade são “silenciosos”, pois as plantas, nessa fase do estresse, frequentemente não exibem sintomas de toxicidade ou de injúrias, nem de desbalanço nutricional ou desidratação visível (SILVEIRA et al., 2010). Frequentemente, em condições de baixo nível de salinidade, torna-se difícil, nas condições de campo, diagnosticar os efeitos e sintomas da salinidade.



Fonte: Silveira et al. (2010).

Figura 2 – Esquema simplificado evidenciando os principais efeitos do excesso de sais causando os efeitos osmóticos e iônicos do estresse salino (Adaptado por Silveira et al., 2010).

Dentre dos estudos que analisam a produtividade e qualidade dos frutos, merece atenção o realizado por Magan et al. (2008), os quais avaliaram o efeito da salinidade sobre a produção de frutos, os componentes de produção e a qualidade de tomate cultivado em casas de vegetação em condições de clima do mediterrâneo. Com o aumento da salinidade, melhoraram vários aspectos da qualidade dos frutos, como: a proporção de frutas “extra” (alta qualidade visual), o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável. No entanto, a salinidade diminuiu o tamanho dos frutos, que é um dos principais determinantes de preço. Uma análise econômica indicou o valor do limiar condutividade elétrica (CE), que acima dele o valor da produção de frutas diminuiu linearmente com o aumento da salinidade que foi de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$, o mesmo que para a produtividade comercial. Na análise econômica, o valor do aumento da qualidade visual dos frutos foi compensado pela redução no rendimento e menor tamanho da fruta.

Entretanto, Zong et al. (2011) avaliaram o impacto da água de irrigação salina no rendimento e na qualidade de duas espécies de cucurbitáceas chinesas, melão (*Cucumis melo* cv. Huanghe) e melancia (*Citrullus lanatus* cv. megulaspemus) e

verificaram que a produção de melão diminuiu à medida que a salinidade da água aumentou, assim como as concentrações de ácido glutâmico aumentaram, embora a concentração da maioria dos aminoácidos não diferiram significativamente. De maneira semelhante, a produção de melancia diminuiu significativamente quando a salinidade da água subiu, embora o número de frutos, firmeza, proteína de frutas e os níveis de aminoácidos essenciais (EAA) tenham aumentado significativamente com a elevação da salinidade da água. O estresse salino em ambas as espécies de cucurbitáceas resultou em aumento do teor de sólidos solúveis totais (SST) e das concentrações de Na^{2+} , enquanto as concentrações de Ca^{++} e Cl^- não foram afetadas significativamente. Os resultados evidenciaram que, apesar dos rendimentos de melão e melancia serem contidos, a qualidade dos frutos em aminoácidos não foi influenciada pela salinidade da água de irrigação.

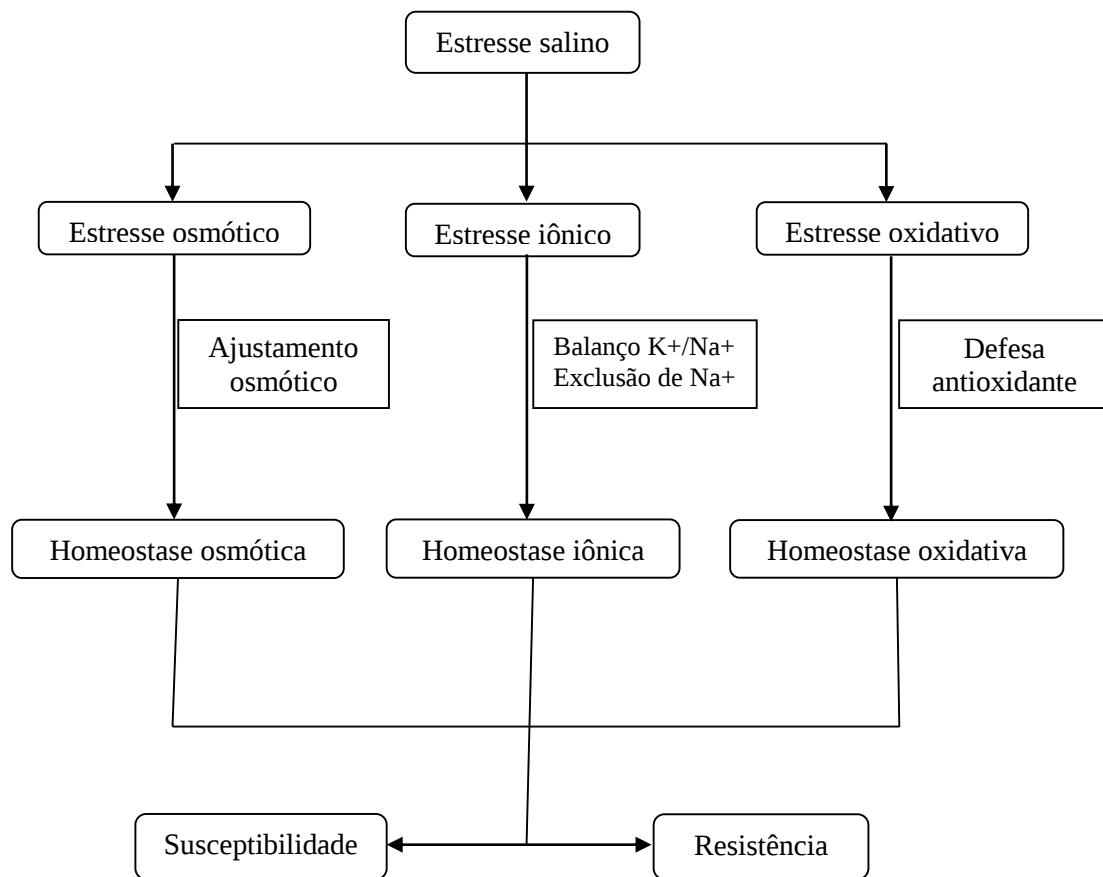
A toxidez por salinidade influencian positivamente algumas características físicas e químicas dos frutos em culturas de cucurbitáceas e solanáceas em detrimento da produtividade, provavelmente por efeito de concentração decorrente da menor absorção de água.

Outros pesquisadores estudaram a tolerância e a qualidade dos frutos na colheita. Conforme relatado por Huang et al. (2012), plantas de melão (*Cucumis melo* L.) cv. Huanghemi cultivadas em teste de campo aberto em 2007 e 2008 no noroeste da China tiveram a produção de frutos comerciais reduzida em razão de um menor peso médio de frutas, enquanto a pequena redução no número de frutos por planta não foi significativa. O índice de colheita (IC) se elevou significativamente com o aumento da salinidade da água de irrigação. A condutividade elétrica máxima do solo saturado, sem redução de rendimento, ou seja, o limiar de tolerância ao sal, foi $2,7\text{dS m}^{-1}$ para a produção comercial. Acima do limiar de tolerância ao sal, o rendimento total foi reduzido em 12,7% por aumento unitário da salinidade do solo. Os teores de sólidos solúveis totais (SST) aumentaram significativamente com a elevação da salinidade da água de irrigação, enquanto não foi observada diferença significativa na firmeza da polpa, apesar da tendência de aumento com a elevação da salinidade. À medida que a salinidade da água de irrigação aumentou, elevou-se o número de sementes por fruto significativamente, enquanto a unidade de peso diminuiu, mas não de forma significativa. O índice de formato do fruto subiu significativamente com o aumento da salinidade da água de irrigação; os frutos tenderam a se tornar esféricos.

Igualmente, a redução do peso médio do melão foi encontrada por Bustan et al. (2005). Tedeschi et al. (2011) constataram diminuição significativa do número de frutos e decréscimo do peso médio dos frutos de melão. Já Botía et al. (2005) observaram redução significativa do número de frutos por planta, mas não do peso médio dos frutos. Entretanto, esses estudos não são conflitantes, pois uma possível causa da variação em peso dos frutos e o número de frutos por planta são a intensidade e duração do estresse salino e o estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra, em combinação com a técnica de cultivo.

Um dos estresses secundários decorrentes da salinidade é o estresse oxidativo, especialmente nas folhas, decorrente do descontrole metabólico envolvendo processos importantes como a fotossíntese, a respiração, a fotorespiração e o metabolismo celular em geral. A respeito das plantas disporem de diversos mecanismos de proteção e reparação celular, o crescimento e a sobrevivência nessas condições irão depender de um complexo balanço envolvendo a base genética (genótipo) e o ambiente (SILVEIRA et al., 2010). Na Figura 3, adaptado de Silveira et al. (2010), ilustra-se de forma simplificada os principais mecanismos que poderão conferir resistência ao estresse salino, que induz pelo menos três tipos de estresses: estresse osmótico + estresse iônico + estresse oxidativo. Para cada tipo, as plantas desenvolvem mecanismos de reparação e proteção, que levarão aos novos estados de homeostase osmótica, homeostase iônica e homeostase oxidativa. Em razão da eficácia de cada mecanismo de tolerância e de novo ajustamento, poderão ocorrer respostas positivas de sobrevivência e crescimento contínuo (resistência) ou de parada de crescimento e senescência da planta (sensibilidade).

Alguns estudos indicaram que a salinidade pode melhorar o conteúdo antioxidante de frutos de tomateiro (SGHERRY et al., 2007). Borghesi et al. (2011), avaliando diferentes concentrações de sal na acumulação de carotenoides, antocianinas e cor da polpa, em genótipos de tomate com acúmulo de antocianinas (*Atroviolaceum* e *Sun Black*) e sem acúmulo de antocianinas (*Ailsa Craig*), encontraram que os tratamentos aumentaram as diferenças na cor das diferentes polpas. Esses resultados evidenciaram que o estresse salino pode promover aumentos de carotenoides no tomate em comparação ao tomate obtido por meio de engenharia genética. Além disso, essas alterações foram acompanhadas por diferenças de cor visualmente perceptíveis em polpa de tomate.



Fonte: Adaptado de Silveira et al. (2010).

Figura 3 – Esquema geral apresentando os principais processos envolvidos na resistência ao estresse salino.

Borghesi et al. (2011) confirmaram redução no rendimento da produção de tomate de 56% e 43%, respectivamente, quando tratado em meio salino em relação ao cultivado em condições sem salinidade. Além disso, esses autores observaram que os teores de sólidos solúveis totais foram mais elevados nas plantas submetidas ao tratamento com salinidade. Segundo esses pesquisadores, isso é interessante por várias razões, e uma delas é que o desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas é demorado e dispendioso, bem como é inaceitável para muitos consumidores, especialmente os da Europa.

Os problemas de toxicidade por salinidade frequentemente acompanham ou acentuam os efeitos da salinidade, podendo surgir mesmo quando essa for relativamente baixa. Os sintomas de toxicidade podem aparecer em qualquer cultura se as concentrações de sais no interior são suficientemente altas ou acima de níveis de tolerância da cultura

(DIAS; BLANCO, 2010). Os mesmos autores relataram que normalmente a toxicidade é provocada pelos íons cloreto, sódio e boro; entretanto, muitos outros oligoelementos (ferro, manganês, zinco, cobre, molibdenio, níquel, cobalto e vanádio) são tóxicos às plantas, mesmo em pequenas concentrações.

Os efeitos indiretos da toxidez por salinidade acontecem quando as altas concentrações de sódio ou outros cátions na solução interferem nas condições físicas do solo ou na disponibilidade de alguns elementos, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas, indiretamente (DIAS; BLANCO, 2010).

Quando no extrato de saturação do solo há teores apreciáveis de carbonato de sódio, o pH desse poderá alcançar valores elevados, havendo diminuição na disponibilidade de zinco, cobre, manganês, ferro e boro e podendo provocar deficiência nutricional nas plantas cultivadas nessas condições, principalmente se em pequenas quantidades (DIAS; BLANCO, 2010). Portanto, o crescimento da planta não é influenciado diretamente pelo excesso de carbonato de sódio, mas pelo seu efeito sobre o pH do solo.

Em geral, as alterações nas características de desenvolvimento das plantas em suas diferentes fases fenológicas e na qualidade dos frutos de maracujazeiro-amarelo produzidos em solo com problema de salinidade e seca possivelmente tendem a decrescer, pela ação da fase iônica das plantas expostas à salinidade e seca. Dessa forma, as alterações nas características dos frutos podem estar influenciadas pelas condições ambientais, pelas variedades ou pelos híbridos, pelo tipo de solo, pelo tipo de condução da cultura e pelo estágio fenológico em que ocorre o estresse; entretanto, mais estudos são necessários nesse sentido.

Atualmente, os programas de melhoramento do maracujazeiro estão voltados para obter materiais resistentes/tolerantes a doenças e pragas, além da produtividade e qualidade dos frutos. É relativamente pequeno o número de espécies silvestres de *Passiflora* avaliadas quanto à resistência a doenças. É pouca ou praticamente nula a avaliação que visa a tolerância aos estresses abióticos, bem como a obtenção e avaliação de híbridos interespecíficos de *Passiflora edulis* e espécies silvestres, que intentam o desenvolvimento de cultivares tolerantes a estresses abióticos. Assim, o objetivo deste estudo foi alcançar melhor compreensão dos mecanismos de tolerância ao NaCl em passifloráceas de interesse comercial, avaliando processos fisiológicos fundamentais em nível celular.

REFERÊNCIAS

- BERNACCI, L.C.; MELETTI, L.M.M.; SOARES-SCOTT, M.D.; PASSOS, I.R.; JUNQUEIRA, N.T.V. Espécies de maracujá: caracterização e conservação da biodiversidade. In: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V; BRAGA, M.F. (Eds.). **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. p. 559-586.
- BORGHESI, E.; GONZALES-MIRET, M.L.; ESCUDERO-GILETE, M.L.; MALORGIO, F.; HEREDIA, F.J.; MELENDEZ-MARTINEZ, A.J. Effects of Salinity Stress on Carotenoids, Anthocyanins, and Color of Diverse Tomato Genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 11676-11682, 2011.
- BOTÍA, P.; NAVARRO, J.M.; CERDÁ, A.; MARTÍNEZ, V. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. **European Journal of Agronomy**, v. 23, p. 243-253, 2005.
- BRIFFA, K.R.; VAN DER SCHRIER, G.; JONES, P.D. Wet and dry summers in Europe since 1750: evidence of increasing drought. **Int. J. Climatol.**, v. 29, p. 1894-1905, 2009.
- BUSTAN, A.; COHEN, S.; DE MALACH, Y.; ZIMMERMANN, P.; GOLAN, R.; SAGI, M.; PASTERNAK, D. Effects of timing and duration of brackish irrigation water on fruit yield and quality of late summer melons. **Agricultural Water Management**, v. 74, p. 123-134, 2005.
- CAI, W.; COWAN, T.; BRIGGS, P.; RAUPACH, M. Rising temperature depletes soil moisture and exacerbates severe drought conditions across southeast Australia. **Geophys. Res. Lett.**, v. 36, L21709, 2009.
- CAMPBELL, B. Legislating change. What should governments do to enhance sustainable agriculture and mitigate droughts? **Nature**, v. 501, S12-S14, 2013.
- CAVALCANTE, L.F.; DANTAS, T.A.G.; ANDRADE, R.; SÁ, J.R.; MACEDO, J.P.; GONDIM, S.C.; CALVACANTE, I.H.L. Resposta do maracujazeiro amarelo à salinidade da água sob diferentes formas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 314-317, 2005.
- CAVALCANTE, L.F.; SANTOS, J.B.; SANTOS, C.J.O.; FEITOSA FILHO, J.C.; LIMA, E.M.; CAVALCANTE, I.H.L. Germinação de sementes e crescimento inicial de maracujazeiros irrigados com água salina em diferentes volumes de substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 748-751, 2002.
- DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P.A. Global Synthesis of Drought Effects on Food Legume Production. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, e0127401, 2015. doi:10.1371/journal.pone.0127401.

DIAS, J.T.; SA, R.J.; SILVA, M.N.B.; DANTAS, S.A.G.; CAVALCANTE, L.F.; CAMPOS, V.B.; MIGUEL, A.A. Crescimento das plantas de maracujazeiro amarelo após o transplante. In: CAVALCANTE, L.F. (Ed.). **O maracujazeiro amarelo e a salinidade da água**. João Pessoa: Sal da Terra, 2012. p. 97-137.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 120-140.

FAGERIA, N.K.; SOARES FILHO, W.S.; GHEYI, H.R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes a salinidade. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, 2010, p. 205-218.

FAGIERA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. Melhoramento para tolerância a salinidade. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM, A. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresse abióticos**. Viconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 250.

FERREIRA, F.R. Recursos genéticos de Passiflora. In: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGA, M.F. (Eds.). **Maracujá**: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. p. 41-50.

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Climate change and food systems**: global assessments and implications for food security and trade. Rome, 2015.

FREIRE, M.B.G.S.; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ, V.H.; FREIRE, F.J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 227-232, 2003.

FRITSCHÉ-NETO, R.; DO VALE, J.; CAVATTE, P.C. Melhoramento para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos? In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM, A. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresse abióticos**. Viconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 250.

HUANG, C.H.; ZONG, L.; BUONANNO, M.; XUE, X.; WANG, T.; TEDESCHI, A. Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (*Cucumis melo* cv. Huanghemi) in northwest China. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 68-76, 2012.

HUNSCHE, M.; HOFFSTALL, H.; LANKES, C.; NOGA, G. Vegetative performance, leaf water potential, and partitioning of minerals and soluble sugars: Traits for ranking the NaCl-tolerance of tomato genotypes. **Plant Growth Regulation**, v. 62, p. 151-162, 2010.

KAYA, C.; HIGGS, D.; INCE, F.; MURILLO-AMADOR, B.; ÇAKIR, A.; SAKAR, E. Ameliorative effects of potassium phosphate on salt stressed pepper and cucumber. **Journal Plant Nutrition**, v. 26, p. 807-820, 2003.

KAYA, C.; KIRNAK, H.; HIGGS, D. An experiment to investigate the ameliorative effects of foliar potassium phosphate sprays on salt stressed strawberry plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 52, p. 995-1000, 2001.

KAYA, C.; TUNA, L.; ASHRAF, M.; ALTUNLU, H. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 397-403, 2007.

LIMA, A.A.; CUNHA, M.A.P. **Maracujá**: produção e qualidade na passicultura. Cruz das Almas: Embrapa, 2004.

LOPES, R.M.; SEVILHA, A.C.; FALEIRO, F.G.; BARBOSA DA SILVA, D.; FONTES, R.V.; AGOSTINI-COSTA, T. Estudo comparativo do perfil de ácidos graxos em semente de passifloras nativas do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 498-506, 2010.

MAGAN, J.J.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R.B.; LORENZO, P. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 9, n. 5, p. 1041-1055, 2008.

MEZA, N.; ARIZALETA, M.; BAUTISTA, D. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 24, n. 1, p. 69-80, 2007.

MORI, M.; AMATO, M.; Di MOLA, I.; CAPUTO, R.; QUAGLIETTA, F.C.; Di TOMMASO, T. Productive behaviour of “cherry”-type tomato irrigated with salinewater in relation to nitrogen fertilization. **European Journal Agronomy**, v. 29, p. 135-143, 2008.

NIU, G.; RODRIGUEZ, D.S.; CALL, E.; BOSLAND, P.W.; ULERY, A.; ACOSTA, A. Responses of eight chile peppers to saline water irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 126, p. 215-222, 2010.

OCAMPO, J.; URREA, R.; WYCKHUYS, K.; SALAZAR, M. Exploración de la variabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. **Acta Agronómica**, v. 62, n. 4, p. 352-360, 2013.

RIBEIRO, M.S.; BARROS, M.F.C.; SANTOS, M.B.G. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

SGHERRY, C.; NAVARI-IZZO, F.; PARDOSSI, A.; SORESSI, G.P.; IZZO, R. The influence of diluted seawater and ripening stage on the content of antioxidants in fruits of different tomato genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 2452-2458, 2007.

SHEFFIELD, J.; WOOD, E.F.; RODERICK, M.L. Little change in global drought over the past 60 years. **Nature**, v. 491, p. 435-439, 2012. doi:10.1038/nature11575.

SILVEIRA, J.A.G.; SILVA, S.L.F.; SILVA, E.N.; VIEGAS, R.A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 161-179.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA – SSSA. **Glossary of soil science terms**. Madison: American Society of Soil Science, 2008. p. 88.

TEDESCHI, A.; LAVINI, A.; RICCARDI, M.; PULVENTO, C.; D'ANDRIA, R. Melon crops (*Cucumis melo* L., cv. Tendral) grown in a Mediterranean environment under saline-sodic conditions: part I. Yield quality. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1329-1338, 2011.

VAARIO, L.M.; YRJALA, K.; ROUSI, M.; SIPILA, T.; PULKKINEN, P. Leaf number indicates salt tolerance of young seedling families of European aspen (*Populus tremula* L.) growing in different soils. **Silva Fennica**, v. 45, p. 19-33, 2011.

WHEELER, T. Climate change impacts on food systems and implications for climate-compatible food policies. In: ELBEHRI, A. (Ed.). **Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade**. Rome: FAO, 2015.

ZONG, L.; TEDESCHI, A.; XUE, X.; WANG, T.; MENENTI, M.; HUANG, C. Effect of different irrigation water salinities on some yield and quality components of two field-grown Cucurbit species. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 35, p. 297-307, 2011.

ZUÑIGA, O.E.; OSORIO, J.C.; CUERO, R.G.; PEÑA, J.A. Evaluación de Tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 64, n. 1, p. 5769-5779, 2012.

CAPÍTULO 1 – EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO-SALINO NO CRESCIMENTO E NA DISTRIBUIÇÃO DE MATÉRIA SECA EM QUATRO ESPÉCIES CULTIVADAS DE *Passiflora* L.

RESUMO

As mudanças climáticas são umas das maiores ameaças ambientais a serem enfrentadas no planeta, e alguns dos seus efeitos ou consequências são o aumento das ondas de calor, as inundações e as secas, levando diferentes tipos de plantas ao estresse abiótico, como a seca e salinidade. Em razão desses problemas, em algumas regiões da Colômbia e do Brasil, a diminuição nos rendimentos e nas áreas pode se tornar inapta para o estabelecimento da cultura. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do estresse hídrico e salino sobre variáveis indicadoras de crescimento em quatro espécies de *Passiflora* L. O experimento foi conduzido na unidade de produção hidropônica em Manizales, Caldas, na Colômbia, localizada a 2.130 m, com temperatura média externa de 18 °C, precipitação média anual de 2.000 mm e umidade relativa média de 78%. Foram estudados 11 acessos de quatro espécies de *Passiflora* de interesse comercial a partir de diferentes bancos de germoplasma de diversas instituições. O experimento foi instalado em delineamento de parcelas subsubdivididas, onde a parcela foi o percentual de saturação de água em relação à exigência da cultura (100%, 66% e 33%); a subparcela foi composta por níveis de saturação de sal (CE: 1,5; 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹) e nela estavam os 11 acessos, em um arranjo completamente aleatório com cinco repetições, em que a unidade experimental foi uma planta. O padrão de distribuição de matéria seca de raiz e parte aérea foi modificado com o aumento do estresse hídrico e o do salino. Determinaram-se como tolerantes à salinidade e seca os acessos m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), m13 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m15 (*P. tarminiana*); e medianamente tolerantes, os acessos m2 (*P. edulis* f. *edulis*), m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*).

Palavras chave: estresse abiótico, matéria seca, desenvolvimento vegetativo, *Passiflora* spp.

INTRODUÇÃO

Em 2013 registrou-se na Colômbia área de 5.789 ha de maracujá-azedo, em que 20,7% estavam em Huila; 17,3%, em Meta; 15,5%, no Valle del Cauca; 9,5%, em Antioquia; 9,1%, em Magdalena; 7,7%, em Cesar; 2,76%, no triângulo do café (Caldas, Quindío e Risaralda); e 17,44% foram representados por outros departamentos produtores (AGRONET, 2015), destacando-se a importância dessa espécie, que também está entre os 10 frutos de agronegócio promissores do país.

A água é essencial para plantas de maracujá (*P. edulis* Sims), pois promove bom crescimento, aumenta a produtividade, permite uma produção contínua e regular, com boa qualidade de frutos (SOUSA et al., 2005). A falta de umidade provoca queda de

folhas, flores e frutos. Especialmente no início do desenvolvimento dela, os frutos podem crescer enrugados prejudicando a qualidade da produção dessa cultura (CASIERRA-POSADA; ROA, 2006).

A produtividade e o desenvolvimento das plantas do gênero *Passiflora* são acometidos pela radiação solar, temperatura, hora do brilho solar e perda de umidade do solo. Fatores como estresse hídrico e condições extremas de salinidade ($\geq 2,5 \text{ dS m}^{-1}$) restringem o potencial produtivo do maracujá (DIAS et al., 2012). O fornecimento frequente e adequado de água permite floração e frutificação contínua, desde que as demais condições ambientais sejam favoráveis. Portanto, para obter bom rendimento e boa qualidade do fruto, a água deve ser em quantidade adequada. Sousa et al. (2006) verificaram que lâminas de irrigação acima de 75% da evaporação do tanque classe A resultam em média mais baixa de peso e rendimento de frutos.

Segundo Casierra-Posada e Roa (2006), o termo déficit hídrico define um conceito essencialmente ecofisiológico e relaciona-se com a limitação da água nos tecidos, o que pode ser considerado quase sinônimo de estresse hídrico, pois esse se refere a quaisquer limitações de operação ideal da planta, impostas pela pouca disponibilidade de água.

Dois tipos de estresses hídricos são considerados: o que é causado pela falta total de chuva e o provocado pela má distribuição dessa durante todo o período de crescimento das plantas (CASIERRA-POSADA; ROA 2006). Nos dois casos, a produção agrícola é seriamente afetada. As mudanças climáticas globais antropogênicas e os fenômenos climáticos como o "El Niño" (Fenômeno do Pacífico) são típicos representantes que induzem a distribuição anormal de chuvas em regiões agrícolas. Quando esse fenômeno ocorre nas regiões colombianas das Caraíbas e dos Andes, com exceção do Magdalena Médio, apresenta-se redução dos valores de precipitação no volume acumulado durante o período de permanência do fenômeno, de perto ou acima de 20%. Em regiões como Guajira, norte de Cesar, alguns municípios do Atlântico, Bolívar, Sucre, Córdoba, triângulo do café, Santander e Cundinamarca, todas na Colombia, apresentam reduções na precipitação bem acentuadas, com valores iguais ou superiores a 60% de redução da precipitação normal (PABÓN; TORRES, 2007). Algumas das regiões interferidas pela seca induzida pelo "El Niño" são áreas produtoras de passifloráceas, o que prejudica a produção, pois essas plantas não possuem tolerância suficiente às condições de estresse hídrico. Desse modo, pode se considerar que as flutuações na distribuição de precipitação,

causadas pelo aquecimento global, podem aumentar o risco de que as plantas sejam expostas à seca repetidamente.

Os solos salinos são definidos como aqueles adversamente modificados para o crescimento da maioria dessas espécies devido à presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos na zona radicular (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA – SSSA, 2008). Os solos afetados por esses sais são comuns nas regiões áridas e semiáridas por causa da baixa precipitação e alta evaporação (FAGIERA et al., 2010). A salinidade pode influenciar a absorção de Ca^{2+} e K^{+} , dependendo da espécie e do nível de salinidade (NIU et al., 2010). Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do estresse hídrico e salino sobre variáveis indicadoras de crescimento em quatro espécies cultivadas de Passiflora.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro e setembro de 2015, nas condições hidropônicas em casa de vegetação do setor Sistemas de Produção Hidropônica, do Departamento de Produção Agropecuária, da Universidade de Caldas. O município de Manizales situa-se no triângulo do café, ao centro do Estado de Caldas, em coordenadas 5°03'23.31''N e 75°29'41.56''O, altitude de 2.130 m, com temperatura média externa de 18 °C, precipitação média anual de 2.000 mm e humidade relativa média de 78%.

Foram avaliados 11 acessos elites de quatro espécies de Passiflora de interesse comercial (ANEXO C), previamente avaliados, caracterizados e selecionados em diversas regiões produtoras da Colômbia, com base no programa de melhoramento de Ocampo et al. (2013), e procedentes de diferentes bancos de germoplasma de diversas instituições (Tabela 1). O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, no arranjo de parcelas subsubdivididas, onde a parcela foi o percentual de saturação de água em relação à exigência da cultura (100%, 66% e 33%); a subparcela foi composta pelos níveis de saturação de sal (CE: 1,5 dS m⁻¹, 2,5 dS m⁻¹, 4 dS m⁻¹ e 5,5 dS m⁻¹) e em cada subsubparcela constavam os 11 acessos de Passiflora em arranjo completamente aleatório com cinco repetições, em que a unidade experimental era composta por uma planta.

Tabela 1 – Acessos de *Passiflora* comerciais de diferentes bancos de germoplasma na Colômbia selecionados para avaliar os estresses abióticos (salinidade e seca)

Espécie	Número de acessos	Procedência	Identificação
<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	1	Colômbia-UNAL	m2–Cumbia2014
<i>P. maliformis</i>	1	Colômbia-UNAL	m3–Cholupa2014
<i>P. edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>	8	Colômbia-UNAL	m4–Calfla04/2014
		Colômbia-UNAL	m6–Caufla01/2014
		Colômbia-UNAL	m7–Tolfla02/2012
		Colômbia-UNAL	m9–Atlafla01/2011
		Colômbia-UNAL	m11–Valfla10/2010
		Colômbia-UNAL	m12–Valluna/2014
		Colômbia-CIAT	m13–Huifla07/2014
		Colômbia-UCAL	m14–Calfla01/2015
<i>P. tarminiana</i>	1	Colômbia-UCAL	m15–Calmol01/2015
TOTAL	11		

De cada acesso, foram semeadas 240 sementes, que germinaram em bancada hidropônica, utilizando-se casca de arroz como substrato, que era mantido permanentemente úmido até o momento do transplante. Depois de 15 dias da germinação, 54 mudas foram selecionadas de cada acesso para assegurar maior uniformidade possível do sistema radicular.

Subsequentemente, as plantas foram transferidas para bancadas hidropônicas de 6 m de comprimento e 1,2 m de largura para garantir a lâmina de irrigação de acordo com os tratamentos (porcentagem de saturação de água de 100%, 66% e 33% e níveis de saturação de sais CE: 1,5 dS m⁻¹; 2,5 dS m⁻¹, 4 dS m⁻¹ e 5,5 dS m⁻¹), de acordo com o delineamento experimental. Foi utilizado o sistema de condução em espaldeira vertical, com fio de arame galvanizado número 12, distando 2 m do piso da bancada hidropônica da casa de vegetação. As mudas foram conduzidas em haste única, com desbrota dos ramos laterais, semanalmente. Quando as hastes ultrapassaram o fio de arame em 20 cm, essas foram curvadas para baixo, formando uma alça. Foram mantidos os ramos secundários e terciários (Figura 1).

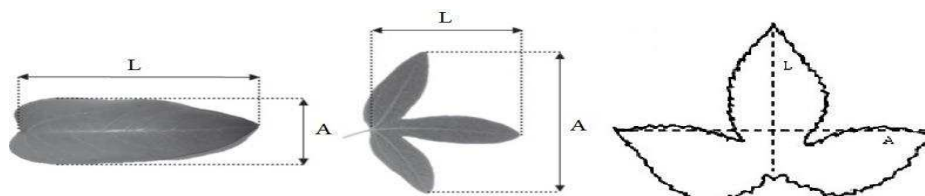


Figura 1 – Aspecto geral do experimento no momento de transplante (A) e aos três meses (B), após o plantio, Universidade de Caldas/Manizales, Caldas, Colômbia.

Foi utilizada a solução nutritiva universal de Hoagland e Arnold (1950) modificada, composta por KH_2PO_4 ; KNO_3 ; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; NaNO_3 ; NH_4NO_3 ; Fe-EDTA; H_3BO_3 ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; e $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ANEXOS A e B). Para garantir a salinidade do tratamento, cada solução foi levada a um valor de CE: $1,5 \text{ dS m}^{-1}$; $2,5 \text{ dS m}^{-1}$; 4 dS m^{-1} ; e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, com a adição de cloreto de sódio de nível reativo (99,9% de pureza). Para avaliar a interação entre a porcentagem de saturação de água e a salinidade, foram adicionados aos diferentes tratamentos de condutividade elétrica ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$; $2,5 \text{ dS m}^{-1}$; 4 dS m^{-1} ; e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$) as porcentagens de água de 100%, 66% e 33%, para cada uma das unidades experimentais dos acessos que foram avaliadas.

Foram avaliadas semanalmente as seguintes variáveis até os 116 dias após o transplante (DAT): o diâmetro do caule: medido com paquímetro digital de 0,001 mm de precisão, o diâmetro foi medido na região localizada a 3 cm acima do colo da planta e os resultados são expressos em milímetros (mm); a altura da planta: estimada a partir dos 15 DAT, usando a régua de 1 mm de precisão ponderada do colo até o ápice da planta; os números de nós e folhas: avaliados por contagem direta; a área foliar (AF): considera-se que a morfologia da folha pode ser modificada entre as espécies, de oblongo-ovadas a trilobadas. A metodologia seguida de medição não destrutiva da área foliar foi a proposta por Morgado et al. (2013) e Casierra-Posada et al. (2007), em que foram medidos o comprimento da nervura principal (L) e a largura entre os extremos (A), nas espécies com folhas completas (não lobuladas). Em espécies com mais de um lóbulo por folha,

mediram-se o comprimento da nervura principal (L) e a maior largura entre a extremidade distal dos lóbulos da extremidade (A), como se ilustra na Figura 2. Essas medições foram feitas usando uma régua com precisão de 0,1 cm. O produto de L x A foi a variável independente na equação $y = 0.596944x - 0.000821x^2 + 1,49412692 \cdot 10^{-6} x^3$ (R^2 0,99 **) (CASIERRA-POSADA et al., 2007); e o peso seco total da planta, a distribuição da matéria seca em diferentes órgãos e a razão raiz: parte aérea.



Fonte: Adaptado de Morgado et al. (2013) e Casierra-Posada et al. (2007).

Figura 2 – Partes medidas nas folhas de passifloráceas para determinar o comprimento da nervura principal (L) e a maior largura da folha (A).

Na classificação de diferentes genótipos quanto à tolerância à salinidade usa-se o Índice de Eficiência de Produção de matéria seca (IEP). Esse índice pode ser calculado como descrito a seguir (FAGIERA et al., 2010):

$$IEP = (PANS / PMANS) \times (PBNS / PMBNS)$$

em que IEP é Índice de Eficiência de Produção de matéria seca; PANS, produção de matéria seca com alto nível de salinidade; PMANS, produção média do experimento com alto nível de salinidade; PBNS, produção com baixo nível de salinidade; e PMBNS, produção média do experimento com baixo nível de salinidade.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com um nível de confiança de 95%. A análise de regressão para cada uma das variáveis quantitativas avaliadas foi realizada usando o pacote estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros de crescimento foram acometidos em geral pelas diferentes condições de estresse abiótico, evidenciando um efeito mais negativo com a condição de estresse hídrico com umidade de substrato com 33% (Tabela 2). Na análise de interação entre os tratamentos de umidade e salinidade não houve interação significativa entre o fator umidade e salinidade ao ($p < 0,05$). Assim com a diminuição de água da planta, suas células tipicamente contraem-se e as paredes afrouxam (TAIZ; ZEIGER, 2004). Esse decréscimo de volume celular resulta em pressão de turgor menor e na subsequente concentração de solutos na célula. As atividades dependentes do turgor como a expansão foliar, alongamento radicular e parâmetros de crescimento, são mais sensíveis aos déficits hídricos.

Tabela 2 – Influência da umidade e salinidade em altura (cm), do diâmetro do caule (mm), do número de nós, da área foliar, (cm^2), aos 150 DAT em 11 acessos de passifloras em Manizales, Caldas, Colombia

Condição	Altura (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Número de nós	Área foliar (cm^2)
Umidade (%)				
100	216,77a	6,87a	22,97a	86,85a
66	143,22b	5,38b	18,78b	73,28b
33	60,43c	4,37c	13,36c	51,26c
Salinidade (dS m^{-1})				
1.5	312,86a	9,11a	28,92a	95,99a
2.5	128,48b	5,35b	17,91b	64,46c
4.0	128,45b	5,31b	18,41b	71,37b
5.5	128,87b	5,20b	16,71c	72,21b
C.V	29,41	14,74	15,93	21,90

*Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente ($P < 0,05$), de acordo com o teste de Duncan.

A altura das plantas dos acessos m2, m3, m4, m6, m7, m9, m11, m12, m13 e m14 de *P. edulis* f. *flavicarpa* foram reduzidas com o aumento das condições de estresse, com diferenças notáveis nas condições de déficit moderado (66%) e forte (33%) de água, com desproporção de aproximadamente 75% (Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, respectivamente).

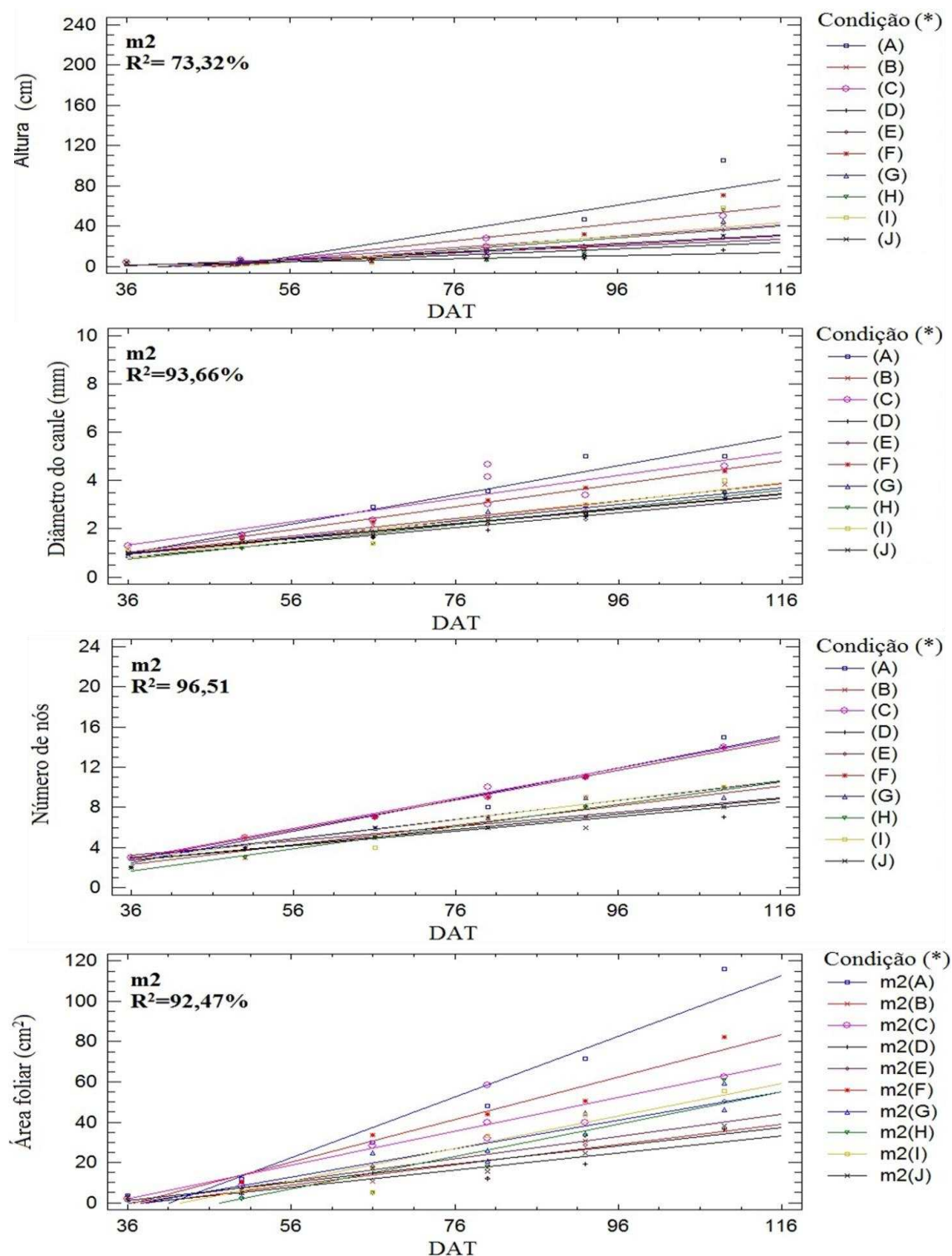


Figura 3 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m2 (*P. edulis* f. *edulis*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; B. Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; C. Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; D. Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%; E. Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; F. Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; G. Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%; H. Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; I. Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; e J. Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%.

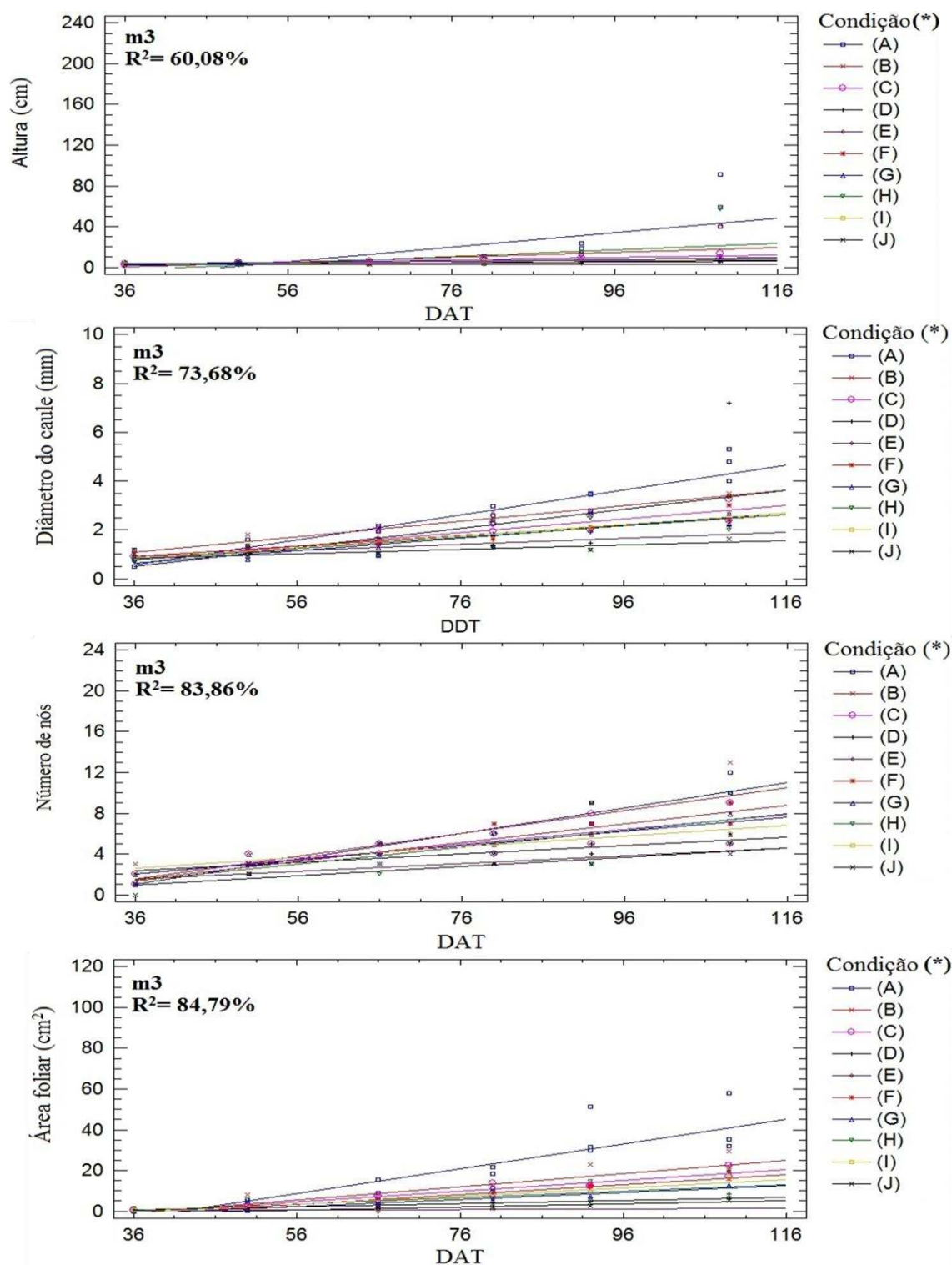


Figura 4 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m3 (*P. maliformis*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

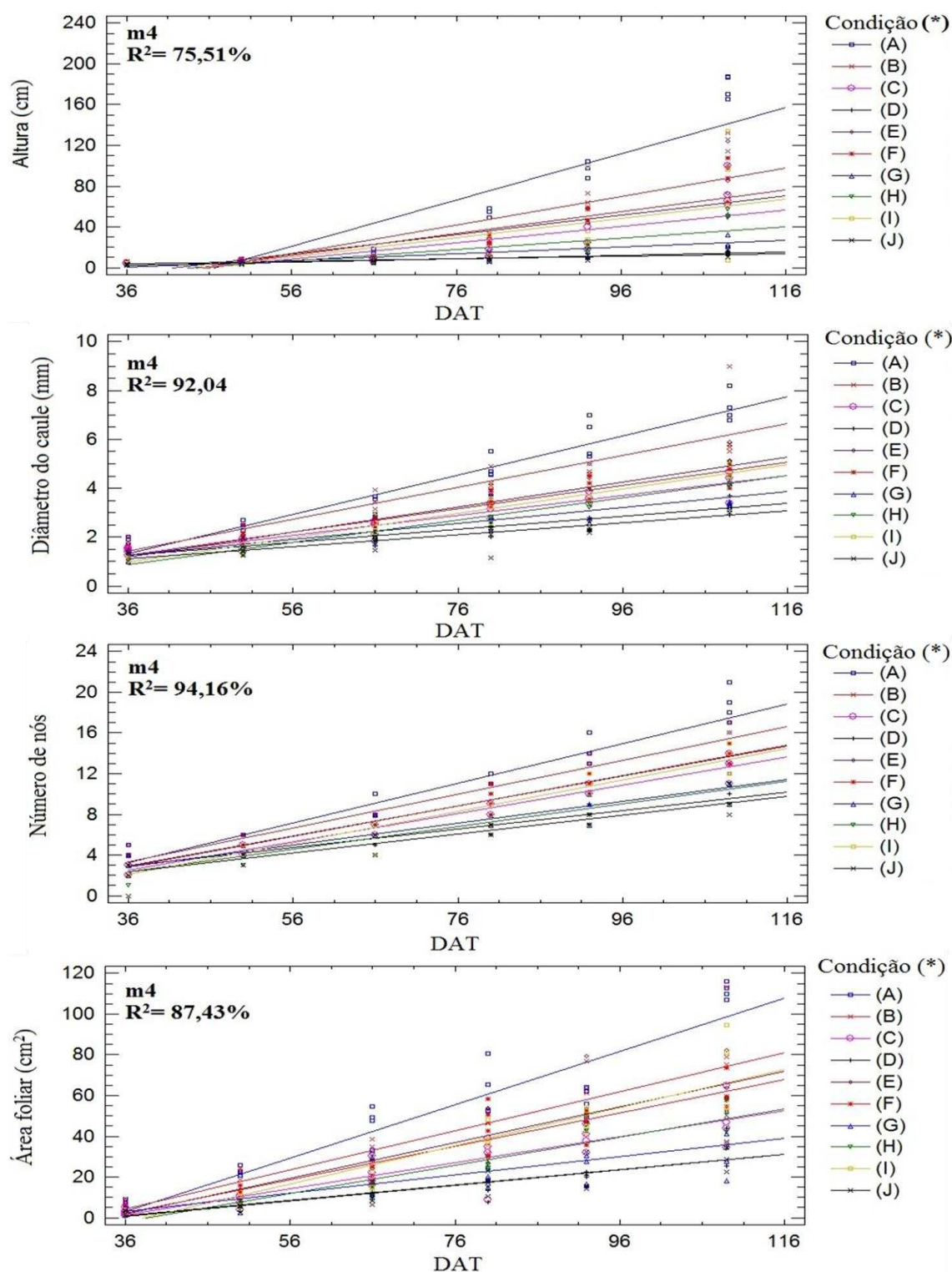


Figura 5 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m4 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

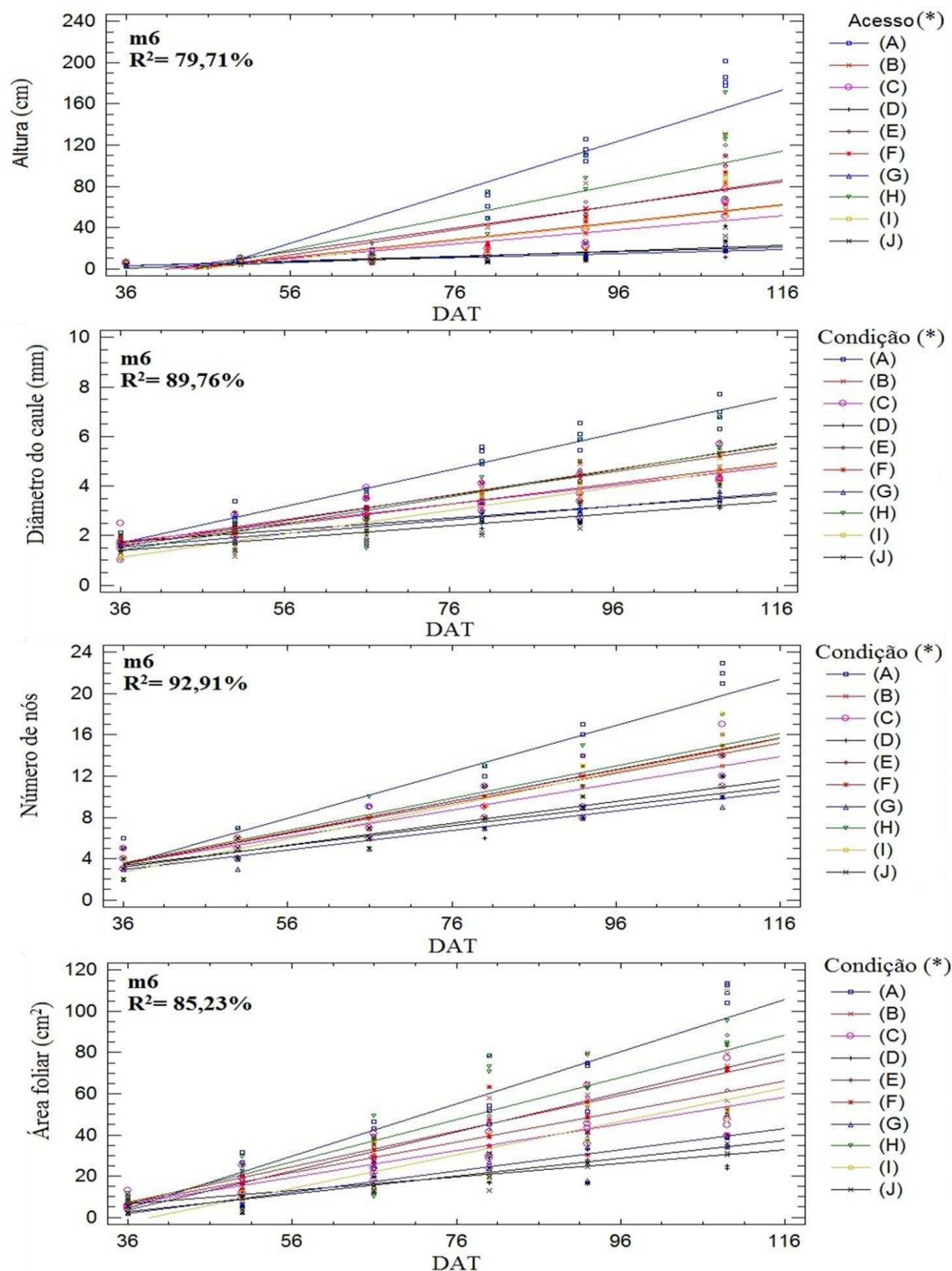


Figura 6 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m6 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R²) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

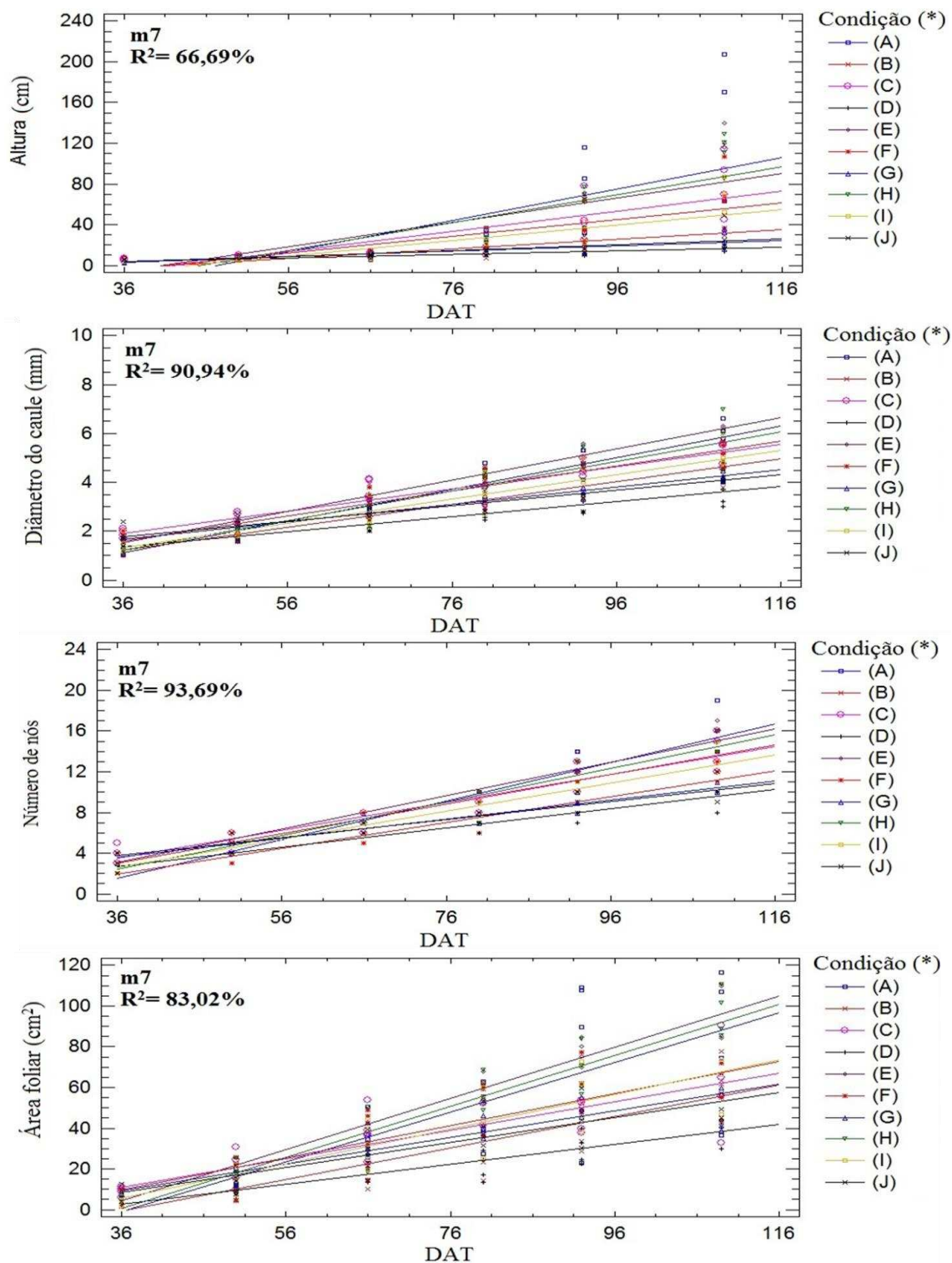


Figura 7 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m7 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

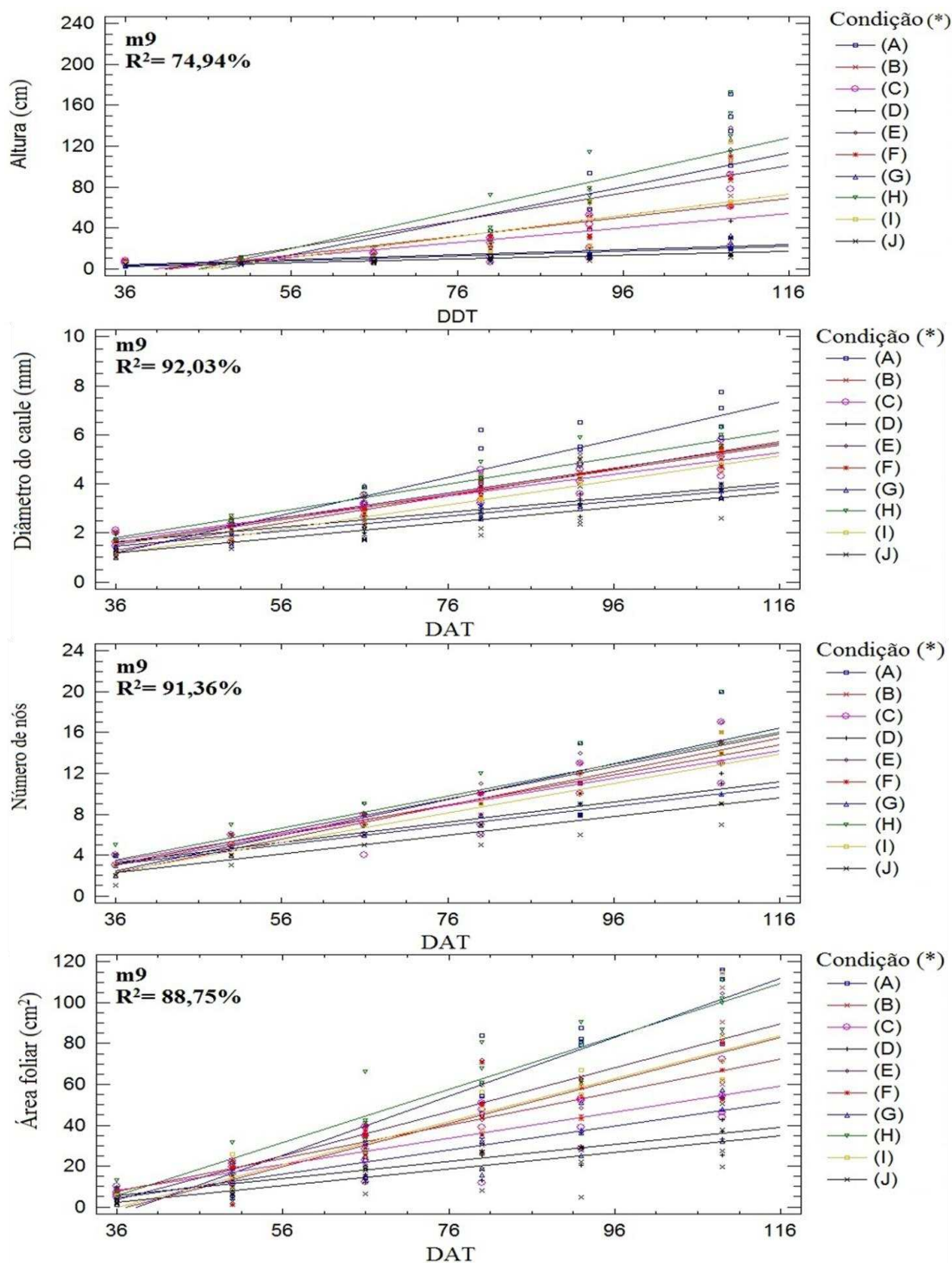


Figura 8 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m9 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

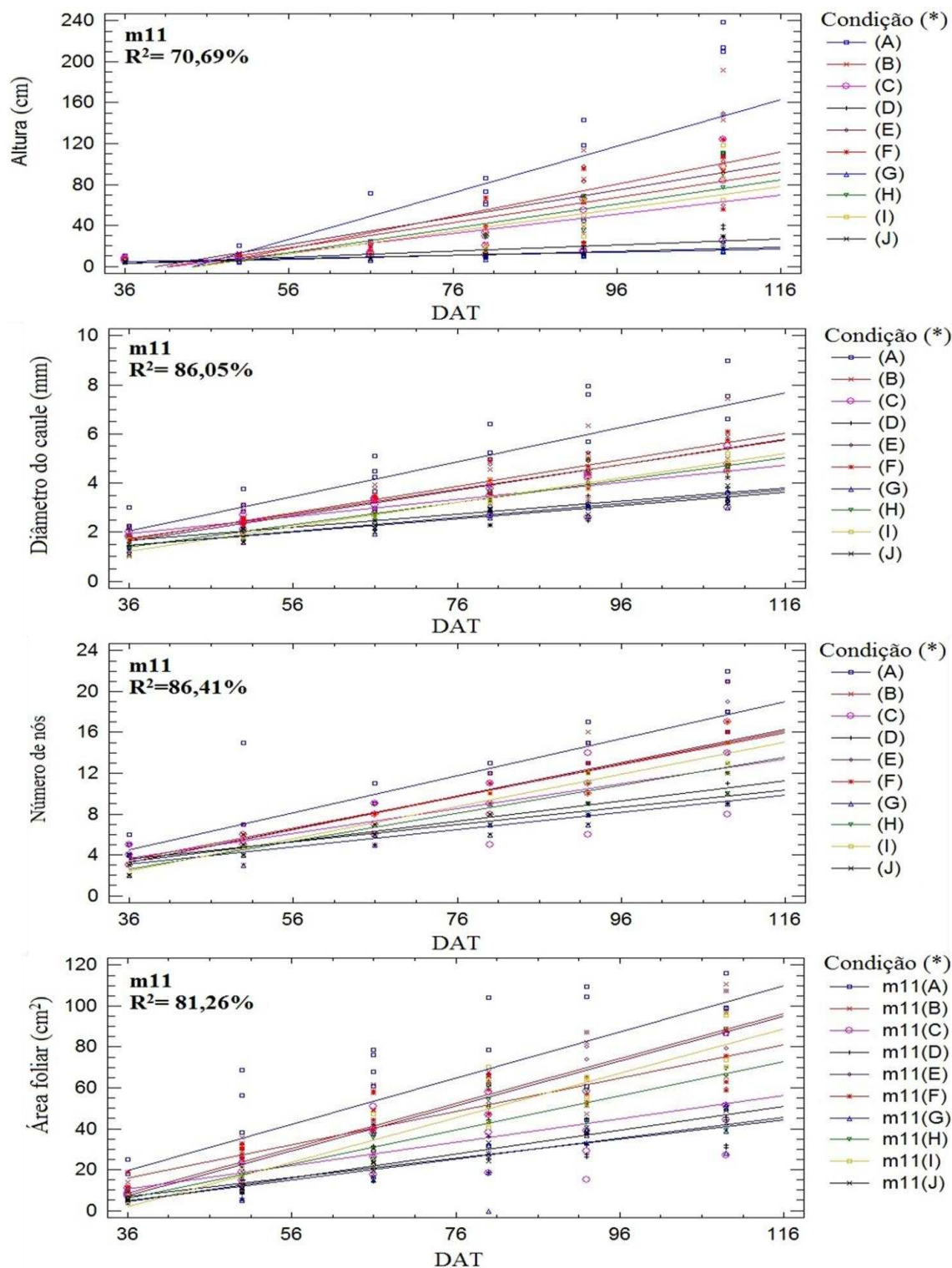


Figura 9 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. ***A.** Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **B.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **C.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; **D.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; **E.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **F.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; **G.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; **H.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **I.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e **J.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

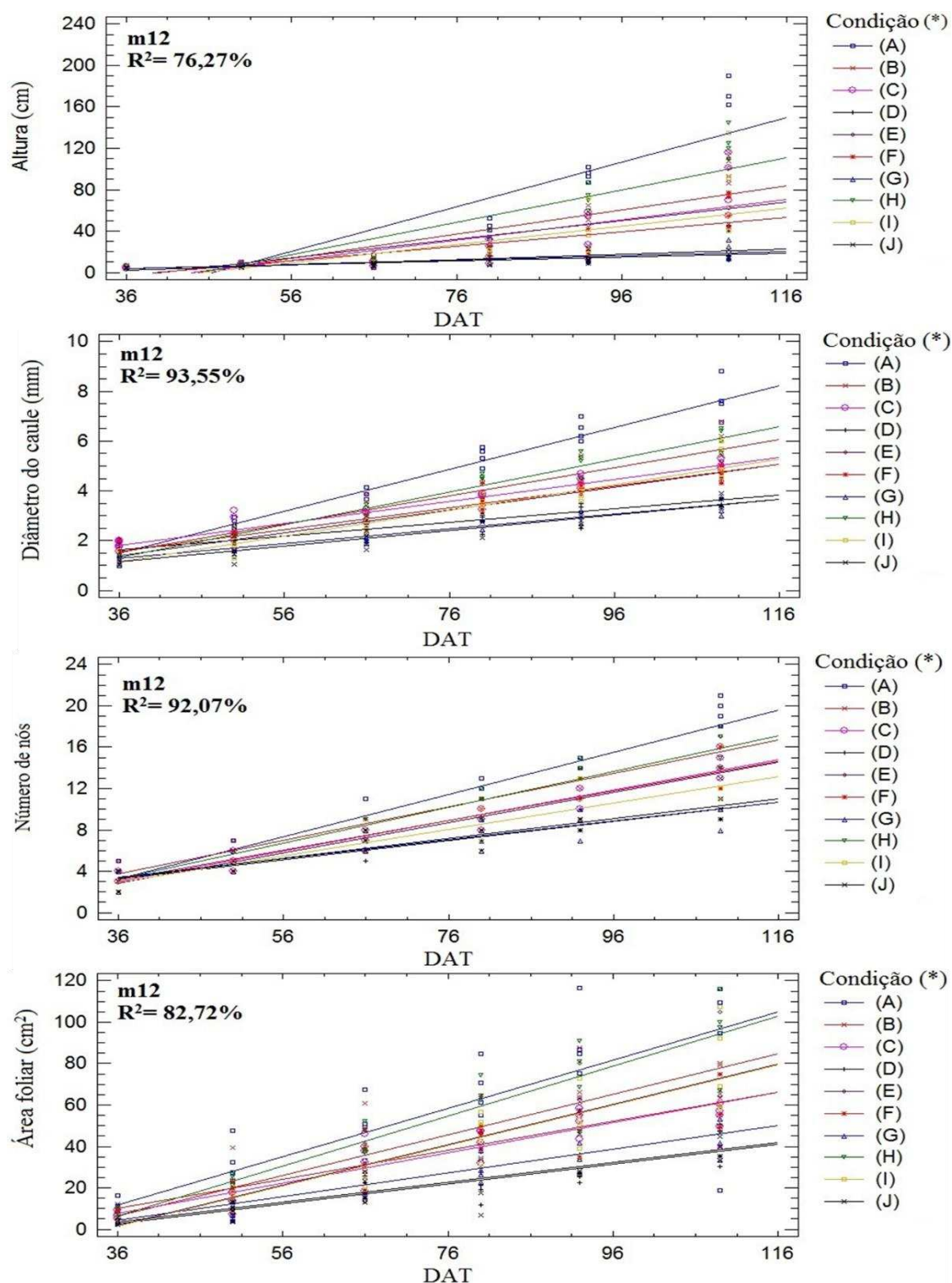


Figura 10 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. * A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

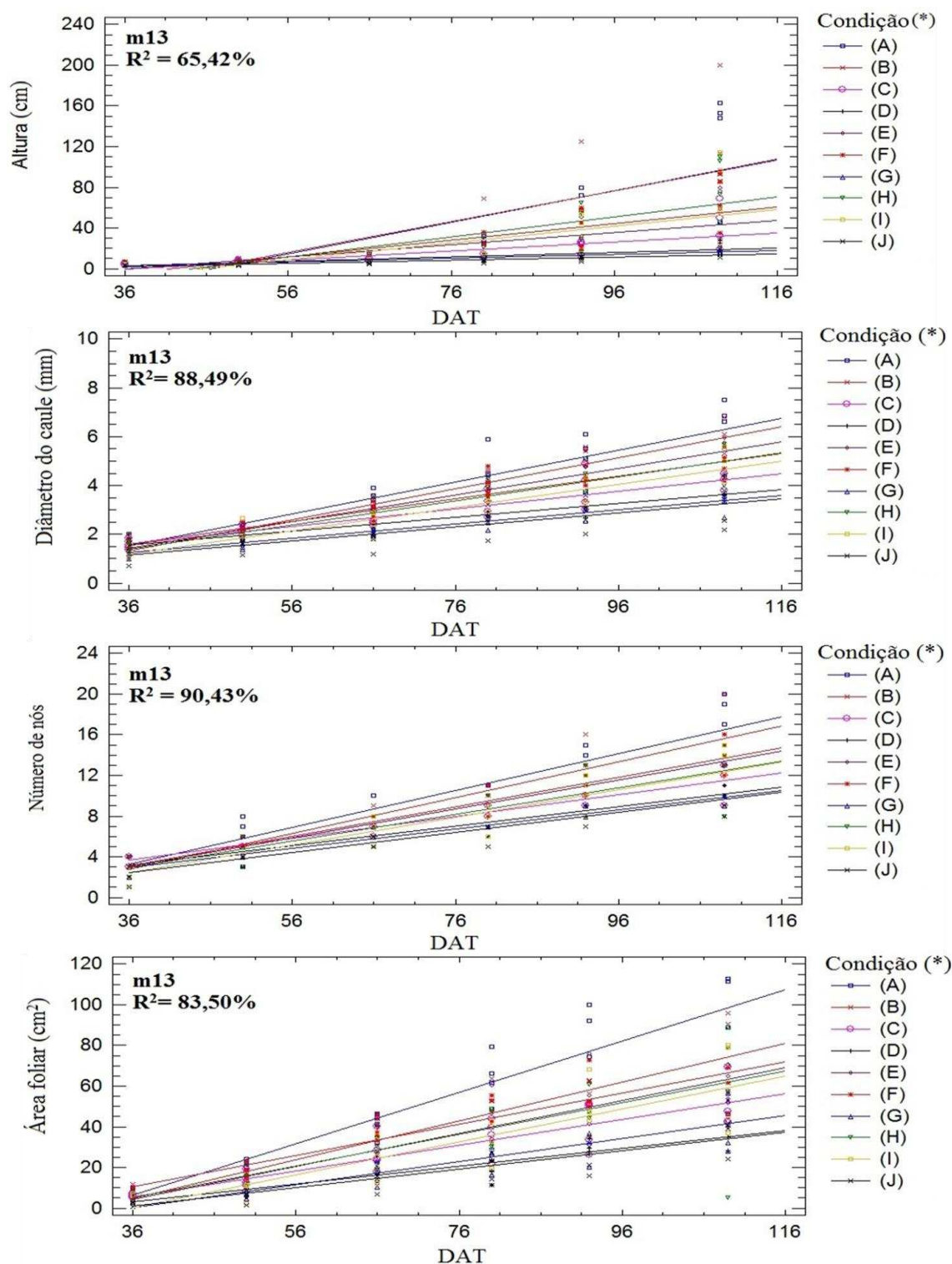


Figura 11 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m13 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

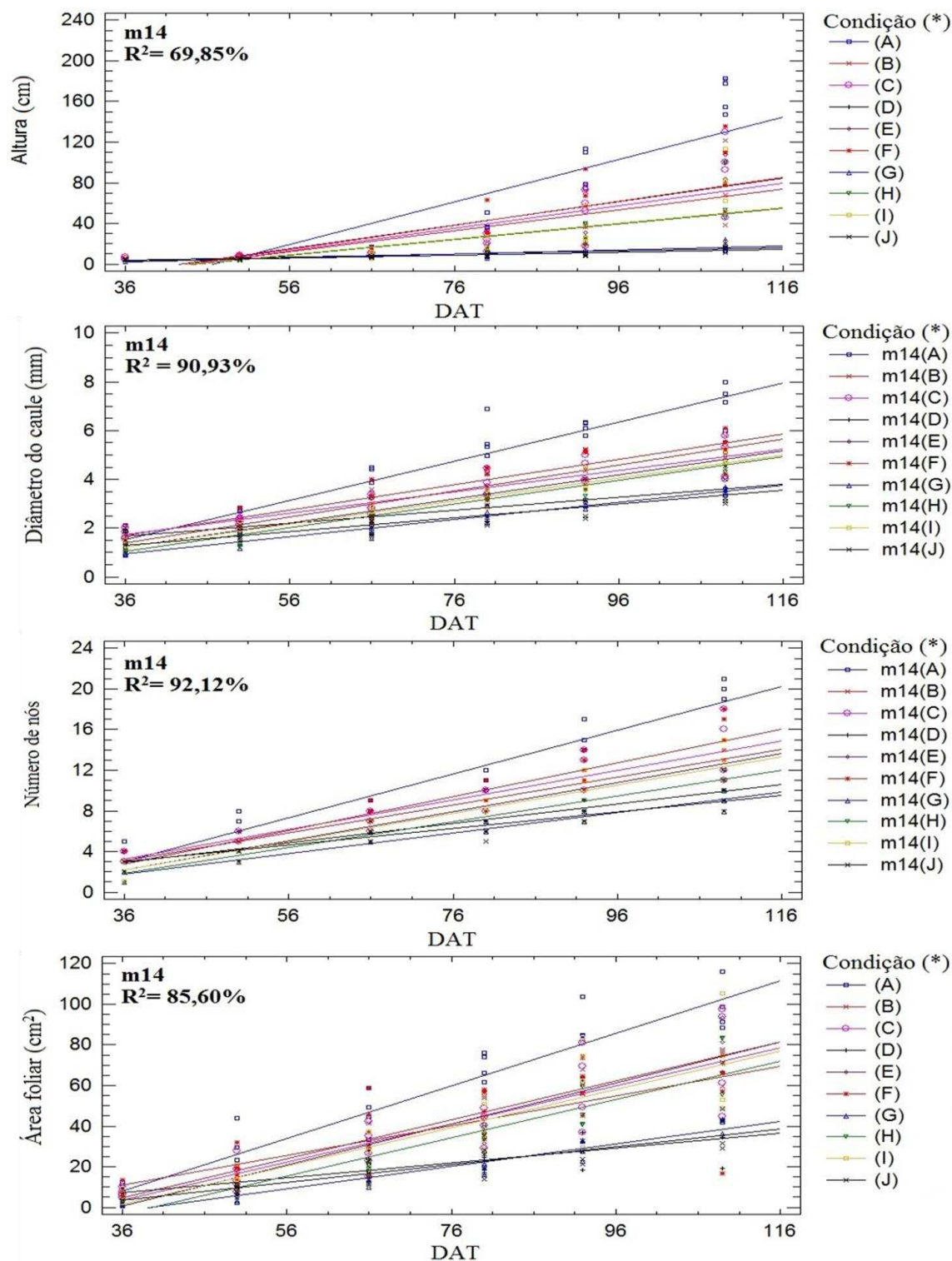


Figura 12 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. * **A.** Salinidade de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; **B.** Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; **C.** Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; **D.** Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%; **E.** Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; **F.** Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; **G.** Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%; **H.** Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; **I.** Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; e **J.** Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%.

Para os acessos m9 e m7, mostrou-se maior altura em condições de 5,5 dS m⁻¹ e 100% de umidade (Figuras 8 e 7, respectivamente). É possível haver diferenças dos efeitos de salinidade entre espécies de plantas, entre genótipos de uma mesma espécie e entre estádios de desenvolvimento de um mesmo genótipo (SUN et al., 2009; YAO et al., 2010; SUZUKI et al., 2016). Diferente dos resultados obtidos no presente estudo, Calvacante et al. (2002), ao submeterem o maracujá-amarelo a níveis crescentes de salinidade da água de irrigação, em diferentes volumenes de substrato, na fase inicial de crescimento (30 dias após a emergência), verificaram ter sido afetada a altura das plantas pela condutividade elétrica da água; entre as plantas irrigadas com condutividade elétrica de 0,5 ate 6,0 dS m⁻¹, foi constatada redução de 12,11% por unidade de CEa.

A grande diferença entre as condições desta pesquisa e as realizadas por Calvacante et al. (2002), é que esses autores cultivaram as plantas em recipientes com dois volumes de substrato de 0,34 e 1,41 litro. O volume do substrato neste experimento foi maior, permitindo maior crescimento do sistema radicular, as plantas cultivadas em maior volume de sustrato são menos afetadas pela salinidade, devendo ser considerado, também, o período de tempo em que estiveram expostas à maior concentração de sais.

Percebeu-se como o comportamento do acesso m15 (*P. tarminiana*) nas diferentes condições de estresse abiótico é semelhante nas condições ótimas de umidade (100%) e condutividade elétrica (1,5 dS m⁻¹) e nas condições extremas de umidade (33%) e condutividade elétrica (5,5 dS m⁻¹) (Figura 13).

Cavalcante et al. (2002) concluíram que a salinidade da água inibe a germinação das sementes de maracujá, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, principalmente em menor volume de substrato. Esses autores verificaram que os efeitos da salinidade foram mais agressivos sobre o crescimento em altura, diâmetro do caule, área foliar e biomassa das plantas que na germinação das sementes e que a irrigação com água de salinidade superior a 1,0 dS m⁻¹ não possibilita a produção de mudas com qualidade para cultivo.

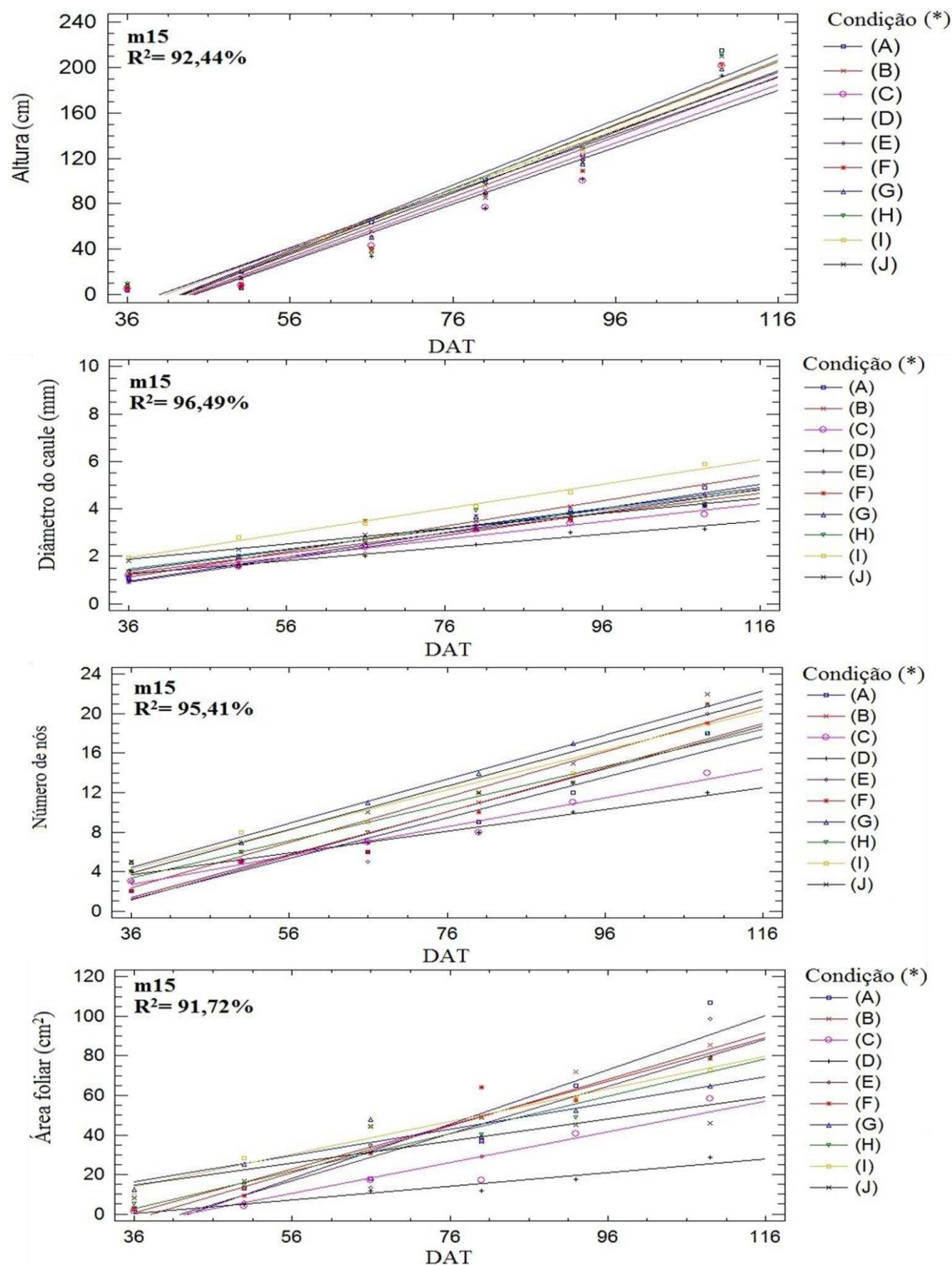


Figura 13 – Regressão linear dos parâmetros de crescimento, do acesso m15 (*P. tarminiana*) em estresse por salinidade e seca, dos 18 até os 120 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice do coeficiente estatístico de determinação (R^2) para os acessos em estudo. *A. Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; B. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; C. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; D. Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; E. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; F. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; G. Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; H. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; I. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e J. Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

Os diâmetros dos caules dos acessos m2 (*P. edulis* f. *edulis*), m3 (*P. maliformis*), m4, m6, m9, m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em geral sofreram redução em estresse moderado de água (66% umidade) e forte (33% umidade), com diferenças próximas a 50% (Figuras 3, 4, 5, 6, 8 e 9 respectivamente). Para o acesso m15 (*P. tarminiana*), mostrou-se maior diâmetro do caule em condições de 5,5 dS m⁻¹ e 66% de umidade (Figura 13). O acesso m9 e m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) evidenciaram leve diminuição no diâmetro do caule em condições de 5,5 dSm⁻¹ e 100% de umidade.

De acordo com Filho et al. (2010), o diâmetro do caule da planta é indicativo do vigor. Portanto, o uso de variáveis de crescimento da planta como altura da planta e diâmetro do caule está diretamente relacionada ao rendimento (COELHO; SIMÕES, 2010). Segundo Lima et al. (2012), o vigor e a incidência de doenças podem ser fatores favoráveis na escolha de genitores mais apropriados para cruzamentos. Na avaliação de oito híbridos de maracujá, Meletti et al. (2000), descobriram que havia uma relação direta entre o vigor vegetativo e o aumento do número de flores. Os mesmos autores concluíram que a contagem do número de flores apontava para a superioridade dos híbridos, que foram mais vigorosos; aqueles com menos vigor vegetativo foram responsáveis por menos flores.

As plantas que apresentam maior vigor, possivelmente, vão ter melhor absorção e translocação de água e nutrientes e aumento da produção de substâncias promotoras do crescimento, desejado para melhorar características em porta-enxertos de maracujá (SALAZAR et al., 2015).

O número de nós nos acessos m3 (*P. maliformis*), m4, m6, m11, m12, m13, m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) nas condições de estresse abiótico caiu aproximadamente 66% a partir das condições ótimas de umidade e condutividade elétrica (Figuras 4, 6, 9, 12 e 13, respectivamente). Os acessos m7 e m9 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) não evidenciaram queda considerável em nos números de nós em condições de 5,5 dS m⁻¹ e 33% de umidade (Figuras 7 e 8, respectivamente).

Os acessos m2 (*P. edulis* f. *edulis*), m3(*P. maliformis*), m4, m11, m13, m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) mostraram redução cerca de 70% da área foliar (Figuras 3, 4, 5, 9, 11 e 12, respectivamente). Contrariamente, os acessos m9 e m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) em condições 5,5 dS m⁻¹ e 100% umidade não evidenciaram diminuição comparado com as condições ótimas de crescimento (1,5 dS m⁻¹ e 100% umidade), já os acessos m6, m7 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m15 (*P. tarminiana*) em condições de 5,5 dS m⁻¹ e 100% de umidade mostraram uma queda leve.

Estudo de Calvacante et al. (2002) sobre o crescimento de maracujazeiros em ambiente protegido, irrigado com níveis diferenciais de salinidade verificou ser a área foliar a variável mais afetada. Os mesmos autores relatam que independentemente da cultivar, a diminuição do volume do substrato e o aumento da salinidade da água de irrigação resultaram em declínio marcante da área foliar, com maior significância às plantas desenvolvidas no substrato de menor. A redução da área foliar, muitas vezes, é reflexo de estresse no ambiente radicular e pode provocar desequilíbrio fisiológico nas plantas em geral. Como na maioria das plantas cultivadas, no maracujazeiro, a menor expansão das folhas resulta em baixa eficiência fotossintética, desequilíbrio na absorção e translocação de nutrientes, prejuízos à dinâmica de funcionamento dos estômatos e na síntese de auxinas para o crescimento, retardamento na emissão dos botões florais e, com efeito, queda na qualidade fitotécnica das mudas (DIAS, 2012).

Casierra-Posada e Roa (2006) constataram que o desenvolvimento vegetativo das plantas de *P. Ligularis* Juss foi negativamente influenciado pelo estresse hídrico, com diminuição da área foliar e do número de folhas. Gomes et al. (2012) relataram que dois cultivares de maracujá diferiram na plasticidade de sua resposta à seca e reidratação e também que em condições de seca as plantas FB300 apresentaram vantagem sobre as plantas FB200, em relação à estabilidade e eficiência de uso da energia.

Carr (2013) demonstrou em um experimento de casa de vegetação na Austrália como o estresse hídrico até mesmo leve (potencial de água no solo de -0,01 MPa) pode reduzir todos os aspectos do crescimento vegetativo dos híbridos de maracujazeiro, incluindo o número de nós e folhas. Freire et al. (2011) verificaram que a irrigação com água com condutividade elétrica de 4,5 dS m⁻¹ aos 150 dias após o transplante reduziu o crescimento da planta, comparado ao tratamento-controle com água normal (0,5 dS m⁻¹). Contrariamente, Soares et al. (2008) compararam as respostas de maracujá com irrigação suplementar com água salina para cinco níveis de condutividade elétrica variando de 0,2 a 5,0 dS m⁻¹. Ao longo de um período de 10 meses, não houve efeitos adversos perceptíveis em qualquer um dos atributos de crescimento medido, incluindo o desempenho.

De acordo com Casierra-Posada e Roa (2006), a diminuição do número de nós e folhas e, por conseguinte, a da área foliar estão associadas ao mecanismo de adaptação de plantas ao estresse hídrico, a fim de economizar a transpiração. Além disso, os estômatos fecham em resposta das plantas quando expostas à seca para reduzir a perda de água. Esse fechamento reduz a transpiração, mas à custa de redução na tomada de CO₂,

levando à menor taxa de fotossíntese (RODRÍGUEZ-PÉREZ, 2006). O mesmo autor relatou como a toxicidade, em razão da absorção excessiva de sódio e cloro, produz clorose marginal da folha, havendo diminuição da área fotossintética, que determina reduções na fotossíntese líquida, como resultado de aumento na respiração dos órgãos da planta. A respiração de manutenção eleva os requisitos para produzir os carboidratos necessários para o transporte de íons de energia, a compartimentalização de íons e a reparação de danos celulares. Outros efeitos de toxicidade de sais são a diminuição da síntese de proteínas, diminuição da condutância estomática, síntese da parede celular e expansão das células.

A redução da transpiração por meio dos estômatos é uma resposta fundamental regulada pelo ácido abscísico (ABA) nas plantas expostas ao estresse. O fechamento dos poros estomáticos nas folhas é um mecanismo em que as plantas superiores regulam o equilíbrio de fluidos. Os estômatos contêm células-guarda, que regulam a abertura dos poros estomáticos e respondem a mudanças nos níveis de água. O fecho estomático induzido pelo ABA é mediado pela redução da pressão de turgescência das células-guarda, que requerem o efluxo de K^+ e Cl^- , a remoção de sacarose e a conversão de ácido málico em malato e H^+ . O ABA ativa um canal de entrada de cálcio, causando aumento na concentração de Ca^{+2} no citosol das células-guarda, inibição dos canais de entrada de K^+ e ativação dos canais de saída de K^+ . Tudo isso leva a aumento do potencial hídrico, saída de água e perda de turgência das células-guarda, levando ao fechamento dos estômatos (PANDEY; ASSMANN, 2004; RODRÍGUEZ-PÉREZ, 2006).

Percebeu-se que a salinidade e a seca podem afetar o cultivo de passifloráceas, reduzindo o crescimento e a produtividade. Da mesma forma, as pesquisas atualmente desenvolvidas na cultura do maracujazeiro procuram compreender os efeitos da salinidade e da seca no desenvolvimento das plantas nas diferentes fases fenológicas da cultura. As pesquisas em um programa de melhoramento em condições de estresse abiótico, com ênfase na seca e na salinidade, ainda são incipientes e, portanto, mais estudos são necessários.

A osmorregulação celular confere às plantas a capacidade de tolerar as condições de falta de água e de salinidade alta, com a expressão de mecanismos adaptativos que impedem a redução da fotossíntese, as alterações na translocação e a distribuição de fotoassimilados e queda de rendimento. Esses eventos têm importância significativa no crescimento e desenvolvimento normal da planta e, conseqüentemente, na produtividade das culturas.

O peso seco total por acesso diminuiu em torno de 21,2% em condições de estresse hídrico (33% de umidade) e salino (5,5 dS m⁻¹), exceto o acesso m15, que apresentou acúmulo de matéria seca superior aos outros acessos avaliados em condições semelhantes de estresse máximo (33% de umidade e 5,5 dS m⁻¹) e condições ótimas de umidade e condutividade elétrica (100% e 5,5 dS m⁻¹). Notou-se mudança no padrão de distribuição de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, em que a matéria seca radicular foi maior, com o aumento do estresse (Figura 14). Devido a que a razão da biomassa de raízes e da parte aérea parece ser governada por um balanço funcional entre absorção de água pelas raízes e fotossíntese pela parte aérea, ou seja, a parte aérea continuara crescendo até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante; inversamente, as raízes crescerão até que sua demanda por fotossintatos da parte aérea iguale-se ao suprimento. Esse balanço funcional se o suprimento hídrico decrescer.

Estudo realizado com *P. edulis* (STAVELEY; WOLSTENHOLME, 1990) apresentam redução no teor de matéria seca nas folhas, no caule e nas raízes quando as plantas foram expostas ao estresse hídrico. Casierra-Posada e Roa (2006) concluíram que a exposição de *P. ligularis* à seca levou a uma diminuição significativa na área foliar, no número de folhas por planta e no comprimento dos ramos. Entretanto, a razão raiz, parte aérea com base no peso seco e o peso específico das folhas, aumentaram com a elevação do estresse hídrico em plantas. O padrão de distribuição de matéria seca de folhas, ramos, caule e raízes foi alterado com a seca. Lizarazo et al. (2013), para determinar o efeito de manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B) sobre a distribuição da matéria seca (MS) em *P. tripartidas* var. *mollissima* na fase vegetativa, observaram que foi evidente restrição na matéria seca em todos os níveis de cada um dos elementos, com o nível de deficiência mais limitante. Evidenciou-se comportamento na distribuição de massa seca do sistema radicular com aumento entre 1 e 14% para todos os tratamentos, em comparação ao controle. O efeito negativo do déficit hídrico se reflete na diminuição do crescimento da parte aérea, uma vez que boa parte dos fotoassimilados são investidos no crescimento do sistema radicular.

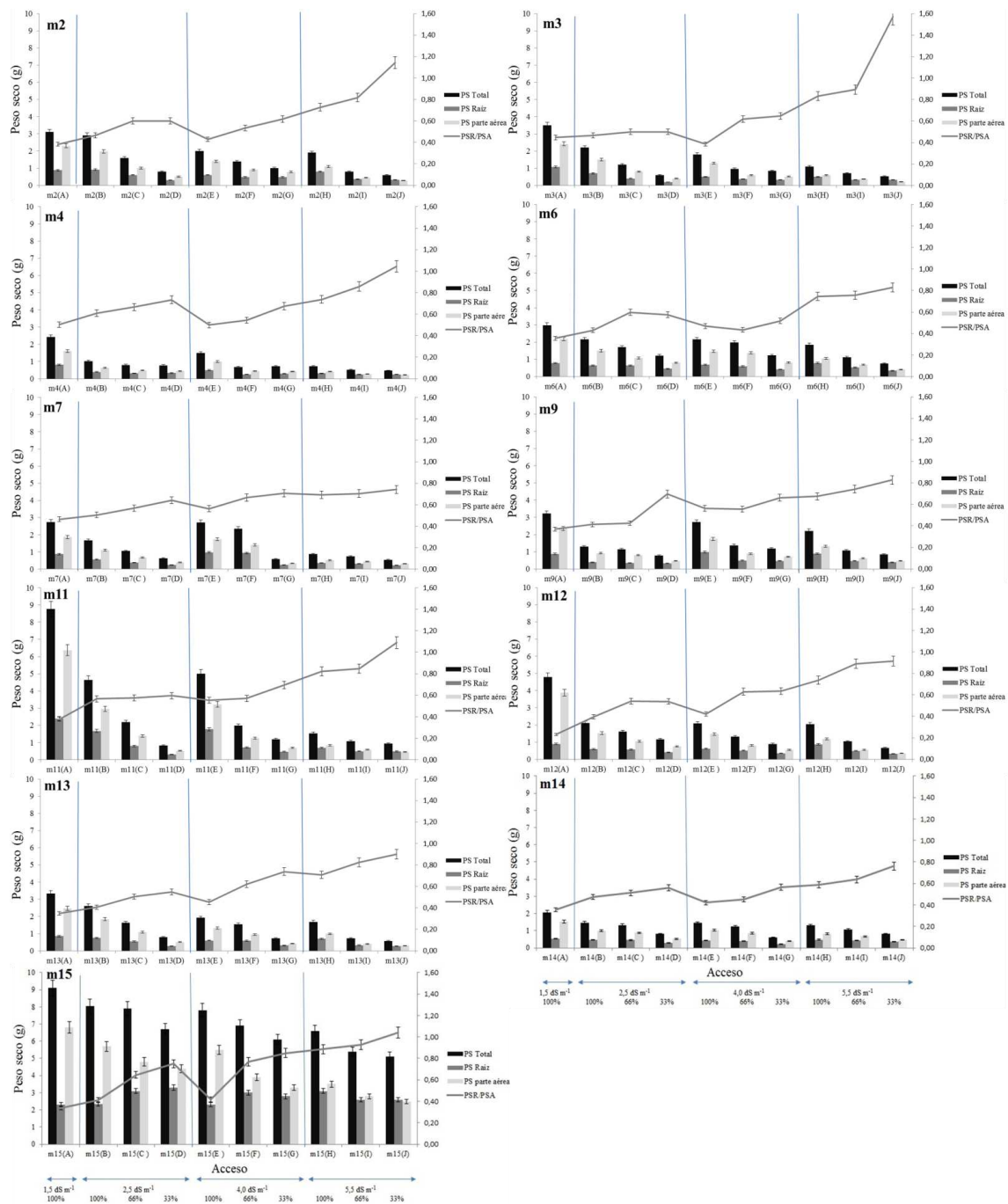


Figura 14 – Matéria seca total, raiz e parte aérea (folhas + caule), em gramas, de 11 acessos de passifloras em estresse por salinidade e seca, aos 60 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice estatístico: colunas são as médias $\pm$ desvio-padrão ($n=33$) e as médias comparadas pelo teste de Fisher, da diferença mínima significativa (LSD, $P<0,05$). *Diferença significativa com grupos de controle (condições ótimas). A. Salinidade de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; B. Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; C. Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; D. Salinidade de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%; E. Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; F. Salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; G. Salinidade e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%; H. Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 100%; I. Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 66%; e J. Salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ e umidade de 33%.

As modificações no sistema radicular acontecem por causa do volume de raízes que aumenta em condições de estresse hídrico, o que favorece a absorção da água e diminuição da parte aérea, a fim de reduzir a taxa de transpiração foliar (CASIERRA-POSADA; ROA, 2006). Adicionalmente, o ABA induz a acumulação de íons em vacúolos do tecido radicular, que aumentam o potencial osmótico do citosol de células epidérmicas radiculares. Isso provoca aumento da permeabilidade das membranas de células radiculares, o que leva a uma maior possibilidade de absorver água a partir das raízes.

Segundo Hartung (1996), o déficit hídrico provoca inicialmente redução no desenvolvimento da raiz; no entanto, em condições de seca moderada, ocorre o desenvolvimento de uma raiz mais forte. Se as condições de seca continuam, a inibição do crescimento radicular aumenta, especialmente quando nas raízes acumula-se ABA. Posteriormente, a ação conjunta do ABA e o estresse induzem o desenvolvimento das raízes adventícias, o que torna possível que os pelos radiculares e as raízes muito finas explorem maior volume de solo para encontrar a umidade.

Finalmente, a massa seca é utilizada como critério de classificação de cultivares em relação à tolerância à salinidade com o Índice de Eficiência de Produção de matéria seca da parte aérea ou grãos, proposto por Fagiera et al. (2010) (Tabela 3).

Tabela 3 – Influência da salinidade na massa da matéria seca da parte aérea (g) de 11 acessos de Passiflora e sua classificação quanto à tolerância à salinidade, conforme o Índice de Eficiência de Produção (IEP)

Acesso	Nível de salinidade (dS m ⁻¹)		IEP	Classificação ¹
	Testemunha (1.5) (100% umidade)	5.5 (33% umidade)		
m2	5,41g	0,70g	0,51	MT
m3	4,00g	0,60g	0,32	S
m4	1,61g	0,42g	0,09	S
m6	1,51g	1,42g	0,29	S
m7	2,42g	0,78g	0,25	S
m9	3,42g	0,80g	0,37	S
m11	6,37g	4,42g	3,76	T
m12	5,42g	0,69g	0,50	MT
m13	6,42g	2,17g	1,86	T
m14	7,42g	0,86g	0,85	MT
m15	5,50g	3,55g	2,61	T
Média	4,45g	1,68g		

¹T= tolerante, MT= moderadamente tolerante, MS = moderadamente sensível e S= sensível.

Fonte: Metodologia conforme Fageria et al. (2010).

Quando o IEP estiver maior que 1,0, os cultivares são classificados como tolerantes; se na faixa de 0,5 a 1,0, como moderadamente tolerantes à salinidade; se menor que 0,5, os genótipos são classificados como sensíveis à salinidade. Assim, merece destaque como três acessos são tolerantes e igualmente como o número de acessos são medianamente tolerantes.

CONCLUSÕES

O estresse hídrico reduziu a altura das plantas, a área foliar, o diâmetro do caule e o número de nós dos acessos comerciais de *Passiflora*, com destaque para o comportamento do acesso m15, que foi o menos afetado.

As plantas dos acessos apresentaram aumento na relação raiz-parte aérea com base em peso seco, nas condições de estresse abiótico. Assim, o padrão de distribuição da matéria seca da raiz e da parte aérea foi alterado com a elevação do estresse hídrico e do salino.

Classificaram-se como tolerantes a salinidade os acessos m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), m13 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), e m15 (*Passiflora tarminiana*), e medianamente tolerantes os acessos m2 (*P. edulis* f. *edulis*), m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*).

REFERÊNCIAS

AGRONET. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. **Secretaría técnica nacional de la cadena de pasifloras**. Disponível em: <http://sioc.minagricultura.gov.co/templates/sioc_cadenas/docs/4315_27.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2015.

CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims): a review. **Experimental Agriculture**, v. 49, n. 4, p. 585-596, 2013. <http://doi:10.1017/S0014479713000240>.

CASIERRA-POSADA, F.; PEÑA, G.R.; PEÑA-OLMOS, J.E. Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey y *Ficus carica* L. **Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica**, v. 11, n. 1, p. 95-102, 2007.

CASIERRA-POSADA, F.; ROA, H.A. Efecto del déficit hídrico moderado en el suelo sobre el crecimiento y distribución de materia seca en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). **Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica**, v. 9, n. 2, p. 169-180. 2006.

CAVALCANTE, L.F.; SANTOS, J.B.; SANTOS, C.J.O.; FEITOSA FILHO, J.C.; LIMA, E.M.; CAVALCANTE, I.H.L. Germinação de sementes e crescimento inicial de maracujazeiros irrigados com água salina em diferentes volumes de substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 748-751, 2002.

COELHO, E.F.; SIMÕES, W.L. Produtividade do mamoeiro, cultivar Tainung nº1, sob diferentes manejos de irrigação nos tabuleiros costeiros do nordeste. **Magistra**, v. 22, n. 1, p. 35-40, 2010.

DIAS, J.T.; SA, R.J.; SILVA, M.N.B.; DANTAS, S.A.G.; CAVALCANTE, L.F.; CAMPOS, V.B.; MIGUEL, A.A. Crescimento das plantas de maracujazeiro amarelo após o transplante. In: CAVALCANTE, L.F. (Ed.). **O maracujazeiro amarelo e a salinidade da água**. João Pessoa: Sal da Terra, 2012. p. 97-137.

FAGERIA, N.K.; SOARES FILHO, W.S.; GHEYI, H.R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes a salinidade. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S, LACERDA, C.F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 205-218.

FILHO, G.C.N.; RONCATTO, G.; RUGGIERO, C.; OLIVEIRA, J.C.; MALHEIROS, E.B. Desenvolvimento e produção das plantas de maracujazeiro-amarelo produzidas por enxertia hipocotiledonar sobre seis porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 535-543, 2010.

FREIRE, J.L.O.; CAVALCANTE, L.F.; REBEQUI, A.M.; DIAS, T.J.; SOUTO, A.G.L. Water needs of the yellow passion fruit in salt stress, biofertilization and soil cover. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, p. 82-91, 2011.

GOMES, M.T.G.; LUZ, A.C.; SANTOS, M.R.; BATITUCCI, M.C.P.; SILVA, D.M.; FALQUETO, A.R. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transient. **Scientia Horticulturae**, v. 142, p. 49-56, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.026>.

HARTUNG, W.; SAUTER, A.; TURNER, N.C.; FILLERY, I.; HEILMEIER, H. Abscissic acid in soils: what is its function and which factors and mechanisms influence its concentration? **Plant and Soil**, v. 184, p. 105-110, 1996.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347 p.

LIMA, D.T.; SANTOS, C.E.M.; ROCHA, M.R.; ROSADO, L.D.S.; ALVES, F.M. Divergência genética entre genótipos de maracujazeiro azedo com base em vigor, incidência de doenças e características de frutos. **Magistra**, v. 24, n. 4, p. 314-322, 2012.

LIZARAZO, M.A.; HERNÁNDEZ, C.A.; FISCHER, G.; GÓMEZ, M.I. Biomasa, parámetros foliares y sintomatología en respuesta a diferentes niveles de manganeso, zinc y boro en curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

MELETTI, L.M.M.; SANTOS, R.R.; MINAMI, K. Melhoramento do maracujazeiro amarelo: obtenção do cultivar ‘composto IAC-27’. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 3, p. 491-498, 2000.

MORGADO, M.A.D.; BRUCKNER, C.H.; ROSADO, L.D.S.; ASSUNÇÃO, W.; SANTOS, C.E.M. Estimación da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de *Passiflora*. **Revista Ceres**, v. 60, n.5, p. 662-667, 2013.

NIU, G.; RODRIGUEZ, D.S.; CALL, E.; BOSLAND, P.W.; ULERY, A.; ACOSTA, A. Responses of eight chile peppers to saline water irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 126, p. 215-222, 2010.

OCAMPO, J.; URREA, R.; WYCKHUYS, K.; SALAZAR, M. Exploración de la variabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. **Acta Agronómica**, v. 62, n. 4, p. 352-360, 2013.

PABÓN, J.D.; TORRES, G. Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. **Cuadernos de Geografía** 16, Bogotá, Colombia, p. 81-94, 2007.

PANDEY, S.; ASSMANN, S. The Arabidopsis putative G protein-coupled receptor GCRI interacts with the G protein α subunit GPAI and regulates abscisic acid signalling. **Plant Cell**, v. 16, p. 1616-1632, 2004.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, L. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. **Agronomía Colombiana**, v. 24, n. 1, p. 28-37, 2006.

SALAZAR, A.H.; SILVA, D.F.P.; SEDIYAMA, C.S.; BRUCKNER, C.H. Caracterização física e química de frutos de maracujazeiro-amarelo enxertado em espécies silvestres do gênero *passiflora* cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 630-638, 2015.

SOARES, F.A.L.; CARNEIRO, P.T.; GOMES, E.M.; GHEYI, H.R.; FERNANDES, P.D. Growth and production of yellow passion fruit under supplemental irrigation with saline water. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 3, n. 2, p. 151-156, 2008.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA – SSSA. **Glossary of soil science terms**. Madison: American Society of Soil Science, 2008. p. 88.

SOUSA, V.F.; FOLEGATTI, M.V.; FRIZZONE, J.A.; CORRÊA, R.A.L.; VIANA, T.A. Umidade do solo na zona radicular do maracujazeiro cultivado sob irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 365-373, 2006.

SOUSA, V.F.; FRIZZONE, J.A.; FOLEGATTI, M.V.; VIANA, T.V. Eficiência do uso da água pelo maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 302-306, 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **SAS version 9.0**. Institute Cary, N.C., 2002.

STAVELEY, G.W.; WOLSTENHOLME, B.N. Effects of water stress on growth and flowering of *Passiflora edulis* Sims grafted to *P. caerulea* L. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 275, p. 551-558, 1990.

SUN, J.; DAI, S.; WANG, R.; CHEN, S.; ZHOU, X.; SHEN, X.; ZHENG, X.; ZHANG, Z.; SONG, J.; XU, Y. Calcium mediates root K⁺/Na⁺ homeostasis in poplar species differing in salt tolerance. **Tree Physiology**, v.29, p.1175-1186, 2009.

SUZUKI, N.; BASSIL, E.; HAMILTON, J.; INUPAKUTIKA, M.; ZANDALINAS, S.; TRIPATHY, D.; LUO, Y.; DION, E.; FUKUI, G.; KUMAZAKI, A.; NAKANO, R.; RIVERO, R. ABA is required for plant acclimation to a combination of salt and heat stress. **Plos One**, v. 11 n. 1, p 1-21, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 613-641.

YAO, X.; HORIE, T.; XUE, S.; LEUNG, H.Y.; KATSUHARA, M.; BRODSKY, D.E.; SCHROEDER, J.I. Differential sodium and potassium transport selectivities of the rice OsHKT2;1 and OsHKT2;2 transporters in plant cells. **Plant Physiology**, v. 1, p. 341-355, 2010.

CAPÍTULO 2 – ACÚMULO DE PROLINA E ÍONS EM QUATRO ESPÉCIES DE *Passiflora* SOB ESTRESSE HÍDRICO-SALINO

RESUMO

O estresse hídrico-salino destaca-se entre os fatores que limitam o crescimento e a produção das culturas, induzindo modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores. Objetivou-se avaliar a resposta de 10 acessos de *Passiflora* ao estresse hídrico e salino, e acúmulo de prolina e os teores de macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. As plantas foram cultivadas em condições controladas por sete meses, irrigadas com solução nutritiva com adições de NaCl (100mM) até atingir as condutividades desejadas (1,5; 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹) e umidades do substrato constantes em 100%, 66% e 33%. A concentração de Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e prolina nas folhas foi determinada pelo método proposto por Bates et al. (1973). O acúmulo de prolina aumentou em plantas salinizadas, especialmente em folhas jovens. Evidenciou-se aumento de prolina nos acessos tolerantes e moderadamente tolerantes à salinidade. Esses resultados indicaram que a tolerância ao sal e ao estresse hídrico em *Passiflora* está relacionada com melhor capacidade de exclusão de sódio e maior capacidade de acumular prolina para ajuste osmótico. O aumento da salinidade da solução nutritiva elevou os teores de sódio, as relações Na⁺/Ca⁺⁺, Na⁺/Mg⁺⁺ e Na⁺/K⁺ e reduziu os teores de cálcio, magnésio e potássio, refletindo, dessa forma, no desequilíbrio nutricional causado pelo estresse salino progressivo.

Palavras chave: prolina, NaCl, estresse abiótico.

INTRODUÇÃO

A fruticultura colombiana obteve acelerado desenvolvimento nos últimos anos, em razão do aumento do consumo interno e também do crescimento das exportações de frutas. Concomitantemente, houve expansão da agroindústria processadora de frutas, favorecendo o desenvolvimento de polos frutícolas em determinadas regiões (AGRONET, 2015). Uma vantagem da cultura do maracujazeiro do ponto de vista social é que a produção, geralmente, ocorre em pequenas propriedades; a maioria no contexto de agricultura familiar, com área cultivada variando de 1 a 5 hectares. As necessidades de tratos culturais fazem com que a atividade seja exigente em mão de obra, principalmente nas fases de plantio, floração (polinização) e colheita (PIMENTEL et al., 2009). Nesse sentido, o incentivo para a cultura do maracujazeiro pode contribuir para o desenvolvimento regional, tanto pela geração de emprego e renda no campo quanto pela

característica fundiária local, em que predominam pequenas propriedades de agricultores familiares. A principal restrição à produção é a disponibilidade de umidade, fator restritivo à produção em regiões com regime de chuvas limitado, como Guajira, norte de Cesar, alguns municípios do Atlântico, Bolívar, Sucre, Córdoba, triângulo do café, Santander e Cundinamarca, áreas onde são apresentadas diminuições na precipitação, com valores acima de 60% da redução da precipitação normal (PABÓN; TORRES, 2007).

Na maioria das plantas cultivadas, a sensibilidade às condições de salinidade e seca está associada com a incapacidade para prevenir e, ou, tolerar concentrações elevadas de sais. Em vista disso, considera-se que a capacidade de exclusão dos sais é um dos principais mecanismos de tolerância (GARCIA; MEDINA, 2009). Igualmente, têm sido associados com a tolerância aos sais a capacidade de compartimentação de íons tóxicos nas folhas maduras ou partes de menor sensibilidade desses (MUNNS et al., 2006) e a manutenção de seletividade na absorção e transporte de K^+ , na presença de Na^+ (RODRÍGUEZ-NAVARRO; RUBIO, 2006). A capacidade das raízes para reduzir a absorção de sais e, ou, retê-los localmente pode ser crucial para evitar que quantidades potencialmente tóxicas cheguem a porções da haste mais jovem (MUNNS, 2005).

A capacidade para assegurar o ajuste osmótico visando garantir o fluxo de água para dentro das células é fator importante para plantas expostas ao sal e à seca (MUNNS, 1988). Os íons inorgânicos mais importantes para o ajuste osmótico são K^+ , Na^+ e Cl^- , mas, também, outros solutos orgânicos são importantes, entre esses o mais associado com a tolerância ao sal são os açúcares solúveis (ABDEL, 2007) e a prolina (KUZNETSOV; SCHEVYAKOVA, 1999; ABDEL 2007). Normalmente, esses níveis de solutos aumentam quando as plantas estão sujeitas a estresse por salinidade e seca (RHODES et al., 2002). Embora haja uma série de pesquisas relacionadas ao estresse hídrico, principalmente a orientada para as relações hídricas, a fotossíntese e a acumulação de diferentes metabolitos orgânicos, ainda não são bem conhecidas as rotas metabólicas onde o estresse prejudica a planta, nem mecanismos adaptativos utilizados pelas plantas para sobreviver a essas condições adversas (HIENG et al., 2004).

Para reduzir os efeitos negativos da disponibilidade limitada de umidade, é conveniente selecionar espécies vegetais ou genótipos que têm indicadores distintos de tolerância ao estresse hídrico (MUNNS, 2002). Indicadores fisiológicos como a concentração de prolina, hidratos de carbono e enzimas antioxidantes proporcionam informação, indicando que espécies de plantas possuem potencial para se adaptarem ao

ambiente de estresse hídrico-salino e, desse modo, cumprirem o ciclo de vida delas. Plantas superiores em relação aos indicadores agronômicos (altura da planta, comprimento de raiz e área foliar) são passíveis de seleção de componentes complexos, como a tolerância à seca (YEO, 1994). No entanto, há pouca informação sobre os mecanismos fisiológicos que determinam o comportamento diferencial em passifloras. Objetivou-se, neste trabalho, determinar o papel de capacidade de exclusão de Na^+ , a compartimentação íons dentro das folhas, a seletividade relativa de K^+ na presença de Na^+ e o acúmulo de prolina para ajuste osmótico, na sensibilidade diferencial à salinidade na cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições hidropônicas, em casa de vegetação no setor de Sistemas de Produção hidropônica, do Departamento de Produção Agropecuária, na Universidade de Caldas. O município de Manizales situa-se no triângulo do café, ao centro do departamento de Caldas, em coordenadas $5^{\circ}03'23.31''\text{N}$ e $75^{\circ}29'41.56''\text{O}$, altitude de 2.130 m, com temperatura média externa de 18°C , precipitação média anual de 2.000 mm e umidade relativa de 78%.

Foram usados 11 acessos elites (Tabela 1, capítulo 1), de quatro espécies de *Passiflora* de interesse comercial, com prévia caracterização e avaliação do grau de variabilidade genética de maracujá cultivado na Colômbia, como base para um programa de melhoramento, por Ocampo et al. (2013), e procedente de diferentes bancos de germoplasma de diversas instituições. De cada acesso, foram semeadas 240 sementes, que germinaram em bancada hidropônica contendo casca de arroz como substrato, que foi mantido permanentemente úmido até o momento do transplante das mudas. Depois de 15 dias de germinação, 54 mudas foram selecionadas de cada acesso, assegurando a maior uniformidade possível do sistema radicular. Subsequentemente, as plântulas foram transferidas para as bancadas hidropônicas de 6 m de comprimento e 1,2 m de largura para assegurar que a lâmina de irrigação, de acordo com os tratamentos preestabelecidos (porcentagem de saturação de água de 100%, 66% e 33% e níveis de saturação de sais CE: $1,5\text{ dS m}^{-1}$; $2,5\text{ dS m}^{-1}$; 4 dS m^{-1} ; e $5,5\text{ dS m}^{-1}$) fossem aplicados segundo o delineamento experimental. Foi utilizado o sistema de condução em espaldeira vertical, com fio de arame galvanizado número 12, distando 2 m do piso da bancada hidropônica

da estufa. As mudas foram conduzidas em haste única, com desbrota dos ramos laterais, semanalmente. Quando as hastes ultrapassaram o fio de arame em 20 cm, essas foram curvadas para baixo, formando uma alça. Foram mantidos os ramos secundários e terciários.

Oito dias após o transplântio, começou o tratamento de salinização com aplicação de NaCl (100 mol m^{-3}) até obter a condutividade elétrica desejada em cada tratamento. A irrigação foi efetuada de acordo com os tratamentos preestabelecidos, e um tratamento testemunha foi mantido, em que as plantas foram regadas com solução nutritiva sem suprimento adicional de sais. O experimento foi instalado em delineamento de parcelas subsubdivididas, onde a parcela foi o percentual de saturação de água em relação à exigência da cultura (100%, 66% e 33%). A subparcela foi composta pelos níveis de saturação de sal (CE: $1,5 \text{ dS m}^{-1}$; $2,5 \text{ dS m}^{-1}$; 4 dS m^{-1} ; e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$), e nas subsubparcela estavam os 11 acessos de Passiflora em arranjo completamente aleatório com cinco repetições, onde a unidade experimental era uma planta.

Foi usada solução nutritiva universal de Hoagland e Arnold (1950) modificada, composta por KH_2PO_4 ; KNO_3 ; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; NaNO_3 ; NH_4NO_3 ; Fe-EDTA; H_3BO_3 ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ANEXOS A e B). Para garantir a salinidade do tratamento, cada solução foi levada a um valor de CE: $1,5 \text{ dS m}^{-1}$; $2,5 \text{ dS m}^{-1}$; 4 dS m^{-1} ; e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, com a adição de cloreto de sódio de nível reativo (99,9% de pureza). Para avaliar a interação entre a porcentagem de saturação de água e salinidade, foram adicionadas as porcentagens de água (100%, 66% e 33%) de cada solução-padrão com diferentes valores de condutividade elétrica ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$; $2,5 \text{ dS m}^{-1}$; 4 dS m^{-1} ; e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$) para cada uma das unidades experimentais dos acessos a serem avaliadas.

A determinação de prolina e de íons foram realizadas 150 e 250 dias, respectivamente, após o início do tratamento do estresse hídrico-salino em três plantas selecionadas aleatoriamente por tratamento, nas quais foi amostrada a terceira folha totalmente expandida, excluindo nervura central. Depois de coletar as amostras, essas foram processadas imediatamente.

Determinação de prolina

A concentração de prolina foi determinada nas amostras obtidas em 30 de julho de 2015, de acordo com o método proposto por Bates et al. (1973). Pesou-se 0,5 g de folhas frescas, que foram maceradas com 5 mL de ácido sulfossalicílico a 3%, com

posterior agitação vigorosa durante 60 min e, por fim, centrifugou-se a 6.000 rpm durante 30 min. Uma alíquota de 2 mL desse sobrenadante, para o qual adicionou-se 1,0 mL de ácido ninhidrina, 1,0 mL de ácido acético glacial e 1,0 mL de ácido acético, foi agitada por 20 s, depois incubada durante 60 min a 100°C, seguida de banho frio; e 3 mL de tolueno foram adicionados com agitação vigorosa. Após, leu-se a absorvância a 520 nm. Foi feita uma curva de calibração utilizando seis diluições de concentração crescente (0,333 até 13.300 µM), a partir da solução-estoque de prolina (40 µM). Essas soluções foram submetidas à análise espectrofotométrica (espectrofotômetro Nanocolor UV/vis). Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

Uma vez obtidas as amostras, estas foram secas durante 48 h a 60° C, em estufa de convecção de ar forçado (Thelco - modelo 6557). O material seco a partir de cada amostra foi moído em moinho com malha de 1 mm de diâmetro (Foss - Ciclotec 1093) e usado para definir a concentração de Na⁺, K⁺ e Ca⁺⁺. A discriminação da porcentagem de cinzas, umidade e matéria seca foi feita pelo método AOAC (1990). A quantificação do teor de Na⁺, K⁺ e Ca⁺⁺ foi realizada por absorção atômica (Thermo line 969). Com os dados, foram calculados a concentração de cada um desses íons em porcentagem, em 100 g de folhas secas, e a relação de K⁺/Na⁺. Na determinação de íons, o acesso m13 não foi considerado por perda de unidade experimental.

Para avaliação estatística dos resultados, realizaram-se análise de variância e comparação de médias pelo teste de Duncan, usando o pacote estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 1, é evidente a linearidade dos dados ($R^2 = 0,933$). Os dados da inclinação e intercepção relatados na equação da linha foram utilizados para calcular a concentração de prolina nas diferentes amostras (Figura 2).

De acordo com a interação do estresse salino e hídrico e dos diferentes níveis de cada um desses fatores de estresse, verificou-se que a condição de alta salinidade (5.5 dS m⁻¹) é a que promove o maior acúmulo de prolina (Tabela 1).

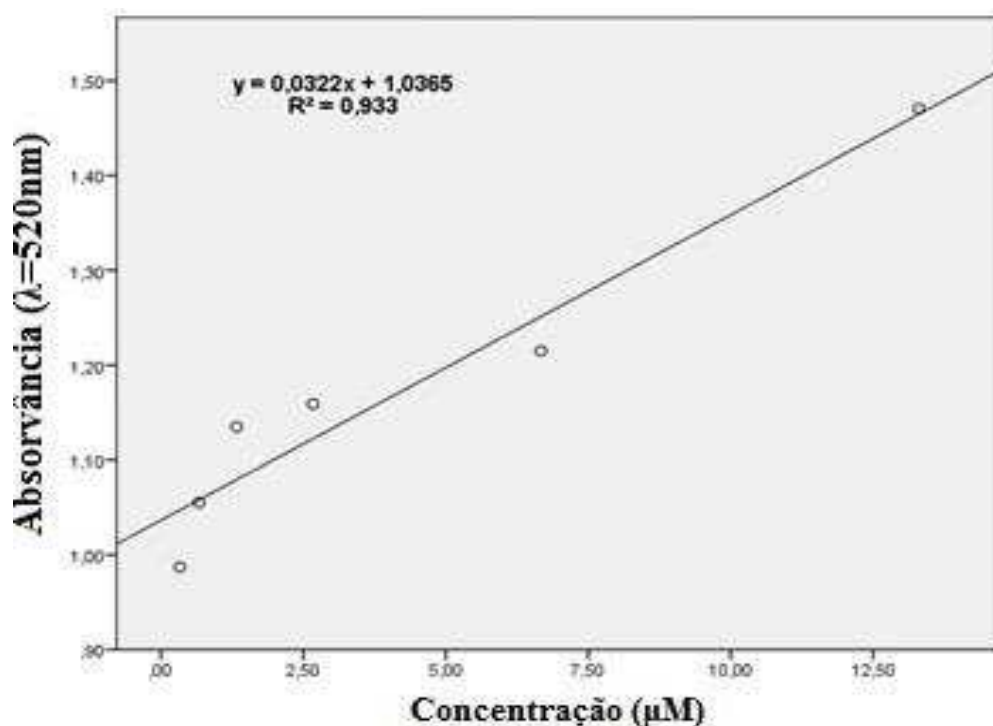


Figura 1 – Curva de calibração obtida a partir dos dados de absorvância e concentração das diluições de prolina.

O aminoácido prolina é um dos metabólitos que se acumula mais frequentemente em plantas sob condições de estresse hídrico e salino, considerado-se que essas estão envolvidas num mecanismo de resistência ao estresse (HERRERA et al., 2012).

As concentrações de prolina livre em condições de umidade e salinidade ideais (100% e 1.5 dS m⁻¹) foram indetectáveis, de acordo com a curva de calibração, da mesma maneira que foram indetectáveis em condições de 100% umidade e 4.0 dS m⁻¹. Segundo Marijuan e Bosch (2013), esse mecanismo de ajuste osmótico (acumulo de prolina) confere proteção por curtos períodos de tempo de estresse e é importante quando as condições não tardam a se normalizar, não sendo as concentrações de prolina livre favorecidas com o aumento da salinidade para 4,0 ds m⁻¹ e 100% umidade (Figuras 2A e 2E).

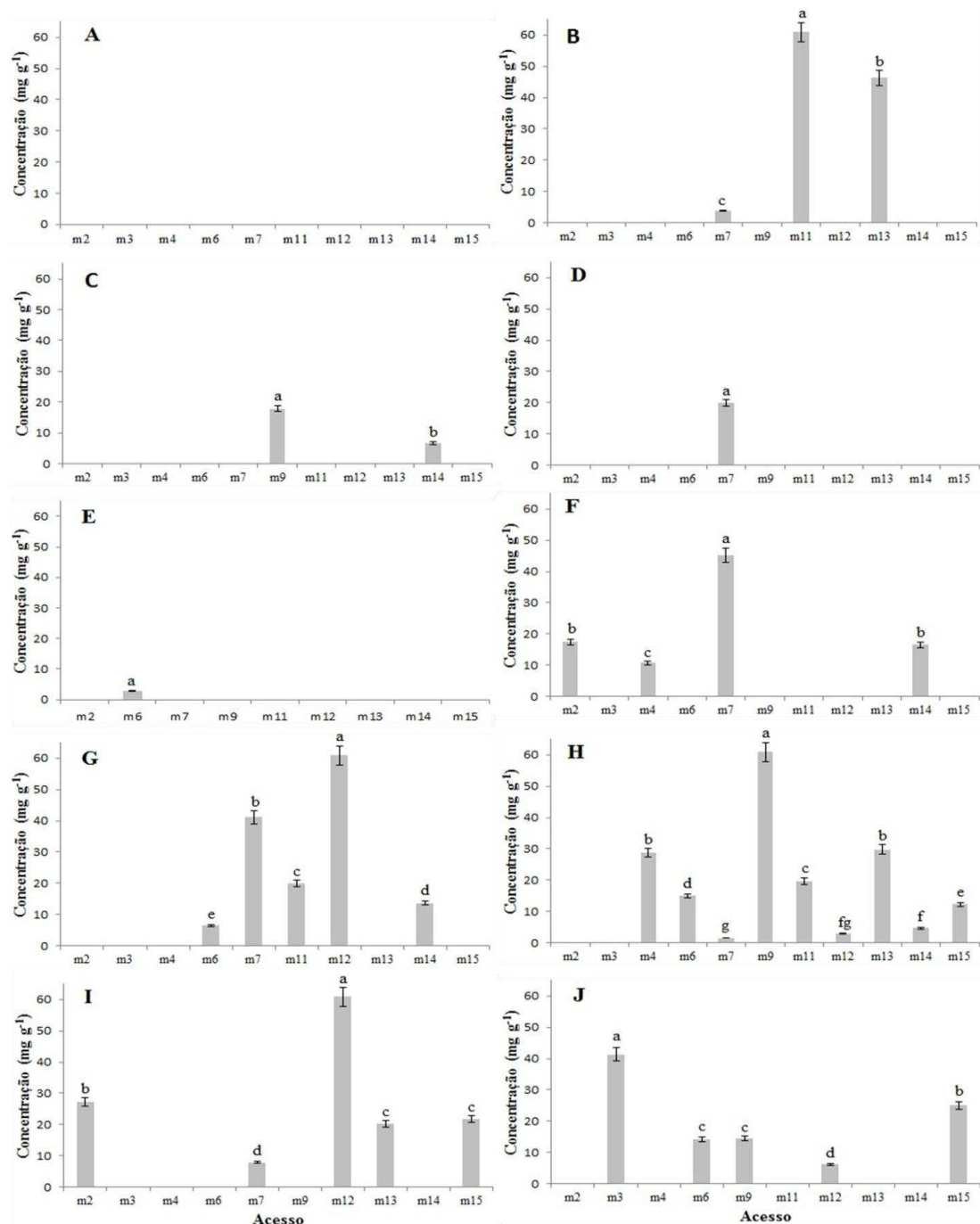


Figura 2 – Acúmulo de prolina, em mg g⁻¹, de 11 acessos de passifloras em estresse por salinidade e seca, aos 150 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice estatístico: colunas são as médias $\pm$ desvio-padrão (n= 33) e as médias comparadas pelo teste de Duncan (P<0,05). *Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente (P <0,05), de acordo com o teste de Duncan. ND Valores negativos equivalentes indetectáveis, de acordo com a curva de calibração. **A.** Salinidade de 1,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **B.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **C.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; **D.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; **E.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **F.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; **G.** Salinidade e 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; **H.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **I.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e **J.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

Tabela 1 – Influência da umidade e salinidade no conteúdo de prolina (mg g^{-1}) em 11 acessos de passifloras em Manizales, Caldas, Colombia

Condição	Prolina (mg g^{-1})
Umidade (%)	
100	-6.2146 ND
66	-0.7278 ND
33	-3.1153 ND
Salinidade (dS m^{-1})	
1.5	-25.5497 ND
2.5	-7.7759 ND
4.0	-3.5942 ND
5.5	8.590

ND Valores negativos equivalentes indetectáveis, segundo a curva de calibração (Figura 1).

Os acessos avaliados apresentaram maior conteúdo de prolina a partir do substrato com 66% e 33% de umidade, bem como com o acréscimo da condutividade elétrica de 5.5 dS m^{-1} . Houve diferença significativa entre a concentração de prolina encontrada para baixo teor de salinidade (2.5 dS m^{-1}) e níveis elevados (5.5 dS m^{-1}), comportamento semelhante aos achados para os diferentes conteúdos de umidades intermediária (66%) e baixa (33%). Os acessos m15, m12, m9, m6 e m3, respectivamente, apresentaram maior concentração de prolina livre em condições de alta salinidade (5.5 dS m^{-1}) e em baixa umidade (33%). Para as condições de umidade intermediária (66%), os acessos m15, m13, m12, m7 e m2 evidenciaram maior concentração de prolina respectivamente. Já para as condições de 100% de umidade e com salinidade de 5.5 dS m^{-1} , os acessos m15, m14, m13, m11, m9, m6 e m4 apresentaram maior concentração de prolina livre com condutividades elétricas de 5.5 dS m^{-1} , respectivamente, não sendo tão marcante o aumento da concentração de prolina com a diminuição da condutividade elétrica.

O maior acúmulo de prolina na folha avaliada correspondeu aos acessos possivelmente mais sensíveis (m3, m4, m6, m7, m9). A presença de níveis mais elevados desse aminoácido em tecidos de folhas não se refletiu numa redução menor no crescimento desse genótipo (capítulo 1), indicando que o acúmulo desse aminoácido nesses acessos é mais que um sensor de danos pelo efeito tóxico de sais, mais do que um mecanismo de tolerância a esses. Conclusão semelhante foi observada por Wahid (2004)

e Garcia e Medina (2003) em genótipos de cana sensível a altas condutividades elétricas com 15,5 e 8,5 dS m⁻¹, respectivamente. A prolina é um dos solutos compatíveis que se acumula em maior quantidade, em condições de estresse, em comparação com outros aminoácidos, indicando que, nessas condições, a prolina é sintetizada em “células-fonte” e transportada para "tecidos de demanda", conhecidos como pontos de crescimento, usando a energia fornecida por compostos orgânicos.

Herrera et al. (2012), Voetberg e Sharp (1991) e Verslues e Sharp (1999) documentaram que, em resposta a algum tipo de estresse (seca, salinidade ou frio), as células vacuoladas da ponta da raiz acumulam altos níveis de prolina no estroma do cloroplasto e no citoplasma, enquanto outros solutos (açúcares, ácidos orgânicos, potássio) se acumulam no vacúolo. Dado que o citoplasma representa pequena fração do volume das células, as concentrações locais de prolina no citoplasma podem ser muito mais elevadas do que o nível da massa de tecido (VERSLEUS; SHARMA, 2010). Além disso, também tem sido reconhecido que as funções de proteção de prolina podem ser compartilhadas com solutos compatíveis especializados que se acumulam durante o estresse, como glicina, betaina e álcoois de açúcar (VERSLEUS; SHARMA, 2010), sugerindo que acumulação de prolina pode depender dos níveis de hidratos de carbono como sacarose (HARE; CRESS, 1997).

Os acessos sensíveis (m2, m3, m4, m6, m12, m13 e m14) ao estresse salino-hídrico, especificamente os acessos m3, m6 e m12, apresentaram mais acúmulo de prolina que o acesso tolerante (m15). Singh e Rai (1981) encontraram em *Cicer arietinum* L. que o cultivar suscetível acumulou mais prolina que o cultivar tolerante. Este último apresentou valores mais elevados de prolina na raiz, e o primeiro acumulou mais prolina na parte aérea. Pode-se supor que a prolina tem comportamento semelhante ao ácido abscísico (ABA) que, como a nicotina, é sintetizada nas raízes e acumulada nas folhas (SKRIVER; MUNDY, 1990). Verslues e Sharp (1999) indicaram que o catabolismo de prolina no crescimento da raiz primária do milho ocorreu tão rapidamente quanto a síntese de prolina, tendo como precursor o glutamato. O aumento do acúmulo de prolina na raiz sugere que há translocação desse aminoácido em outras partes da planta. Em estresse salino-hídrico, quando a parte aérea demanda mais prolina, essa é sintetizada pelas raízes. A esse respeito, deve-se notar que o mecanismo da síntese e a acumulo de prolina em passifloraceas são desconhecidos. Nos últimos anos, para identificar os precursores na síntese do aminoácido prolina e os mecanismos de transporte e acumulação, adicionaram-se glutamato, arginina, ornitina e prolina radioativa, para o meio de cultivo, em diversas

culturas e situações de estresse (VERSLUES; SHARP, 1999; DUNCAN; WIDHOLM, 1987; CHEN; KAO, 1993). Outros estudos são necessários para definir o acúmulo de prolina em passifloráceas em condições de estresses hídrico e salino.

Na Figura 3, apresenta-se que a salinidade do substrato afetou significativamente os teores de sódio nas folhas de *Passiflora* aos 250 DAP, aumentando os seus valores com a elevação dos níveis de salinidade do substrato. O teor de sódio nas folhas aumentou consideravelmente com o incremento dos níveis de salinidade do substrato. Por sua vez, notou-se que aos 250 DAP houve tendência de estabilização nos teores de sódio nos níveis mais elevados de salinidade do substrato, o que pode representar uma compartimentação em nível celular, haja vista a não identificação da real locação do sódio nas células das folhas estudadas neste trabalho, reduzindo assim a toxicidade por esse íon nos sítios metabolicamente ativos das folhas.

O aumento da concentração de sódio na parte aérea de passifloráceas cultivadas em ambientes salinos tem sido pouco estudado. Cruz et al. (2006) também observaram aumentos nos teores de sódio nas folhas de maracujá-amarelo cultivados em ambientes salinos. Esses autores relataram que, para o maracujá-amarelo, a moderada tolerância esteve relacionada à manutenção das concentrações de N, P, Ca^{++} e Mg^{++} nos tecidos das plantas, à capacidade de confinar os íons Cl^- nas raízes e Na^+ em folhas mais velhas e à manutenção de uma relação baixa entre Na^+ e K^+ nas raízes e folhas mais novas.

Os íons de potássio desempenham importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004). Na Figura 3, evidencia-se que salinidade do substrato influenciou significativamente os teores de potássio nas folhas de *Passiflora* aos 250 DAP, decrescendo linearmente seus valores com o aumento dos níveis de salinidade do solo.

Estudos têm demonstrado que a salinidade do solo diminui os teores de potássio na parte aérea das plantas (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000; CRUZ et al., 2007). Semelhante a este trabalho, esses autores reportaram que o aumento da concentração de sódio do meio externo ocasiona a diminuição dos teores de potássio nos tecidos das plantas de milho (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000) e de maracujá-amarelo (CRUZ et al., 2007), pois o aumento da concentração de sódio no meio radicular pode inibir a absorção de potássio em razão da relação competitiva entre esses cátions monovalentes (KAWASAKI et al., 1983).

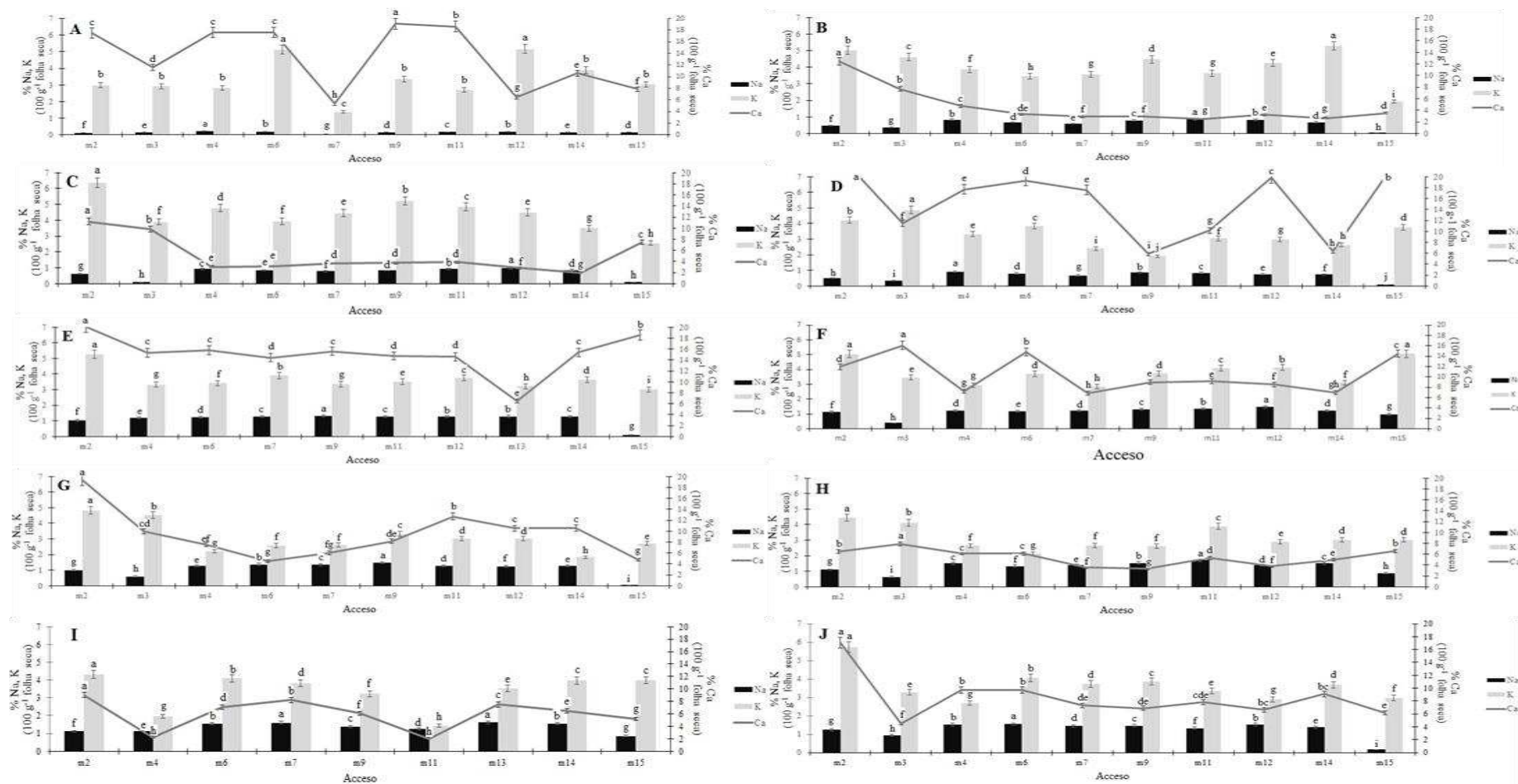


Figura 3 – Concentração de íons Na⁺, K⁺ e Ca⁺⁺, em % (100 g⁻¹ folha seca), de 10 acessos de passifloras sob estresse por salinidade e seca, aos 250 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice estatístico: colunas são as meias $\pm$ desvio-padrão (n= 30) e as médias comparadas pelo teste de Duncan (p < 0,05). *Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente (p < 0,05), de acordo com o teste de Duncan. **A.** Salinidade de 1,5 Ds m⁻¹ e umidade de 100%; **B.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **C.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%. **D.** Salinidade de 2,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%; **E.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **F.** Salinidade de 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 66%; **G.** Salinidade e 4,0 dS m⁻¹ e umidade de 33%; **H.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 100%; **I.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 66%; e **J.** Salinidade de 5,5 dS m⁻¹ e umidade de 33%.

O estresse salino promove aumento no efluxo citossólico de potássio nas raízes das plantas; essa perda pode ser resultado direto de trocas osmoticamente induzidas na permeabilidade do plasmalema, como também da substituição de cálcio por sódio na membrana, abrindo canais para o potássio (GARCIA et al., 2007).

A salinidade do substrato interferiu significativamente nos teores de cálcio em folhas de passifloraceas aos 250 DAP (Figura 3). Na Figura 3, é apresentado o decréscimo do teor de cálcio nas folhas com o aumento dos níveis de salinidade da solução nutritiva.

Apesar da tendência de diminuição dos teores de cálcio nas folhas aos 250 DAP, os resultados nessa fase de avaliação da cultura são considerados adequados, para os acessos m3, m7, m9 e m15, conforme os critérios estabelecidos por Taiz e Zeiger (2004) de $0,32 \text{ dag kg}^{-1}$, evidenciando existir uma relação definida entre o crescimento da planta e o teor de nutrientes em seus tecidos. Por sua vez, os teores adequados de cálcio nas folhas de Passiflora foram em razão do suprimento desse elemento pela adição desse nutriente ao substrato via água de irrigação.

De acordo com pesquisas, a salinidade diminui os teores de cálcio na parte aérea das plantas de milho (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000; GARCIA et al., 2007) e maracujá-amarelo (CRUZ et al., 2006). Semelhantemente a este trabalho, esses autores reportaram que o aumento do teor de sódio do meio externo ocasiona a diminuição dos teores de cálcio nos tecidos das plantas de milho e passifloraceas, pois o sódio desloca o cálcio do plasmalema das células radiculares, o que resulta em perda da integridade da membrana e do efluxo citossólico de solutos orgânicos e inorgânicos (CRAMER et al., 1994).

As alterações nas membranas onde o cálcio é um íon estabilizante podem conduzir a sensibilidade maior da cultura ao estresse salino, haja vista a seletividade das membranas nos processos de absorção e compartimentação iônica (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000).

Trabalhos com plantas em estresse salino têm demonstrado que a suplementação de cálcio reduz o acúmulo de sódio e mantém os níveis de potássio e metabólitos fosfatados nos tecidos radiculares, além de reduzir as perdas de fósforo (GARCIA et al., 2007).

A determinação das relações entre sódio e cálcio, magnésio e potássio ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ e Na^+/K^+) revela-se como importante variável para a seleção de plantas tolerantes a salinidade, e o estado nutricional das plantas sob estresse salino (GARCIA et al., 2007).

A salinidade do solo aos 250 DAP interferiu significativamente nas relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ em folhas de passifloraceas. Na Figura 4, apresenta-se o aumento das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ em folhas de passifloraceas com a elevação dos níveis de salinidade da solução nutritiva. O aumento das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ nas folhas com o incremento dos níveis de salinidade da solução nutritiva indicam o acréscimo na absorção de sódio em detrimento da absorção de cálcio e magnésio.

Para os acessos m2, m3, m6, m7, m9, m11, m14 e m15, as relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ aos 250 DAP (Figura 4) não representaram antagonismo entre os nutrientes ou mesmo evidenciaram toxicidade relativa ao íon sódio, pois tais relações iônicas com valores abaixo de 0,60 são considerados adequados para uma ótima eficiência metabólica em plantas glicofitas (GREENWAY; MUNS, 1980).

A manutenção de baixas relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ é importante critério na caracterização da tolerância das plantas à salinidade (SAUR et al., 1995). Uma relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ elevada faz com que o Na^+ desloque o Ca^{++} da membrana celular, induzindo a perda de sua integridade e resultando no desequilíbrio na absorção iônica e redução da seletividade de $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{++}$ nas raízes (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000).

A literatura evidencia que o aumento da concentração de sódio no ambiente radicular das plantas promove a elevação das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$. Nesse contexto, Azevedo Neto e Tabosa (2000) verificaram o aumento das relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ e $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ no limbo, na raiz, no colmo e na bainha de plântulas de milho com o incremento dos níveis de NaCl, em solução nutritiva.

A relação Na^+/K^+ que está intimamente relacionado ao grau de tolerância das culturas à salinidade, podendo ser utilizada como índice para toxicidade de sódio em razão desse íon inibir a atividade das enzimas que requerem potássio (GREENWAY; MUNS, 1980).

A salinidade influenciou significativamente a relação Na^+/K^+ nas folhas das passifloraceas aos 250 DAP, conforme a Figura 4, aumentando seus valores com o incremento dos níveis de salinidade do substrato. Observando a relação Na^+/K^+ aos 250 DAP (Figura 4), notou-se que seus valores crescem linearmente com o incremento dos níveis de salinidade da solução nutritiva, evidenciando a maior absorção e translocação de sódio, em relação ao potássio com o incremento dos níveis de salinidade do substrato, refletindo na sensibilidade da cultura ao estresse salino e induzindo um desequilíbrio iônico nas plantas; conseqüentemente, houve menor eficiência metabólica das folhas.

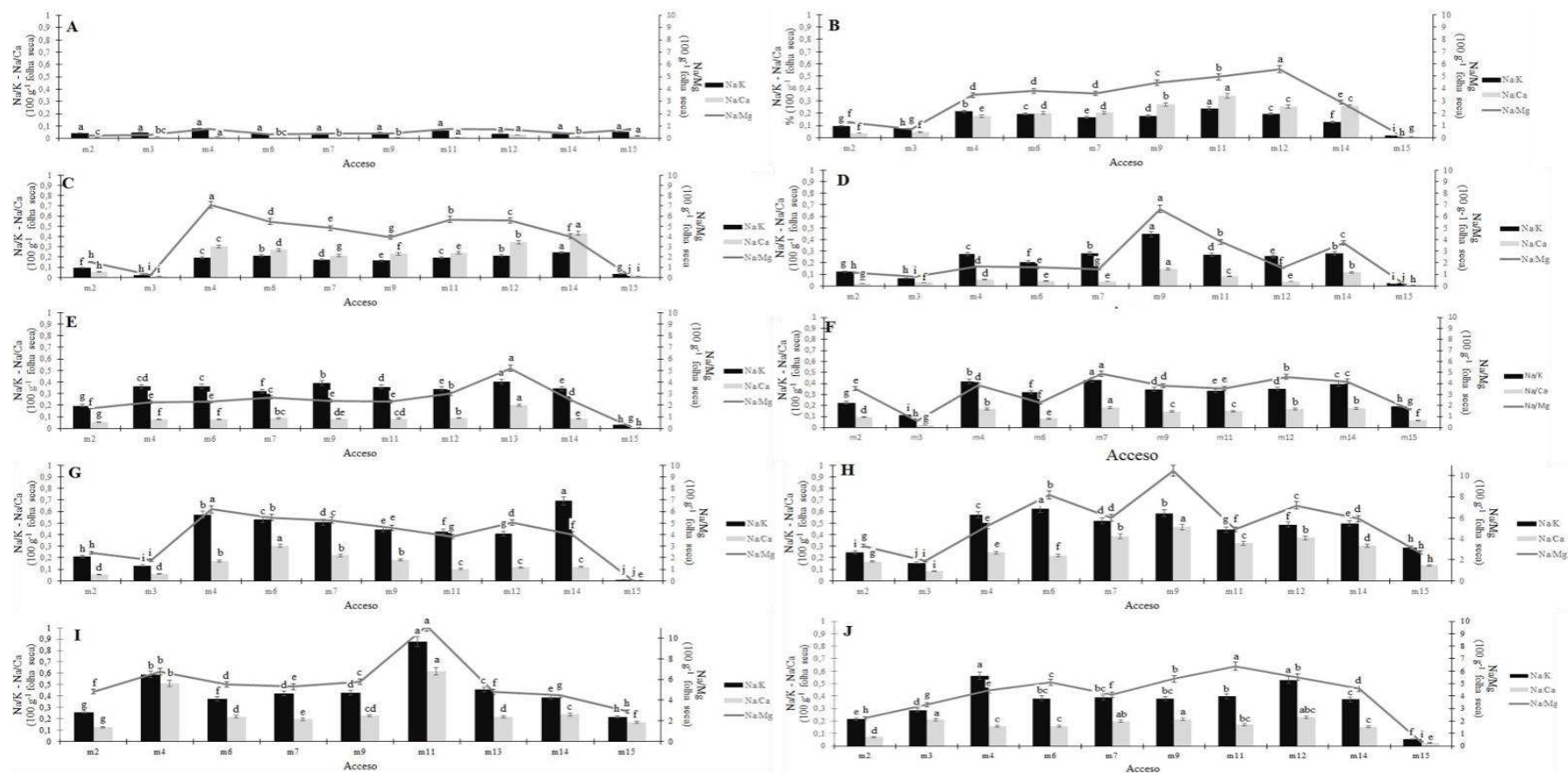


Figura 4 – Relação sódio-potássio (Na^+/K^+), cálcio ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$) e magnésio ($\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$) nas folhas de 10 acessos de passifloras sob estresse por salinidade e seca, aos 250 dias, após transplante (DAT), em Manizales, Caldas, Colômbia. Índice estatístico: colunas são as médias $\pm$ desvio-padrão ($n=30$) e as médias comparadas pelo teste de Duncan ($P<0,05$). *Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente ($P<0,05$), de acordo com o teste de Duncan. **A.** Salinidade de 1,5 dS m^{-1} e umidade de 100%; **B.** Salinidade de 2,5 dS m^{-1} e umidade de 100%; **C.** Salinidade de 2,5 dS m^{-1} e umidade de 66%; **D.** Salinidade de 2,5 dS m^{-1} e umidade de 33%; **E.** Salinidade de 4,0 dS m^{-1} e umidade de 100%; **F.** Salinidade de 4,0 dS m^{-1} e umidade de 66%; **G.** Salinidade de 4,0 dS m^{-1} e umidade de 33%; **H.** Salinidade de 5,5 dS m^{-1} e umidade de 100%; **I.** Salinidade de 5,5 dS m^{-1} e umidade de 66%; **J.** Salinidade de 5,5 dS m^{-1} e umidade de 33%.

Azevedo Neto e Tabosa (2000) e Garcia et al. (2007) indicaram o efeito competitivo entre Na^+ e K^+ , assim como a seletividade por esses íons e sua relação com a sensibilidade das plantas à salinidade. Esses autores verificaram aumento da relação Na^+/K^+ na parte aérea de plantas de milho com o incremento dos níveis de NaCl em solução nutritiva. Segundo esses pesquisadores, o desequilíbrio na absorção iônica em decorrência do aumento dos valores da relação Na^+/K^+ reduziu a seletividade dos íons de K^+ nas raízes em razão da perda da integridade das membranas em condições de salinidade.

Analizando os teores dos macronutrientes catiônicos em folhas de passifloráceas ao longo do ciclo da cultura, observou-se que houve diminuição progressiva dos teores de cálcio, magnésio e potássio juntamente com o aumento dos teores de sódio, confirmando a hipótese de que a diminuição dos teores de cálcio, magnésio e potássio nos tecidos das plantas de passifloráceas está geralmente associada ao aumento progressivo dos teores de sódio.

CONCLUSÕES

O acúmulo de prolina aumentou nos tecidos foliares, em resposta ao estresse salino, e os níveis máximos de prolina foram observados em plantas tratadas com solução de NaCl com condutividade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, o que resultou em níveis superiores de Na^+ nas folhas. Este resultado confirma a existência de relação entre o acúmulo desse aminoácido e os níveis de íons nos tecidos.

Os teores de sódio nas folhas foram elevados, seguido da redução dos teores de cálcio, magnésio e potássio aos 250 DAP, refletindo o desequilíbrio causado pelo estresse nutricional consequente do estresse salino progressivo.

As relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ e Na^+/K^+ foram aumentadas nas folhas, evidenciando-se como importantes variáveis no estudo nutricional das plantas em condições de salinidade.

REFERÊNCIAS

- ABDEL, M. Physiological aspects of mungbean plant (*Vigna radiata* L. Wilezek) in response to salt stress and gibberellic acid treatment. **Res. J. Agric. Biol. Sci.**, v. 3, p. 200-213, 2007.
- AGRONET. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. **Secretaría técnica nacional de la cadena de pasifloras**. Disponível em: <http://sioc.minagricultura.gov.co/templates/sioc_cadenas/docs/4315_27.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2015.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Method of Analysis**. 15.ed. Washington, 1990.
- AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 165-171, 2000.
- BATES, L.; WALDREN, R.; TEARE, D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- CHEN, C.T.; KAO, C.H. Osmotic stress and water stress have opositive effects on putrescine and proline production in excised rice leaves. **Plant Growth Regulation**, v. 13, p. 197-202, 1993.
- CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p. 675-692, 1994.
- CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E.F.; CALDAS, R.C.; De ALMEIDA, A.Q.; QUEIROZ, J.R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.
- DUNCAN, D.R.; WIDHOLM, J.M. Proline accumulation and its implication in cold tolerance of regenerable maize callus. **Plant Physiology**, v. 83, p. 703-708, 1987.
- GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; NEVES, J.C.L.; MORAES, W.B.; SANTOS, D.B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **IDESIA**, v. 25, n. 3, p. 93-106, 2007.
- GARCIA, M.; MEDINA, E. Acumulación de solutos y solutos orgánicos en dos genotipos de caña de azúcar, estresados con sales simples o suplementadas con calcio. **Bioagro**, v. 21, n. 1, p. 3-14, 2009.

GARCÍA, M.; MEDINA, E. Crecimiento y acumulación de prolina en dos genotipos de caña de azúcar sometidos a salinización con cloruro de sodio. **Revista Facultad de Agronomía**, v. 20, p. 168-179, 2003.

GREENWAY, H.; MUNS, R. Mechanisms of salt tolerance in crop plants. **Plant Physiology**, v. 31, p. 149-190, 1980.

HARE, P.D.; CRESS, W.A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 21, p. 79-102, 1997.

HERRERA, T.S.; ORTÍZ, J.; DELGADO, A.; ACOSTA, J.A. Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.3, n. 41, p. 713-725, 2012.

HIENG, B.; UGRINOVIC, K.; SUSTAR-VOZLIC, J.; KIDRIC, M. Different classes of proteases are involved in the response to drought of *Phaseolus vulgaris* L. cultivars differing in sensitivity. **Journal Plant Physiology**, v. 161, n. 5, p. 519-530, 2004.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347 p.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, v. 75, p. 75-85, 1983.

KUZNETSOV, V.; SCHEVYAKOVA, N. Proline under stress: biological role, metabolism and regulation. **Russian Journal Plant Physiology**, v. 46, p. 274-287, 1999.

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

MUNNS, R. ¿Why measure osmotic adjustment? **Australian Journal Plant Physiology**, v. 15, p. 717-726, 1988.

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

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

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

OCAMPO, J.; URREA, R.; WYCKHUYS, K.; SALAZAR, M. Exploración de la variabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. **Acta Agronómica**, v. 62, n. 4, p. 352-360, 2013.

PABÓN, J.D.; TORRES, G. Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. **Cuadernos de Geografía** 16, Bogotá, Colombia, 2007. p. 81-94.

PIMENTEL, L.D.; SANTOS, C.E.M.; FERREIRA, C.C.; MARTINS, A.A.; JUNIOR, A.W.; BRUCKNER, C.H. Custo de produção e rentabilidade do maracujazeiro no mercado agroindustrial da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 397-407, 2009.

RHODES, D.; NADOLSKA-ORCZYK, A.; RICH, P. Salinity, osmolytes and compatible solutes. In: LÄUCHLI A.; LÜTTGE, U. (Eds.). **Salinity-environment-plants-molecules**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 181-204.

RODRÍGUEZ-NAVARRO, A.; RUBIO, F. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. **Journal Experimental Botany**, v. 57, p. 1149-1160, 2006.

SAUR, E.; LAMBROT, C.; LOUSTAU, D.; ROTIVAL, N.; TRICHET, P. Growth and uptake of mineral elements in response to sodium chloride of three provenances of maritime pine. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 2, p. 243-256, 1995.

SINGH, G.; RAI, V.K. Free proline accumulation and drought resistance in *Cicer arietinum* L. **Biologia Plantarum (Praha)**, v. 23, p. 2, 1981.

SKRIVER, K.; MUNDY, J. Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress. **The Plant Cell**, v. 2, p. 503-512, 1990.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **SAS version 9.0**. Institute Cary, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 719.

VERSLUES, P.E.; SHARMA, S. Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. **The Arabidopsis Book**, v. 8, e0140, 2010. doi:10.1199/tab.0140.

VERSLUES, P.E.; SHARP, R.E. Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. II. Metabolic source of increased proline deposition in the elongation zone. **Plant Physiology**, v. 119, p. 1349-1360, 1999.

VOETBERG, G.S.; SHARP, R.E. Growth of the maize primary root at low water potentials. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment. **Plant Physiology**, v. 96, p. 1125-1130, 1991.

WAHID, A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v. 45, p. 133-141, 2004.

YEO, A.R. Physiological criteria in screening and breeding. In: YEO, A.R.; FLOWERS, T.J. (Ed). **Soil mineral stresses**: approaches to crop improvement. Berlin: Springer-Verlag, 1994. p. 37-60.

CAPÍTULO 3 – ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO NO CONTROLE E REGULAÇÃO DO TEOR DE SAL EM *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney

RESUMO

Passiflora tarminiana é uma glicofita trepadeira, nativa da região andina. Embora seja exposta à condição salina e ao estresse hídrico moderado, essa planta cresce, normalmente, sem sintomas de toxicidade. A excreção de sal, os parâmetros de crescimento e as concentrações de íons excretados foram examinados em plantas cultivadas durante sete meses, submetidas a diversos níveis de salinidade [(NaCl) 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹ (25, 40 e 55 mM)] e de estresse hídrico moderado (33% e 66% de umidade no substrato). Avaliaram-se cristais de sal e estruturas da epiderme foliar. O experimento foi conduzido na unidade de produção hidropônica em Manizales, Caldas, na Colômbia, localizada a 2.130 m de altitude, com temperatura média externa de 18 °C, precipitação média anual de 2.000 mm e umidade relativa média de 78%. Avaliou-se o acesso comercial *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney c. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas, onde a parcela constitui em percentual de saturação de água (100% e 33%), a subparcela em níveis de saturação de sal (CE: 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹), com cinco repetições, e unidade experimental composta por uma planta. Observou-se excreção de sais na superfície adaxial em folhas de *P. tarminiana*, possivelmente devido as glândulas especiais excretoras de sal. Além dessas glândulas, foram observadas também outras estruturas da epiderme como papilas e tricomas, as quais provavelmente estão envolvidas na tolerância de *P. tarminiana* à salinidade.

Palavras chave: adaptações de plantas, fisiologia do estresse, *Passiflora* spp., estresse abiótico, salinidade.

INTRODUÇÃO

Em plantas halófitas, a excreção de sal representa uma estratégia de adaptação que permite o controle e a regulação do teor de sal nos órgãos da planta, em especial nos fotossintéticos (BARHOUMI et al., 2007). A excreção de sal é mediada por glândulas específicas espalhadas sobre as superfícies da folha. Essa tática é comum em plantas de diversos gêneros e famílias, como Plumbaginaceae, Avicenniaceae, Tamaricaceae, Frankeniaceae (WASEL, 1972). Na família Poaceae, há quatro gêneros tipicamente excretoras de sais: *Spartina*, *Aeluropus*, *Distichlis* e *Chloris* (LEVERING; THOMSON, 1971; BARHOUMI et al., 2007). Em plantas halófitas, a resposta ao estresse salino ocorre por meio do acúmulo de íons inorgânicos na regulação osmótica e manutenção do equilíbrio hídrico. As glicofitas geralmente excretam ou eliminam sal ou o translocam

para outros órgãos, como raízes e caules, sendo o ajuste osmótico dependente da síntese de solutos orgânicos compatíveis (SHANNON et al., 1994). As estratégias de ajuste osmótico em plantas halófitas e glicofitas têm alto custo de manutenção fisiológico, determinado pela extensão e eficiência de síntese de compostos orgânicos, transporte de íons e reparação, alternando estruturas e componentes celulares (YEO, 1983). Em geral, as plantas halófitas em relação às glicofitas têm maior capacidade para acumular íons nas células da parte aérea. Contudo, são escassas as informações sobre a excreção de sal como estratégia de adaptação que permite o controle e a regulação do teor de sal nos órgãos das plantas da espécie *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney, que são predominantemente glicofitas.

Algumas plantas resistentes à salinidade, como *Tamarix* sp. e *Atriplex* sp. não eliminam íons pelas raízes, e a excreção se dá por glândulas de sal na superfície das folhas. Os íons são transportados para essas glândulas, onde o sal cristaliza e já não é prejudicial (TAIZ; ZEIGER, 2004). Em geral, as halófitas possuem capacidade maior de acúmulo de íons em células da parte aérea do que as glicofitas. O estresse pela salinidade é resultado do acúmulo de sal no solo. Algumas espécies halófitas são altamente tolerantes ao sal, porém a salinidade reduz o crescimento e a fotossíntese em espécies mais sensíveis. O dano pelo sal decorre do decréscimo do potencial hídrico no solo, que torna a água do solo menos disponível, e favorece o acúmulo de íons específicos em concentrações prejudiciais. As plantas evitam o dano provocado pelo sal por meio da eliminação de íons pelas folhas ou por compartimentação de íons em vacúolos. Alguns determinantes moleculares da exclusão de Na^+ e da compartimentação vacuolar têm sido discriminados, estabelecendo-se uma sinalização, denominada SOS (Salt Overly Sensitive), que regula a expressão desses genes envolvidos na homeostase iônica (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As características morfológicas, geralmente, são utilizadas na identificação e caracterização de espécies de *Passiflora*. Neste estudo, esses aspectos são abordados como avaliação à tolerância de estresses abióticos. Estudos recentes têm mostrando características anatômicas potencialmente úteis nessa avaliação. Zerpa e Otahola (2014) constataram que as espécies *P. quadrangularis* L. e *P. ligularis* Juss apresentaram cristais e drusas em tecido parenquimático do córtex, cilindro central do caule, pecíolo e nervura, estudando os caracteres de cada espécie com vistas a análises comparativas. García et al., (2008) estudaram a anatomia da folha de *P. guazumaefolia* e *P. aff. Tiliaefolia*, a fim de pesquisar a possível existência de aspectos histológicos foliares de importância

taxonômica. Esses autores verificaram a presença de cristais na nervura central e no pecíolo de *P. guazumaefolia*.

O mecanismo de excreção é caracterizado por elevada seletividade em favor do sódio e oposto ao potássio e ao cálcio (POLLAK; WAISEL, 1979). Além disso, a excreção de cloreto tem sido observada em muitas halofitas. No entanto, a excreção de cristais de NaCl não tem sido relatada em *P. tarminiana*. Do mesmo modo, o impacto da restrição de sal sobre o desenvolvimento e a abundância das estruturas envolvidas na excreção de sal, como as glândulas, não foi pesquisado. Os objetivos deste trabalho foram pesquisar a capacidade de desenvolvimento de *P. tarminiana* em altos níveis de salinidade com excreção de sódio; e encontrar características morfológicas e estruturais que podem estar relacionadas com a resistência dessa espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e tratamento salino

Foram semeadas 240 sementes do acesso m15 (*Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney), que germinaram em bancada hidropônica, utilizando casca de arroz como substrato, e mantida permanentemente úmida até o momento do transplante das mudas. Após 15 dias de germinação, 54 mudas foram selecionadas, assegurando a maior uniformidade possível do sistema radicular. Subsequentemente, as plântulas foram transferidas para bancadas hidropônicas de 6 m de comprimento e 1,2 m de largura para assegurar a lâmina de irrigação de acordo com os tratamentos (porcentagem de saturação de água de 100% e 33% e níveis de saturação de sais CE: 2,5 dS m⁻¹ e 5,5 dS m⁻¹).

Foi utilizado o sistema de condução em espaldeira vertical, com fio de arame galvanizado numero 12, distando 2 m do piso da bancada hidropônica da estufa. As mudas foram conduzidas em haste única, com desbrota dos ramos laterais, semanalmente. Quando as hastes ultrapassaram o fio de arame em 20 cm, essas foram curvadas para baixo, formando uma alça. Foram mantidos os ramos secundários e terciários.

O tratamento de salinização com aplicação de NaCl (100 mol m⁻³) começou oito dias após o transplante até obter a condutividade elétrica desejada em cada tratamento (2,5 dS m⁻¹, 4,0 dS m⁻¹ e 5,5 dS m⁻¹). A irrigação com cada solução constituiu um tratamento paralelo de salinidade. No tratamento testemunha, as plantas foram regadas com solução nutritiva sem acréscimo adicional de sais. O experimento foi instalado em

delineamento inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas, onde a parcela continha o fator saturação de água (100% e 33%), a subparcela o fator níveis de saturação de sal (CE: 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹), com cinco repetições, e unidade experimental composta por uma planta.

Utilizou-se a solução nutritiva universal de Hoagland e Arnold (1950) modificada, composta por KH₂PO₄; KNO₃; MgCl₂. 6H₂O; MgSO₄. 7H₂O; CaCl₂. 2H₂O; CaSO₄. 2H₂O; NaNO₃; NH₄NO₃; Fe-EDTA; H₃BO₃; ZnSO₄. 7H₂O; CuSO₄. 5H₂O; MnCl₂. 4H₂O; e NaMoO₄. 2H₂O (ANEXOS A e B). Para garantir a salinidade do tratamento, ajustou-se a solução com valor de CE: 2,5 dS m⁻¹, 4,0 dS m⁻¹ e 5,0 dS m⁻¹, adicionando-se NaCl em nível reativo (99,9% de pureza). Renovou-se a solução nutritiva uma vez por semana. Após sete meses de tratamento, selecionaram-se as terceiras folhas superiores completamente expandidas para análise de digitalização das estruturas epidérmicas.

Microscopia eletrônica

Caracterizou-se a micromorfologia foliar qualitativamente (n = 4) com base em imagens digitais de superfícies foliares adaxiais e abaxiais gravadas em microscópio eletrônico de varredura ambiental (SEM Scanning Eletecron Microscope, QUANTA 250 de FEI; Philips, Eindhoven, Holanda). As amostras foram coletadas de folhas superiores, do segundo ou terceiro par a partir do ápice e do ultimo par basal das plantas submetidas a 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹. Determinou-se a composição elementar de folhas por energia dispersiva de microanálise de raios X (EDX modelo GENESIS APEX2i; Ametek GmbH, Meerbusch, Alemanha) acoplados a um microscópio eletrônico de varredura (SEM, QUANTA 250 de FEI; Fei-Philips, Eindhoven, Holanda), conforme descrito por Hunsche e Noga (2008). No procedimento SEM-EDX, os raios X gravados separadamente para os dois lados (adaxial e abaxial) das folhas frescas e após a otimização do método para as respectivas condições experimentais, e utilizados na avaliação semiquantitativa. As configurações de equipamento (Distância de trabalho 10 mm, pressão na amostra câmara de 0,3 Torr, energia do feixe 20 kV, tamanho do ponto 5,3 e amplificação de 509) foram otimizadas para recolher raios X a partir de camadas de tecidos superficiais e mais profundas, em que foram mantidas constantes durante as medições. Foram amostradas 10 repetições de cada amostra foliar. Analizaram-se estruturas epidérmicas (tricomas e estômatos) por contagem direta em três micrografias de diferentes folhas frescas. Micrografias foram tiradas aleatoriamente da porção média da segunda folha superior

diferente. Cada fotomicrografia com dimensões conhecidas e, superfície definida como a correspondente à superfície da folha pode ser determinada.

Para avaliar estatisticamente os resultados, realizaram-se a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Duncan, usando o pacote estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como relatado no capítulo anterior, *P. tarminiana* apresentou redução em seu crescimento progressivamente com o aumento da salinidade do meio, o que indica que essa espécie comportou-se como halófita facultativa, apesar de sobreviver em meio contendo $5,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Em plantas que cresceram em alta salinidade (5.5 dS m^{-1}), a excreção de sal, que é reconhecida por depósitos de cristais de sal na superfície das folhas, foi observada a olho nú (Figura 1 – a1, b1 e c3). Esses cristais estavam ausentes nas plantas do tratamento-controle, e a densidade desses cristais de sais se elevou com o aumento da salinidade do meio, principalmente com os níveis de salinidade de $2,5$ a $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Em micrografias SEM (Figura 1 – b2, c2, d1, d2 e d3), os sais foram cristalizados como um sistema cúbico, que é bem conhecido como o sistema de NaCl. Essa hipótese de exclusão de íons corrobora com EDX microanálise (Figura 2).

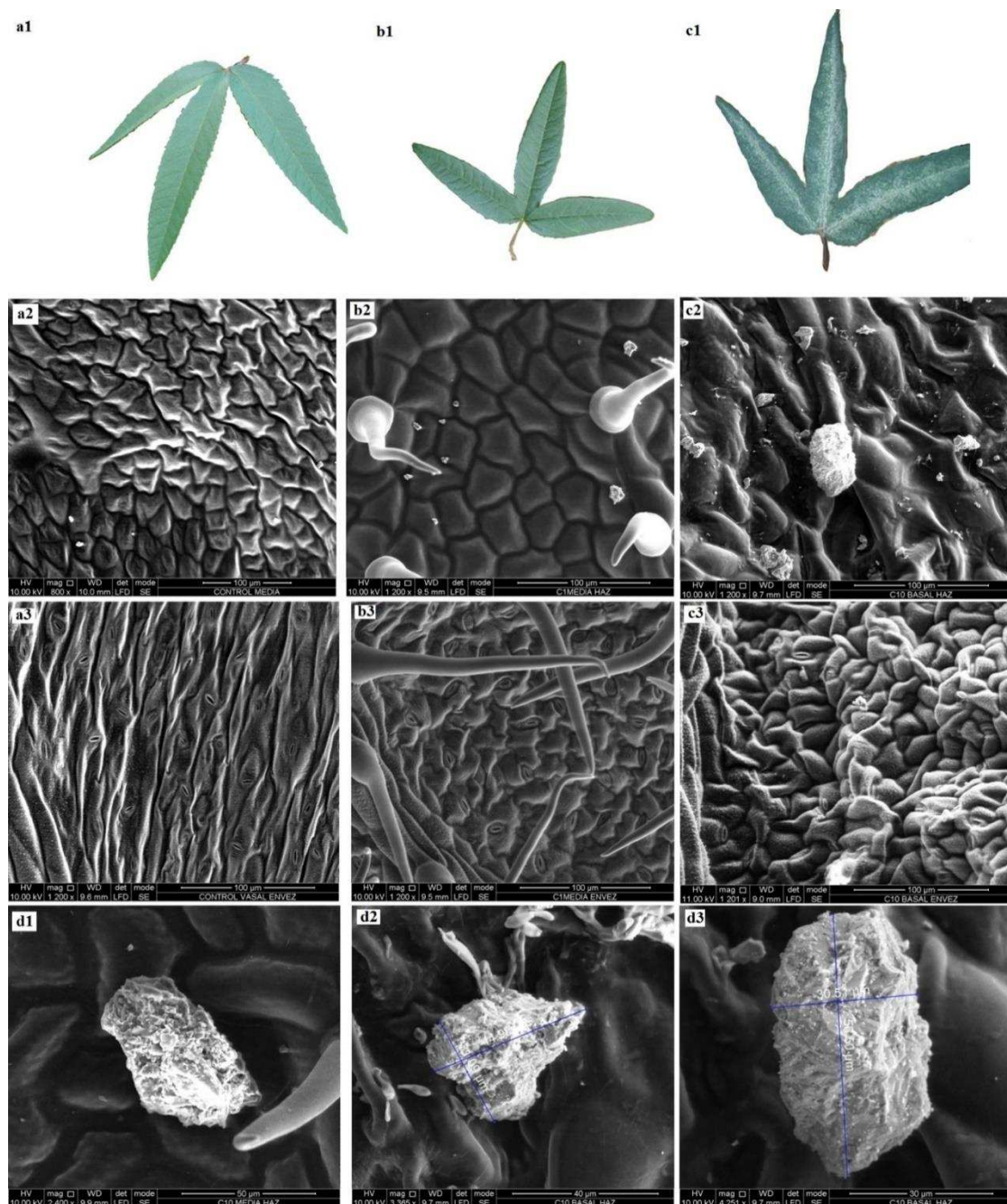


Figura 1 (a1, b1 e c1) – Excreção de sal no lado adaxial das folhas de *Passiflora tarminiana* tratadas com 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹, observada a olho nú. (a2, b2 e c2) - micrografias do lado adaxial das folhas das plantas tratadas com 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹. (a3, b3 e c3) - micrografias do lado abaxial das folhas das plantas tratadas com 2,5; 4,0; e 5,5 dS m⁻¹. (d1, d2, d3) - micrografias de cristais de sal observadas na superfície foliar adaxial de plantas tratadas com 5,5 dS m⁻¹.

Elevada seletividade a favor da excreção de sódio foi também encontrada em *Glaux maritima* (ROZEMA; RIPHAGEN, 1977). No entanto, encontraram-se pequenas e relativamente elevadas quantidades de potássio, cálcio e magnésio entre os sais excretados em *Odyssea paucinervis* e *Tamarix aphylla* (SOMARU et al., 2002). Além disso, EDX microanálise indicou que o sal depositado na superfície foliar das plantas sob estresse salino era, essencialmente, de Na (Figura 2 e Tabela 1). Cada cristal continha muitos elementos em formato cúbico e sob ele havia, provavelmente, uma glândula de sal (Figura 1 – d1, d2, d3). Hunsche et al. (2010a) estudaram os mecanismos de tolerância à salinidade em mudas de *Grewia tenax* (Forssk.) Fiori e de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) cultivadas em condições controladas e tratadas diariamente com soluções de NaCl e confirmaram por microanálise de raios X de energia dispersiva, em ambas as espécies, que a absorção de sódio e de cloro se elevaram com o aumento da concentração de NaCl na solução do tratamento. A salinidade afeta quase todos os processos fisiológicos e bioquímicos da planta (CUARTERO et al., 2006), enquanto os mecanismos fisiológicos subjacentes à tolerância ao sal de *P. tarminiana* ainda não são totalmente compreendidos.

A tolerância de plantas a estresses abióticos é um fenômeno complexo e, aparentemente, com controle multigenico (CHAVES et al., 2008; JENKS et al., 2007; SAIRAM; TYAGI, 2004). Em geral, a espécie *P. tarminiana* utiliza mecanismos celulares funcionais específicos para evitar ou corrigir os efeitos deletérios de sais absorvidos. Em espécies de *Passiflora* sensíveis ao sal, facilmente evidenciam-se os efeitos do estresse abiótico sobre a fotossíntese, a transpiração e o crescimento. Já em espécies tolerantes, tais mudanças são expressas somente em altas doses ou após a exposição prolongada ao estresse salino.

Quando as plantas se aclimatam ao ambiente alterado, são submetidas a ajustamentos na morfologia das folhas, na composição do cloroplasto (pigmento) e na atividade de processos bioquímicos que impedem o dano oxidativo no seu fotossistema (MUNNS; TESTER, 2008). Esses eventos se desenvolvem simultaneamente e rapidamente, a fim de mobilizar todo o aparato metabólico para a adaptação e sobrevivência das plantas (CHAVES et al. 2008). Entre outros, a adaptação das plantas ao NaCl envolve eventos metabólicos como a síntese de solutos orgânicos e compartimentação de íons (SAIRAM; TYAGI, 2004; SERRANO; GAXIOLA, 1994). No entanto, respostas à salinidade compreendem alterações de propriedades foliares como na espessura, micromorfologia superficial e cera cuticular (VIJAYAN et al., 2008).

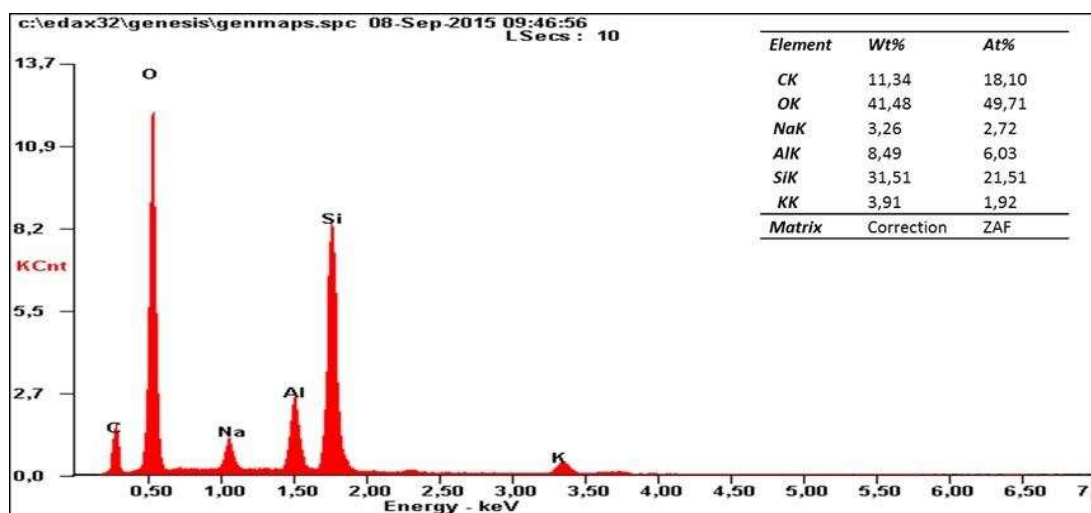


Figura 2 – Espectro de raios X de depósito de cristal de sal na superfície da folha tratada com $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. O ponto de diâmetro foi de 1 mm; a voltagem de aceleração, de 25 kV; o tempo de análise, de 15 s; e distância de trabalho, de 10 mm.

Tabela 1 – Composição dos cristais presentes nas folhas de *Passiflora tarminiana* na parte media e basal das folhas amostradas em Manizales, Caldas, Colombia

Amostra	Carbono (%)	Oxigeno (%)	Sódio (%)	Alumínio (%)	Silício (%)	Potássio (%)
Media	10,04b	50,9a	0,63b	1,35c	21,19b	0,3c
Media	12,36b	51,13a	0,61b	2,42bc	32,45ab	0,04c
Media	11,23b	51,015a	0,32b	1,38c	26,82b	0,67c
Basal	18,17a	49,71a	2,72a	6,03a	21,51b	1,92ab
Basal	10,14b	42,56b	1,15a	4,37b	37,66a	1,87ab
Basal	17,17a	50,44a	1,84a	6,01a	34,405a	2,38a
CV (%)	0,34	0,23	1,12	3,34	8,94	0,87

*Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente ($P < 0,05$), de acordo com o teste de Duncan.

Em *P. tarminiana*, o sódio acumulado e as frações excretadas foram positivamente correlacionados com o aumento da concentração de Na na solução aplicada ao substrato. Embora as quantidades de sal excretadas sejam subestimadas, por causa da perda de cristais de sal que provavelmente ocorre após oito semanas de tratamento, essa fração foi pelo menos duas vezes mais elevadas do que a acumulada. A superfície adaxial mostrou-se razoavelmente plana (Figura 3A e 3C). Em contraste, a superfície abaxial ficou ondulada, provavelmente em razão de uma alternância regular de nervuras (Figura 3 B e 3D). Entretanto, três estruturas epidérmicas foram encontradas nas duas faces da

folha. Tricomas curtos estavam presentes com extremidades pontiagudas (Figuras 3A e 3C), observados apenas na parte adaxial e ao longo das arestas. Papilas foram observadas como protuberâncias epidérmicas na superfície abaxial da folha. Essas foram numerosas e ocuparam toda a superfície da folha (Figuras 3B e 3D). Os estômatos estavam presentes somente na face abaxial da folha (Figuras 3B e 3D), classificados como hipoestomáticos e com densidade independente do meio salino. Em plantas-controle, os estômatos se projetam na superfície, enquanto que nas tratadas com sal (5.5 dS m⁻¹) esses ficaram relativamente abaixo da camada dos tecidos epidérmicos (Figura 4).

Nessa passiflorácea, as frações excretadas de Na⁺ provavelmente são mediadas por dois mecanismos diferentes (acúmulo e excreção) que, de acordo com Pollak e Waisel (1970), podem ser independentes. Neste experimento, descobriu-se que a excreção de sal iniciou-se na quarta semana de tratamento salino. Entretanto, a excreção perdurou nas plantas tratadas. Por conseguinte, a independência e a sucessão dos dois mecanismos parecem óbvias. O sal absorvido pelas raízes provavelmente é acumulado em tecidos e, posteriormente, excretado para fora da planta pelas glândulas (BARHOUMI et al., 2007).

A densidade estomática é menor nas folhas de *P. tarminiana* quando aumentam-se os níveis de salinidade e seca (Tabela 2). Em condições de 5,5 dS m⁻¹ e 33% de umidade apresentou-se os valores mais baixos de densidade estomática com 189,32 estômatos por mm². O maior número de estômatos foram nas condições de 2,5 dS m⁻¹ e 100% umidade com 196,34 por mm² (Tabela 2). O número de estômatos por área pode variar, dependendo das condições ambientais (umidade, temperatura, luz) às quais a folha está sujeita durante a divisão e alongamento das células (ARIOLI et al., 2008). Diversos estudos têm demonstrado que com maior intensidade da salinidade da solução ocorre diminuição na densidade estomática (PARÉS et al., 2008; REYES-LÓPEZ et al., 2015), o que determina uma maior distância entre os estômatos conduzindo a redução da transpiração.

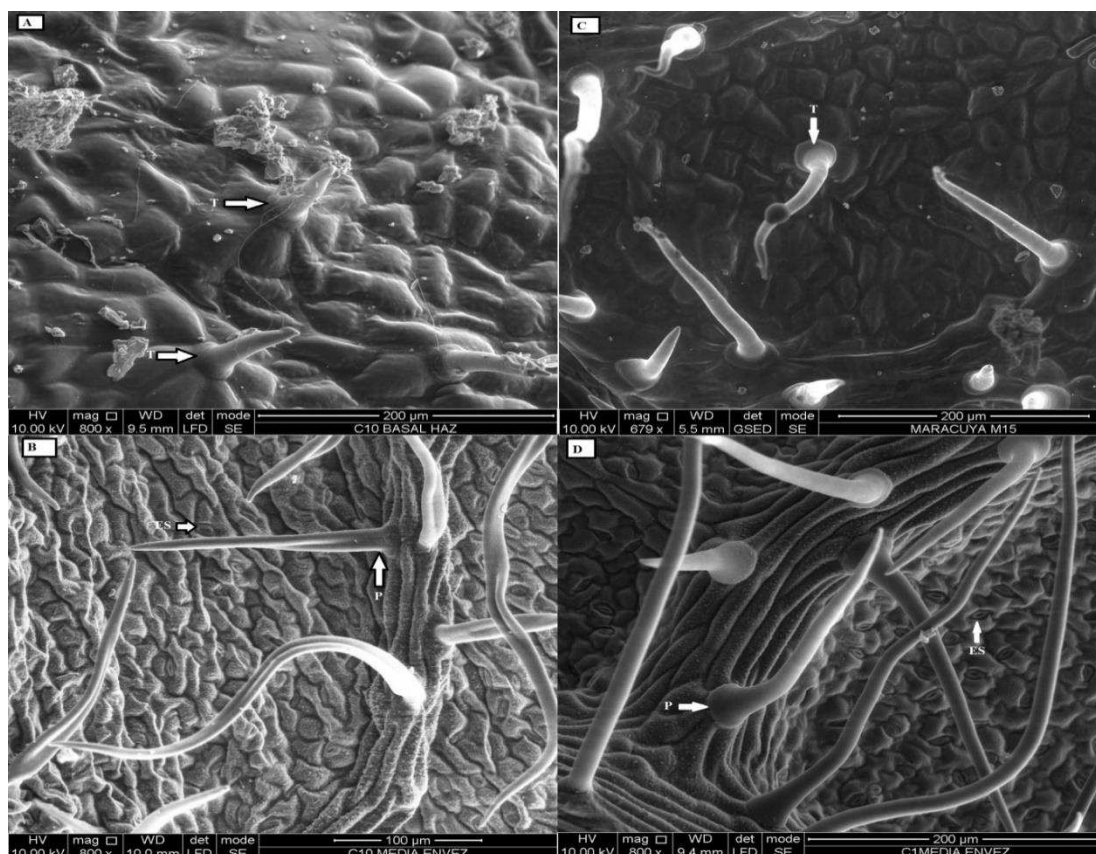


Figura 3 – Micrografias das superfícies adaxial (A, C) e abaxial (B, D) das folhas de *P. tarminiana* tratadas com 5,5 dS m⁻¹. T - tricomas; ES - estômatos; e P - papilas.

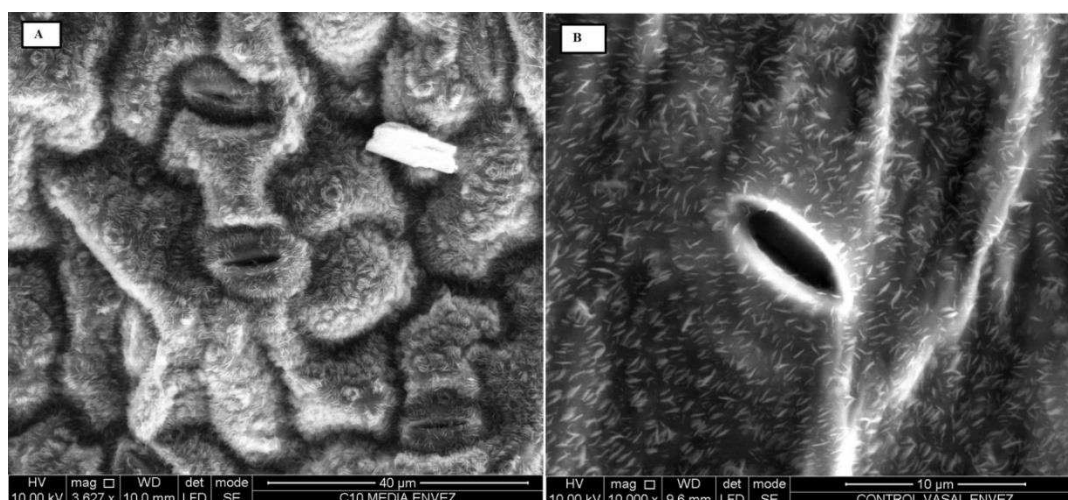


Figura 4 – Superfície abaxial com presença de estômatos em folhas de plantas-controle tratadas com 2,5 dS m⁻¹ (A) e em folhas tratadas com 5,5 dS m⁻¹ (B).

Tabela 2 – Influência da umidade e salinidade na densidade estomática (nº/mm²) em *Passiflora tarminiana* em Manizales, Caldas, Colômbia

Espécie	Identificação	Umidade	Tratamento	Densidade estomática (nº/mm²)
P. tarminiana	m15-Calmol01/2015	100%	2,5 dS m ⁻¹	196,34a
		100%	4 dS m ⁻¹	195,45a
		100%	5,5 dS m ⁻¹	193,98ab
		66%	2,5 dS m ⁻¹	195,78a
		66%	4 dS m ⁻¹	194,02a
		66%	5,5 dS m ⁻¹	190,34ab
		33%	2,5 dS m ⁻¹	194,11a
		33%	4 dS m ⁻¹	190,01ab
		33%	5,5 dS m ⁻¹	189,32b
C.V %				11,12

*Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente (P <0,05), de acordo com o teste de Duncan.

O objetivo deste estudo foi compreender os mecanismos de tolerância ao NaCl em *P. tarminiana* espécie classificada como tolerante ao sal. Existe a hipótese de que apesar das diferenças morfológicas e fisiológicas, a espécie pode ter mecanismos para tolerância ao estresse e remediação expressos por mudanças metabólicas induzidas pela salinidade e déficit hídrico. Um aspecto metodológico com consequências negativas para este estudo é que as mudas foram cultivadas a partir de sementes e, portanto, há uma variabilidade genética de magnitude desconhecida (HUNSCHE et al., 2010b; SAIED et al., 2010; MUNNS; TESTER, 2008), o que pode ter afetado a reação à adição de sal nos parâmetros medidos, embora mais estudos sejam necessários para reforçar essa hipótese. Estresses ambientais podem induzir mudanças na composição química das ceras cuticulares, sem efeito no conteúdo total de cera (BRINGE et al., 2007). Isso deve ser considerado em futuras pesquisas com passifloráceas. Este trabalho é o primeiro relato sobre a visualização de diferentes perfis de deposição de cristais de passifloráceas por microscopia eletrônica.

Em *P. tarminiana*, o excesso de sal provavelmente foi excretado pelas glândulas distribuídas na superfície adaxial da folha. As glândulas apareceram em linhas longitudinais, de acordo com o Na⁺ na superfície adaxial. No entanto, as glândulas de sal eram relativamente numerosas em comparação com outras estruturas da epiderme. Além disso, a excreção de sal parece ser um processo ativo (BARHOUMI et al., 2007). Esteban

et al. (2013) avaliaram a tolerância à salinidade e formação de cristais de sal na superfície superior da folha de mangue-preto (*Avicennia germinans* L.), que pode representar um mecanismo de fotoproteção incomum e dinâmico. Esses mesmos autores concluíram que esse mecanismo é totalmente reversível quando as condições se tornam mais favoráveis, podendo ocorrer a dissolução de cristais de sal formando gotas. Assim, por ser um mecanismo de desintoxicação desenvolvido principalmente para evitar o desequilíbrio osmótico nos tecidos, a excreção de sal pelas folhas é um exemplo de "adaptação", já que tem efeitos positivos sobre o desempenho fotossintético das plantas, protegendo-as de superaquecimento e estresse por excesso de radiação durante os períodos mais severos.

Uma questão fundamental sobre a tolerância das plantas ao sal é a identificação dos fatores que conferem essa tolerância às halofitas em oposição às glicofitas. Em razão da sua inerente constituição genética, a resposta das halofitas ao estresse ambiental é diferente em comparação às glicofitas. É necessária uma comparação significativa entre os dois fatores responsáveis por essa resposta diferencial em níveis fisiológico e proteômico. Para isso, foram feitos estudos comparativos entre *Arabidopsis* e *Thellungiella*, o seu homólogo halofita (SENGUPTA; LAHIRI, 2009; M'RAH et al., 2007; KANT et al., 2006; GHARS et al., 2008; VOLKOV et al., 2004). Sugerem-se estudos comparativos entre espécies de passifloras sensíveis à salinidade e àquelas que apresentam tolerância para identificar proteínas que possam funcionar em resposta ao sal, juntamente com as mudanças em sua fisiologia.

De acordo com Barkla et al. (2009), em diferentes espécies como em *Mesembryanthemum crystallinum* o sódio é acumulado e depositado num gradiente ao longo do seu eixo de crescimento, com a concentração mais elevada depositada nas partes das folhas mais jovens, onde é sequestrada dentro de um grande vacúolo central das células. Isso, em contraste com o que acontece nas glicofitas, que, em seguida, dirige o sódio para as partes maduras da planta, numa tentativa de manter as raízes funcionais. Os mesmos autores mediram concentrações particularmente elevadas de sódio em células especializadas das partes aéreas conhecidas como células da bexiga. Essas células, localizadas sobre a superfície das folhas e dos caules, são modificadas (tricomas), desenvolvendo-se durante o crescimento da planta e permanecendo com uma depressão devido a ausência de sal; entretanto, seu crescimento é estimulado pela presença desse sal (CUARTERO et al., 2006).

Além de remover o sódio dos tecidos fotossintéticos, as células da bexiga funcionam como reservatórios de água para as células fotossintéticas (mesofílicas),

localizados no interior da folha (BARKLA et al., 2009). Evidenciou-se que o sequestro de sódio dentro do vacúolo de *M. crystallinum* é por causa da atividade do permutador sódio/protão (Na^+ / H^+), que é ativado por bomba de prótons do tonoplasto (V-ATPase) (BARKLA et al., 1995). A atividade desses dois transportadores é induzida quando as plantas ou as culturas de células em suspensão são cultivadas na presença de sal (BARKLA et al., 1995). Possivelmente esse seja o comportamento da espécie *P. tarminiana*.

Em geral, *P. tarminiana* parece ser capaz de sobreviver sob salinidade até 5,5 dS m^{-1} (NaCl), que pode ser considerada alta, eliminando íons tóxicos. Possivelmente, a excreção do excesso de sal ocorreu via glândulas epidérmicas. O sódio em adição a outros íons inorgânicos foi usado para ajuste osmótico. São necessárias novas pesquisas para esclarecer as estruturas epidérmicas que excretam sais das plantas estressadas da família Passifloraceae.

CONCLUSÕES

O acesso comercial de *Passiflora tarminiana* em condições de estresse salino e hídrico apresentou mecanismo de tolerância com a excreção de sais em folhas baixas, possivelmente devido a presença de glândulas excretoras de sal. Além de glândulas excretoras de sal, foram observadas outras estruturas da epiderme como papilas e tricomas, provavelmente envolvidas na tolerância de *P. tarminiana* à salinidade.

REFERÊNCIAS

- ARIOLI, T.; VOLTOLINI, C.; SANTOS, M. Morfoanatomia foliar da reófito *Raulinoa echinata* R.S. Cowan – Rutaceae. **Acta Botânica Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 723-732. 2008.
- BARHOUMI, Z.; DJEBALI, W.; SMAOUI, A.; CHAIBI, W.; ABDELLY, C. Contribution of NaCl excretion to salt resistance of *Aeluropus litoralis* (Willd) Parl. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, p. 842-850, 2007. doi:10.1016/j.jplph.2006.05.008.
- BARKLA, B.J.; VERA-ESTRELLA, R.; HERNANDEZ-CORONADO, M.; PANTOJA, O. Quantitative Proteomics of the Tonoplast Reveals a Role for Glycolytic Enzymes in Salt Tolerance. **The Plant Cell**, v. 21, p. 4044-4058, 2009. doi: www.plantcell.org/cgi/doi/10.1105/tpc.109.069211.

BARKLA, B.J.; ZINGARELLI, L.; BLUMWALD, E.; SMITH, J.A.C. Tonoplast Na⁺/H⁺ antiport activity and its energization by the vacuolar H⁺-ATPase in the halophyte *Mesembryanthemum crystallinum*. **Plant Physiology**, v. 109, p. 549-556, 1995.

BRINGE, K.; HUNSCHE, M.; SCHMITZ-EIBERGER, M.; NOGA, G. Retention and rainfastness of mancozeb as affected by physicochemical characteristics of adaxial apple leaf surface after enhanced UV-B radiation. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 42, n. 2, p. 133-141, 2007.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany London**, v. 103, p. 551-560, 2008.

CUARTERO, J.; BOLARIN, M.C.; ASINS, M.J.; MORENO, V. Increasing salt tolerance in the tomato. **J Exp Bot.**, v. 57, n. 5, p. 1045-1058, 2006.

ESTEBAN, R.; FERNANDEZ-MARIN, B.; HERNANDEZ, A.; JIMENEZ, E. T.; LEON, A.; GARCIA-MAURIÑO, C. D.; DOLMUS, J. R.; DOLMUS, C. M.; MOLINA, M. J.; GUTIERREZ, N. N.; LOAISIGA, M. I.; BRITO, P.; GARCIA-PLAZAOLA, J. I. Salt crystal deposition as a reversible mechanism to enhance photoprotection in black mangrove. **Trees**, v. 27, p. 229-237, 2013. doi: 10.1007/s00468-012-0790-8

GARCÍA, M.; JÁUREGUI, D.; PÉREZ, D. Anatomía foliar de *Passiflora guazumaefolia* juss. y *Passiflora* aff. *tiliaefolia* L. (Passifloraceae) presentes en Venezuela. **Ernstia**, v. 18, n. 2, p. 165-176, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-82742008000200002&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 14 set. 2015.

GHARS, M.A.; PARRE, E.; DEBEZ, A.; BORDENAVE, M.; RICHARD, L.; LEPORT, L.; BOUCHEREAU, A.; SAVOURE, A.; ABDELLY, C. Comparative salt tolerance analysis between *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila*, with special emphasis on K⁺/Na⁺ selectivity and proline accumulation. **Journal Plant Physiology**, v. 165, p. 588-599, 2008.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347 p.

HUNSCHE, M.; BURLING, K.; SAIED, A.S.; SCHMITZ-EIBERGER, M.; SOHAIL, M.; GEBAUER, J.; NOGA, G.; BUERKERT, A. Effects of NaCl on surface properties, chlorophyll fluorescence and light remission, and cellular compounds of *Grewia tenax* (Forssk.) Fiori and *Tamarindus indica* L. leaves. **Plant Growth Regul**, v. 61, p. 253-263, 2010a. doi 10.1007/s10725-010-9473-x.

HUNSCHE, M.; NOGA, G. Applicability of the energy dispersive Xray microanalysis for quantification of irregular calcium deposits on fruit and leaf cuticles. **J. Microsc. Oxford**, v. 232, p. 453-462, 2008.

HUNSCHE, M.; BLANKE, M.; NOGA, G. Does the microclimate under hail nets influence micromorphological characteristics of apple leaves and cuticles? **Journal Plant Physiology**, 2010b. doi:10.1016/j.jplph.2010.02.007.

JENKS, A.J.; HASEGAWA, P.M.; JAIN, S.M.; FOOLAD, M.R. **Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops**. New York: Springer, 2007. p. 817.

KANT, S.; KANT, P.; RAVEH, E.; BARAK, S. Evidence that differential gene expression between the halophyte, *Thellungiella halophila*, and *Arabidopsis thaliana* is responsible for higher levels of the compatible osmolyte proline and tight control of Na uptake in *T. halophila*. **Plant Cell Environmental**, v. 29, p. 1220-1234, 2006.

LEVERING, C.A.E.; THOMSON, W.W. The ultrastructure of salt gland of *Spartina foliosa*. **Planta**, v. 97, p. 176-83, 1971.

M'RAH, S.; OUERGHI, Z.; EYMERY, F.; REY, P.; HAJJI, M.; GRIGNON, C.; LACHAAL, M. Efficiency of biochemical protection against toxic effects of accumulated salt differentiates *Thellungiella halophila* from *Arabidopsis thaliana*. **Journal Plant Physiology**, v. 164, p. 375-384, 2007.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Ann. Rev. Plant. Biol.**, v. 59, p. 651-681, 2008.

PARÉS, J.; ARIZALETA, M.; SANABRIA, M.; GARCÍA, G. Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. **Acta Botánica Venezolana**, v. 31, n. 1, p. 27-34, 2008.

POLLAK, G.; WAISEL, Y. Ecophysiology of salt excretion in *Aeluropus litoralis* (Graminae). **Physiol Plant.**, v. 47, p. 177-184, 1979.

POLLAK, G.; WAISEL, Y. Salt secretion in *Aeluropus litoralis* (Willd) Parl. **Ann Bot.**, v. 34, p. 879-888, 1970.

REYES-LÓPEZ, D.; QUIROZ-VALENTÍN, J.; KELSO-BUCIO, H.; HUERTA-LARA, M.; AVENDAÑO-ARRAZATE, C.; LOBATO-ORTIZ, R. Caracterización estomática de cinco especies del género *Vanilla*. **Agronomía Mesoamericana**, v. 26, n. 2, p. 237-246, 2015.

ROZEMA, J.; RIPHAGEN, I. Physiology and ecology relevance of salt secretion by the salt gland of *Glaux maritima* L. **Oecologia (Berl.)**, v. 29, p. 349-354, 1977.

SAIED, A.S.; SOHAIL, M.; GEBAUER, J.; BUERKERT, A. Response of *Grewia tenax* (Forssk.) Fiori to NaCl-induced salinity. **Eur. J. Hort. Sci.**, v. 75, n. 1, p. 42-50, 2010.

SAIRAM, R.K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Curr. Sci. India**, v. 86, n. 3, p. 407-421, 2004.

SENGUPTA, S.; LAHIRI, A. Insight into the salt tolerance factors of a wild halophytic rice, *Porteresia coarctata*: a physiological and proteomic approach. **Planta**, v. 229, p. 911-929, 2009. doi: 10.1007/s00425-008-0878-y.

SERRANO R.; GAXIOLA R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 13, p. 121-138, 1994.

SHANON, M.C.; GRIEVE, C.M.; FRANCOIS, L.M. Whole-plant response to salinity. In: WIKINSON, R.E. (Ed.). **Plant environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 199-244.

SOMARU, R.; NAIDOO, Y.; NAIDOO, G. Morphology and ultrastructure of the leaf salt glands of *Odyssea paucinervis* (Stapf) (Poaceae). **Flora**, v. 197, p. 57-67, 2002.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **SAS version 9.0**. Institute Cary, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 613-641.

VIJAYAN, K.; CHAKRABORTI, S.P.; ERCISLI, S.; GHOSH, P.D. NaCl induced morpho-biochemical and anatomical changes in mulberry (*Morus* spp.). **Plant Growth Regul.**, v. 56, n. 1, p. 61-69, 2008.

VOLKOV, V.; WANG, B.; DOMINY, P.J.; FRICKE, W.; AMTMANN, A. *Thellungiella halophila*, a salt-tolerant relative of *Arabidopsis thaliana*, possesses effective mechanisms to discriminate between potassium and sodium. **Plant Cell Environmental**, v. 27, p. 1-14, 2004.

WASEL Y. **Biology of halophytes**. New York and London: Academic Press, 1972.

YEO, A.R. Salinity resistance – physiologies and prices. **Physiologia Plantarum**, v. 58, p. 214-222, 1983.

ZERPA, M.A.; OTAHOLA, V.A. Morfoanatomia del tallo de tres especies del género Passifloraceae. **Saber**, v. 26, n. 2, p. 114-120, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000200003&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 14 set. 2015.

CAPÍTULO 4 – EFFECT OF WILD ROOTSTOCK OF GENUS *Passiflora* L. ON THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS AND FRUIT QUALITY OF PASSIONFRUIT

ABSTRACT

The nutritional importance of the fruit of passionfruit has prompted studies to assess its composition and antioxidant content as a functional food in fresh fruit and concentrated juice markets. Currently, the use of wild species as rootstock has been recommended mainly by the positive effects such as tolerance to disease attack, maintaining fruit quality of grafted cultivars. The aim of this study was to determine the effect of wild species of *Passiflora gibertii* N.E. Brow and *Passiflora mucronata* Lam as rootstock on the content of antioxidants and fruit quality of passionfruit. The experimental design was completely randomized with four treatments and 25 repetitions, with a total of 100 experimental units, each of which was represented by a plant in a pot of 30 L. The treatments assessed were: *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora gibertii* NE Brown and *Passiflora mucronata* Lam. As a control treatment, plants of *P. edulis* both from seed and grafted on the same species were used. The content of β -carotene, ascorbic acid, the color of the juice and the rind of the fruit were assessed. The content of β -carotene in the fruit showed no statistical differences ($p < 0.05$), indicating no significant rootstock effect on the variable evaluated, indicating a potential wild rootstock use for its positive effects, keeping the commercial quality of the fruits of passionfruit crops.

Key words: *Passiflora* spp., β -carotene, vitamin c, rootstock.

INTRODUCTION

The market for fresh passionfruit is valued for the quality features of its fruit; a fruit of quality is one that meets the expectations of different customer segments in its internal and external features--the internal being those related to taste (soluble solids and acidity) and juice content (yield), and the external those related to good appearance (color of the skin, size, weight, absence of defects)--meeting certain standards to achieve the desired quality in markets (Ocampo et al., 2013).

A predominant feature is the presence of antioxidants in the fruits and in the substrates from the leaves of some species of *Passiflora*, according to Pabon et al. (2011), who found significant values for fruits of wild granadilla and gulupa leaves. Several studies have confirmed the health benefits provided by the intake of fruits and vegetables rich in antioxidants, mainly in reducing cardiovascular diseases (Wang et al., 2011) and diabetes (Ramful et al., 2010), and the antiparkinson activity of the wild species *Passiflora incarnata* L. (Ingale & Kasture, 2014); likewise, by-products of concentrated passionfruit juice industries, as is the rind, could be considered a potential source of

natural antioxidants for functional food and industrial applications, this according to the results obtained by Wong et al., (2014). According to Silva et al. (2014), among non-enzymatic antioxidants that have received the most attention for its possible beneficial effect for the body are vitamins C and E, carotenoids and flavonoids. Tropical fruits are high in antioxidants, and their main antioxidants are phenolic compounds and, in the case of passionfruit, they contribute to its therapeutic importance by the presence of numerous antioxidant phytochemicals (Babbar et al., 2011).

Grafting is widely used in fruit-culture and in other perennial species to propagate superior genotypes, have control of the stature of plants (size), reduce juvenile period, improve the adaptation of these to adverse soil conditions and provide tolerance to pests and diseases (Atucha et al., 2014; Machado et al., 2013; Salazar et al., 2015).

In *Passiflora* crops, tolerance of some wild species such as *Passiflora suberosa*, *P. alata*, *P. coccinea*, *P. setacea* and *P. gibertii* to premature death of the plants (*Fusarium* spp.) was reported by Silva et al., (2013). Thus, there have been several studies, as those reported by Cavichioli et al. (2011) and Salazar et al. (2015), evaluating the effect of rootstock and graft type on fruit quality of yellow passionfruit, finding that the rootstocks (*P. edulis*, *P. alata*, *P. mucronata* and *P. gibertii*) did not influence on the content of soluble solids (SS), titratable acidity (TA) and the relation SS / AT. Similarly, the grafting method did not affect the diameter, length, weight of the fresh fruit, weight and thickness of the rind, nor juice yield. However, little information is available on the effect of wild species of *Passiflora* as rootstock for cultivation of passionfruit and their influence on the antioxidant properties of the fruit. Thus, the aim of this study was to determine the effect of wild species as rootstocks on the content of antioxidants and fruit quality of passionfruit.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in a protected environment with a low-density polyethylene covering with a thickness of 150µm and side anti-aphid greenhouse mesh for citrus fruit in the fruit-culture sector of the Universidad Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG. Geographically, the experimental area is located at a latitude of 20° 45' south and longitude 42° 52' west, with an altitude of 650 m.a.s.l., with an average annual temperature of 19°C. According to Köppen's classification, the weather is Cwa type, mesothermal, with rainy summers and cold, dry winters (Matarazzo et al., 2013).

The experimental design was completely randomized with four treatments and 25 repetitions, totaling 100 plots. Each plot was represented by a plant in a 30 L pot. The rootstocks evaluated were: *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora gibertii* NE Brown and *Passiflora mucronata* Lam., *P. edulis* plants from seed and grafted on the same species were used as a control treatment.

For the production of plants used as rootstock, the seeds of *P. edulis*, *P. mucronata* and *P. gibertii* were obtained from the *Passiflora* collection of the fruit-culture sector of the Universidad Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, as well as the vegetative buds used for grafting. The production of seedlings in the nursery began with seed germination in washed sand in plastic boxes of 40 cm of width x 20 cm of height x 50 cm of length. After complete expansion of cotyledonary leaves, 150 seedlings of each species were transplanted to plastic bags of 10 cm x 23 cm. At 60 days after planting, central slit type grafting at 10 cm from the root collar of the plant was conducted. Vegetative buds, with two knots, were removed from the middle portion of the productive branches of five adult yellow passionfruit plants. With the first shoots of the graft, the plants were transplanted at four months of age to 30 L pots in a greenhouse.

The substrate was formed by the mixture of soil, sand and manure in the ratio 3: 1: 1, and it was added to each 30L pot: 100 g of calcium as acidity corrective according to the soil analysis, 1000g of manure and 300 g of simple superphosphate. The plants were staked with plastic fiber attached to a 12-caliber steel wire located at 2 m high. Pruning of side branches (deshooting) was performed every 15 days or according to the development of the plant.

When the plants reached 15 cm of height, 60 days after transplantation, the first fertilization was performed with the equivalent to 5 g of ammonium sulfate and 10 g of potassium chloride; after thirty days, a second fertilization was performed, providing the equivalent of 10 g of ammonium sulfate and 15 g of potassium chloride, for a total of 15 g of N and 20 of P_2O_5 , considering that ammonium sulphate and potassium chloride contain approximately 20% N and 60% K_2O . Additionally, it was necessary to perform fertilization with 21 g of ammonium sulfate diluted in 1 L of water per plant and 13 g of agricultural gypsum in coverage after 60 days of transplantation, every 15 days to 250 days. It was also necessary the application of the acaricide abamectin (18 g i.a / L) after 60 days of transplantation. Cultural practices and plant management were performed in accordance with technical recommendations for the cultivation of passionfruit (Meletti,

2011). A drip irrigation system was used, where each irrigation line had two drips with discharges of 1 L h⁻¹ arranged around each plant, which were irrigated daily.

To evaluate the antioxidant composition and quality of the fruit, 172 flowers on each plant were pollinated. Artificial pollination was done manually between 14 h and 17 h, when there were open flowers between August and December 2012, for an average of 10 fruits per plant; thus, 10 fruits per plot were evaluated for analysis.

To evaluate carotenoids, about 2.0 g of juice were weighed, which were homogenized in a beaker with 80% acetone. The ketone extract was filtered through filter paper (8 µm) and the volume was completed to 25 ml in test tube (Silva et al., 2014). The absorbance was determined at 470, 646.8 and 663.2 nm and carotenoid levels were determined according to Lichtenthaler equations (1987). The results were expressed in mg 100 g⁻¹ of juice.

Soluble solids (SS) were determined with three drops of juice, after the extraction, using a digital refractometer. Titratable acidity (TA) was determined with the juice of each of the fruits, obtained by 5 mL of juice and transferred to 250 ml Erlenmeyer, completing the volume to 100 mL with distilled water. Three drops of the indicator phenolphthalein at 1% were added to this solution, proceeding to stirring titration with NaOH 0.1 N solution, previously standardized with potassium hydrogen phthalate. The results were expressed in g of citric acid per 100 g of juice. The SS/TA ratio was obtained by the quotient between the two characteristics.

The ascorbic acid content was determined by titration with Tillman's reagent [2,6 dichlorophenolindophenol (sodium salt) 0.1%]. The results were expressed in mg 100 L of ascorbic acid per 100 g of sample.

The coloration of the juice and the rind of the fruit were analyzed with a MINOLTA CR-10, based on the values of L, C (b) and h°, where L indicates the luminosity (0 = black and 100 = white), and b represent the chromaticity coordinates (+a = red, -a = green, +b = yellow and -b = blue). These values were converted to color angle, $\lambda^\circ = \tan^{-1} b/a$, which indicates the Hue angle (λ°) of the sample (0° or 360° = red, 90° = yellow, 180° = green, and 270° = blue) (Silva et al., 2014). To determine the coloring of the rind, two readings were taken on opposite sides of each fruit. To define the color of the juice, it was extracted previously and poured into a beaker of 100 ml, where the reading was done with the apparatus at 1 cm from the surface of the juice.

The data were evaluated by analysis of variance using SAS statistical software (SAS Inst. Inc. Cary, NC); further, evidence of comparative averages were performed by

the Duncan test at a level of significance of 5% and a Pearson linear correlation between variables was performed.

RESULTS AND DISCUSSION

The antioxidant composition of passionfruit juice was evaluated by the content of β -carotene and ascorbic acid. These compounds were quantified in the fractions of juice and are related to its antioxidant biochemical mechanism (Perez-Jimenez et al., 2008). According to Table 1, the contents of ascorbic acid found in the fruit of *P. edulis* with all combinations of rootstock and *P. edulis* Sims (without grafting) exceed the value of 20 mg of ascorbic acid 100 g⁻¹ juice, which, according to Santos et al. (2009), is generally observed in the fruits of passionfruit (Table 1). The content values of ascorbic acid ranged from 29.37 to 36.06, denoting a higher content in *P. edulis* (not grafted), followed by the combination *P. edulis* / *P. edulis* (autograft) and with the lower contents rootstock in combinations of wild species (*P. gibertii* and *P. mucronata*). Souza et al. (2012) evaluated the chemical composition, bioactive compounds and the present antioxidant activity in the pulp of five types of fruits of Brazilian Cerrado, including the species *Passiflora alata* Dryand which showed β -carotene content from 1.31 ± 0.03 mg 100 g⁻¹, considered as low by researchers, as well as ascorbic acid with 24.66 ± 4.29 mg 100 g⁻¹ of juice. According Ramful, et al. (2011), fruits are classified according to the content of ascorbic acid in three categories: low (<30 mg / 100 g), medium (30-50 mg / 100 g) and high (> 50 mg / 100 g). According to this classification, the fruits of the combination *P. edulis* / *P. mucronota* and *P. edulis* (ungrafted) qualify as with medium content and combinations *P. edulis* / *P. gibertii* and *P. edulis* / *P. edulis* are regarded as low.

Table 1. Characterization of antioxidant (β -carotene and ascorbic acid) and chemical content in fruits of passionfruit plants (*Passiflora edulis* Sims) grafted on *P. edulis* Sims, *P. gibertti*, *P. mucronata* and non-grafted (via seed), in Viçosa - MG

Species	β -carotene	⁺ Ascorbic acid
<i>P. edulis</i> / <i>P. gibertti</i>	1.0490a	29,37c
<i>P. edulis</i> / <i>P. mucronata</i>	1.3362a	30,93b
<i>P. edulis</i> / <i>P. edulis</i>	1.4537a	29,64bc
<i>P. edulis</i> (non-grafted)	1.0585a	36,06a
C.V	31,59	23,62

* Values followed by different letters differ significantly ($P < 0.05$) according to Duncan's test. + Taken and complemented from the work of Salazar et al. (2015).

Other writers such as Coelho, Cenci & Resende (2010) reported a decrease of ascorbic acid in the early stages of passionfruit ripening at 22° C. These same authors report ascorbic acid levels similar to those found in this study, varying from 25 to 30 mg 100 mL⁻¹. According to Lee and Kader (2000), the content of ascorbic acid in the fruit suffers a strong influence of normal metabolism (maturation and senescence) and other types of post-harvest stress. Thus, the levels of ascorbic acid in the organs of the plant are tightly controlled by the levels of synthesis, degradation, transport and recycling within the cell (Rotili et al., 2013). Due to the antioxidant properties of ascorbic acid, the route of recycling is particularly important in the fruit during the body's response to oxidative stress, when the reduced ascorbic acid is oxidized to the unstable form of dehydroascorbic acid, which can be easily degraded. According to Stevens et al. (2008), the reduced form of ascorbic acid can die out if the oxidized forms are not recovered by reductase enzymes (monodehydroascorbate and dehydroascorbate reductase), genetically expressed in response to oxidative stress.

β -carotene content of passionfruit juice was not significantly changed by the different combinations of rootstocks (Table 1). It is noticeable that, despite the passionfruit plants' suffering a cut by the grafting (wound) and cicatrization processes as described by Salazar et al. (2015), and oxidative reactions of maturation metabolism in early stages, there was retention of β -carotene in the juice. Regarding the levels of β -carotene, the fruits analyzed in this study were compared with carrots, which are known to have high concentrations of this carotenoid. Campos et al. (2006) concluded that out of the seven vegetables studied, carrots had the highest levels of β -carotene, with an average of 5.18 mg 100 g⁻¹.

All the fruits of passionfruit in the different combinations of rootstocks studied in this work showed low concentrations of β -carotene compared to carrots; fruit from combinations *P. edulis* / *P. edulis* and *P. edulis* / *P. mucronata* showed the highest levels of β -carotene with 1.45 and 1.34 mg 100 g⁻¹, respectively.

According to Uenojo, Marostica-Junior & Pastore (2007), carotenoid levels in fruit cells remain relatively constant until the onset of senescence and two types of enzymes are responsible for the oxygenation and degradation of carotenoids: lipoxygenase derived from chloroplasts, which catalyze the conversion of unsaturated lipids into aroma compounds; and peroxidase, the from the mitochondria. β -carotene retention in the juice of the fruits of grafted plants in wild *Passiflora* reveals the advantageous benefit from the aspect of maintaining their nutritional bioavailability. As responsible for being the precursor of vitamin A, essential for vision, β -carotene plays a key role to human health (Rotili et al., 2013). Other beneficial effects of carotenoids are against certain cancers and heart diseases that have been recognized and have stimulated intensive research on the role of these compounds as antioxidants and as regulators of the immune system response.

Significant correlations were observed among the contents of β -carotene, ascorbic acid and luminosity values (L), chroma (C) and hue angle (h°) (Table 2). For the combination *P. edulis* / *P. gibertti*, the contents of β -carotene and ascorbic acid were highly correlated with luminosity, chroma and hue angle (h°) of fruit juice with values of 44.02, 10.00 and 94.45° respectively, indicating that the juice of the fruits of this combination have a low amount of saturation or pigment, and a yellow color (> 90 °). A similar behavior was present in the combination *P. edulis* / *P. mucronata* in the content of ascorbic acid and a highly significant correlation with the hue angle (h°) of juice with a value of 94.45°, and luminosity, chroma and h° of the rind of the fruits of this combination, with values of 70.93, 43.15 and 92.31° respectively, indicating that the juice of the fruits of this combination has an intense yellow color (> 90 °), and the rind has a high saturation of pigments and an intense yellow color. In this same combination, the content of β -carotene was significantly correlated with the content of titratable acidity with values of 4.72 g 100 g⁻¹ of citric acid. The increase in the yellow color is due to the degradation of chlorophyll, while the yellow, orange and red pigments, belonging to the group of carotenoids, are revealed or synthesized. These pigments are very common and their presence is an indication of quality of the fruit that the consumer evaluates in its maturity (Freire et al., 2014).

The combination *P. edulis* / *P. edulis* (autograft), the content of β -carotene is significantly correlated with the contents of ascorbic acid (29.64 g 100 g⁻¹ of citric acid) and in turn the content of ascorbic acid is highly correlated with luminosity values and the chroma of the rind of the fruit with values of 71.29 and 38.88, respectively, indicating that the rind of the fruit has high saturation of pigments. Several authors have reported positive correlations between ascorbic acid and antioxidant activity (Contreras-Calderón et al., 2010; Rufino et al., 2010), while others have found no correlation (Almeida et al., 2011).

Finally, the combination *P. edulis* (ungrafted) obtained no significant correlation in the content of β -carotene and ascorbic acid. Perhaps this phenomenon is present in this combination due to uneven ripening and harvest of the fruits because of the early flowering of grafted plants and the late flowering of non-grafted ones, as reported by Salazar et al. (2015).

In general, of all the fruits of the combinations tested, passionfruit juice grafted in wild species of the genus *Passiflora* has a content of β -carotene, ascorbic acid and fruit quality similar to those that were not grafted. Therefore, these fruits can have a nutritional and economic value equal to that of non-grafted plants.

CONCLUSION

The content of β -carotene in the fruit showed no statistical differences, indicating no significant rootstock effect on the variable evaluated, indicating a potential wild rootstock use for its positive effects, keeping the commercial quality of the fruits of passionfruit crops.

Table 2. Pearson's linear correlation coefficient between the chemical and physical variables of the fruits of passionfruit (*Passiflora edulis* Sims) grafted on *P. edulis* Sims, *P. gibertii* *P. mucronata* and non-grafted (via seeds), in Viçosa - MG

Species	Variables	L (Juice)	C (Juice)	h° (Juice)	L (Rind)	C (Rind)	h° (Rind)	Relation soluble solids/acidity	Soluble solids	Titrateable acidity	Ascorbic acid
<i>P. edulis</i> / <i>P. gibertii</i>	β-carotene	-0,43**	-0,38**	-0,12 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
	Ascorbic acid	-0,11 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,40**	-0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,15 ^{ns}	
	Titrateable acidity	-0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,30*	0,42**	-0,39**	-0,61**	0,37**		
	Soluble solids	0,25 ^{ns}	0,35*	0,01 ^{ns}	0,32*	0,45**	-0,36**	0,49**			
	Relation soluble solids/acidity	0,17 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}				
	h° (Rind)	-0,12 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,75 ^{ns}	-0,66**	-0,84**					
	C (Rind)	0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,67**						
	L (Rind)	0,24 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,08 ^{ns}							
	h° (Juice)	-0,18 ^{ns}	0,02 ^{ns}								
	C (Juice)	0,78**									
<i>P. edulis</i> / <i>P. mucronata</i>	β-carotene	0,06 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,25*	0,15 ^{ns}
	Ascorbic acid	-0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,23*	-0,35**	-0,33**	0,32**	0,040 ^{ns}	-0,026 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	
	Titrateable acidity	0,16 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,36**	0,32**	-0,36**	-0,87**	0,16 ^{ns}		
	Soluble solids	0,14 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,27*	0,31**	-0,38**	0,32**			
	Relation soluble solids/acidity	-0,03 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}				
	h° (Rind)	-0,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,78**	-0,92**					
	C (Rind)	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,77**						
	L (Rind)	0,15 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,14 ^{ns}							
	h° (Juice)	-0,34**	0,20 ^{ns}								
	C (Juice)	0,42**									

Continue...

Table 2, continued

Species	Variables	L (Juice)	C (Juice)	h° (Juice)	L (Rind)	C (Rind)	h° (Rind)	Relation soluble solids/acidity	Soluble solids	Titrateable acidity	Ascorbic acid
P. edulis / P.edulis	β-carotene	-0,10 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,34*	0,22 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,37*
	Ascorbic acid	0,03 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,50**	-0,43**	0,29 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	
	Titrateable acidity	0,29 ^{ns}	0,32*	0,12 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,71**	0,14 ^{ns}		
	Soluble solids	-0,11 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,33*	0,37*	-0,30*	0,59**			
	Relation soluble solids/acidity	-0,32*	-0,39**	-0,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,22 ^{ns}	-0,17 ^{ns}				
	h° (Rind)	0,44**	0,30*	0,21 ^{ns}	-0,82**	-0,82**					
	C (Rind)	-0,33*	-0,24 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,91**						
	L (Rind)	-0,30*	-0,19 ^{ns}	-0,19 ^{ns}							
	h° (Juice)	0,24 ^{ns}	0,61**								
	C (Juice)	0,65**									
P. edulis (non- grafted)	β-carotene	0,33 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,57 ^{ns}
	Ascorbic acid	-0,07 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,68*	0,05 ^{ns}	-0,49 ^{ns}	
	Titrateable acidity	0,62 ^{ns}	0,65*	-0,27 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,91**	0,68*		
	Soluble solids	0,65*	0,58 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,83**	-0,36 ^{ns}			
	Relation soluble solids/acidity	-0,50 ^{ns}	-0,57 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,12 ^{ns}				
	h° (Rind)	0,36 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,10 ^{ns}					
	C (Rind)	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,34 ^{ns}						
	L (Rind)	-0,21 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,10 ^{ns}							
	h° (Juice)	-0,65*	-0,65*								
	C (Juice)	0,99**									

* p < 0.05; ** p < 0.01; ^{ns} not significant at p < 0.05.

REFERENCES

- Almeida, M.M.B., Souza, P.H.M., Arriaga, A.M.C., Prado, G.M.P., Magalhães, C.E.C., & Mais, G.A.M. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, 2155-2159. <http://doi:10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- Atucha, A., Emmet, B., & Bauerle, T.L. (2014). Growth rate of fine root systems influences rootstock tolerance to replant disease. *Plant and Soil*, Dordrecht, 376, 337-346. <http://doi:10.1007/s11104-013-1977-5>
- Babbar N., Oberoi H.S., Uppal D.S., & Patil R.T. 2011. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*, 44, 391-396. <http://doi:10.1016/j.foodres.2010.10.001>
- Campos, F.M., Pinheiro-Sant'ana, H.M., Souza, P.M., Stringheta, P.C., & Chaves, J.B.P. (2006). Pró-vitaminas A em hortaliças comercializadas no mercado formal e informal de Viçosa (MG), em três estações do ano. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26, 33-40. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612006000100006>
- Cavichioli, J.C., Correa, L.S., Garcia, M.J.M., & Fischer, I.H. (2011). Desenvolvimento, produtividade e sobrevivência de maracujazeiro amarelo enxertado e cultivado em área com histórico de morte prematura de plantas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 33(2), 567-574.
- Coelho, A.A., Cenci, S.A., & Resende, E.D. (2010). Qualidade do suco de maracujá-amarelo em diferentes pontos de colheita e após o amadurecimento. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 34(3), 722-729.
- Contreras-Calderón, J.C., Jaimes, L.C., Hernández, E.G., & Villanova, B.G. (2010). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, rind and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44, 2047-2053. <http://doi:10.1016/j.foodres.2010.11.003>
- Freire, J.S., Calvacante, L., Rebequi, A.M., Dias, T.J., Brehm, M.A., & Santo, J.B. (2014). Quality of yellow passion fruit juice with cultivation using different organic sources and saline water. *Idesia, Arica*, 32(1), 79-87.
- Ingale, S.P., & Kasture, S.B. (2014). Antioxidant and antiparkinsonian activity of *Passiflora incarnata* leaves. *Orient Pharm Exp Med*, 14, 231-236. <http://doi:10.1007/s13596-014-0149-3>
- Lee, S.K., & Kader, A.A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, Oxford, 20(3), 207-220.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 349-382.

Machado, B.D., Rufato, L., Bogo, A., Kretzchmarl, A.A., & Mario, A.E. (2013). Cultivares e porta-enxertos sobre o vigor de plantas de pereira europeias. *Ciência Rural*, Santa Maria, 43(9), 1542-1545.

Matarazzo, P.H.M., Siqueira, D.L., Salomão, L.C.C., Silva, D.F.P., & Cecon, P.R. (2013). Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam), em Viçosa-MG. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35(1), 131-142.

Meletti, L.M.M. (2011). Avanços na cultura do Maracuja no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. especial, 83-91.

Ocampo, J., Urrea, R., Wyckhuys, W., & Salazar, M. (2013). Exploración de la variabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. *Acta agronómica*, Palmira, 62(4), 352-360.

Pabón, L.M., Turbay, S., Rojano, B., Álvarez, L.M., Restrepo, S.L., Álvarez, J.M., Bonilla, K.C., Ochoa, C., & Sánchez, N. (2011). Algunas especies de *Passiflora* y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(4), 354-363.

Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Tabernero, M., Díaz-Rubio, M. E., Serrano, J., Goñi, I., & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, Essex, 41(3), 274-285. <http://doi:10.1016/j.foodres.2007.12.004>

Ramful D., Baborun T., Bourdon E., Tarnus E., & Aruoma O.I. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flaved extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1), 75-87. <http://doi:10.1016/j.tox.2010.01.012>

Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O. I., Bourdan, E., & Baborun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamina C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*, 44, 2088-2099. <http://doi:10.1016/j.foodres.2011.03.056>

Rotili, M.C.C, Coutro, S., Celant, V.M., Vorpapel, J.A., Barp, F.K., Salibe, A.B., & Braga, G.C. (2013). Composição, atividade antioxidante e qualidade do maracujá-amarelo durante armazenamento. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 34(1), 227-240. <http://doi:10.5433/1679-0359.2013v34n1p227>

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Jiménez, J. P., Calixto, F. S., & Filho, J. M. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, 996-1022. <http://doi:10.1016/j.foodchem.2010.01.037>

Salazar, A.H., Silva, D.F.P., Sediya, C.S., Bruckner, C.H. (2015). Caracterização física e química de frutos de maracujazeiro-amarelo enxertado em espécies silvestres do gênero *passiflora* cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, 37(3), 630-638. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-101/14>

Santos, C.E.M., Bruckner, C.H., Cruz, C.D., Siqueira, D.L., & Pimentel, L.D. (2009). Características físicas do maracujá-azedo em função do genótipo e massa do fruto. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 31(4), 1102-1110.

SAS. 2002. In: SAS Institute Cary, N.C. EEUU. Version 9.0.

Silva, A., Oliveira, E.J., Haddad, F., Laranjeira, F., Jesus, O., Oliveira, S.A., Carvalho, M.A., & Freitas, P.X. (2013). Identification of passion fruit genotypes resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *Passiflorae*. *Tropical Plant Pathology*, Brasília, 38(3), 236-242. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762013005000008>

Silva, D.F.P., Matias, R.G.P., Silva, J.O.C., Cremasco, J.P.G., Hurtado-Salazar, A., & Bruckner, C.H. (2014). Alterações nos níveis de antioxidantes em polpa de manga. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 4(2), 26-31.

Souza, V.R., Pereira, P.A.P., Queiroz, F., Borges, S.V., & Carneiro, J.D.S. (2012). Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. *Food Chemistry*, 134, 381-386. <http://doi:10.1016/j.foodchem.2012.02.191>

Stevens, R., Page, D., Gouble, B., Garchery, C., Zamir, D., & Causse, M. (2008). Tomato fruit ascorbic acid content is linked with monodehydroascorbate reductase activity and tolerance to chilling stress. *Plant Cell and Environment*, Oxford, 31(8), 1086-1096. <http://doi: 10.1111/j.1365-3040.2008.01824.x>

Wang S., Melnyk J.P., Tsao R., & Marccone M.F. (2011). How natural dietary antioxidants in fruits, vegetables and legumes promote vascular health. *Food Research International*, 44(1), 14-22. <http://doi:10.1016/j.foodres.2010.09.028>

Wong, Y.S., Sia, C.M., Khoo, H.E., Ang, Y.K., Chang, S.K., & Yim, H.S. (2014). Influence of extraction conditions on antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora edulis*) rind. *Acta Scientiarum Polonorum Technology Aliment*. 13(3), 257-265.

CONCLUSÕES GERAIS

O estudo dos 11 acessos de *Passiflora* demonstrou ser bastante útil, pois gerou informações importantes acerca da tolerância ao sal e estresse hídrico em passifloras que apresentam melhor capacidade de exclusão de Na^+ e maior capacidade de acumular prolina para ajuste osmótico, que ainda não haviam sido investigadas ou disponibilizadas na literatura científica, sobretudo no Brasil e na Colômbia, e em número considerável de acessos. Determinou-se como tolerantes a salinidade os acessos m11 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), m13 (*P. edulis* f. *flavicarpa*), e m15 (*Passiflora tarminiana*), e medianamente tolerantes os acessos m2 (*P. edulis* f. *edulis*), m12 (*P. edulis* f. *flavicarpa*) e m14 (*P. edulis* f. *flavicarpa*). Dessa forma, poderão contribuir para a melhor compreensão dos mecanismos de tolerância de NaCl em passifloraceas de interesse comercial, avaliando processos fisiológicos fundamentais em nível celular.

Quanto ao acumulação de prolina houve aumento nos tecidos estudados, em resposta ao estresse salino. Os níveis máximos de prolina foram observados em plantas tratadas com solução de NaCl com condutividade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, o que resultou em níveis superiores de Na^+ nas folhas, com algumas exceções (m3, m4, m6, m7, m9). Isso confirmou a existência de associação entre o aumento da acumulação desse aminoácido e os níveis de íons nos tecidos. As relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$ e Na^+/K^+ foram aumentadas nas folhas, evidenciando-se como importantes variáveis no estudo nutricional das plantas em condições de salinidade.

O acesso comercial de *Passiflora tarminiana* em condições de estresse salino e hídrico apresentou um mecanismo de tolerância com a excreção de sais em folhas baixas, possivelmente devido a presença de glândulas excretoras de sal. Além de glândulas excretoras de sal, foram observadas outras estruturas da epiderme como papilas e tricomas, provavelmente envolvidas na tolerância de *P. tarminiana* à salinidade.

A tolerância ao sal e à seca pode ser avaliada com variáveis morfológicas e fisiológicas da planta, como foi proposto neste estudo, usando um índice integrado de avaliação, em que a altura das plantas, a área foliar, a taxa de sobrevivência, o acúmulo de matéria seca e prolina, o acúmulo e a exclusão de íons nas folhas com auxílio de microscopia eletrônica (Scanning Eletron Microscope, SEM) e raios x (SEM-EDX) integrados. Essa proposta de metodologia de avaliação evidenciou algumas melhorias significativas em relação às publicadas na literatura, podendo ser usada em outros estudos de natureza semelhante a esta pesquisa.

O uso de espécies silvestres como porta-enxertos o conteúdo de β -caroteno dos frutos de maracujá não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$). Indicando o potencial de porta-enxertos silvestres por seus efeitos positivos como tolerância a estresses bióticos e abióticos, mantendo a qualidade comercial dos frutos de maracujá.

ANEXO A – SOLUÇÃO NUTRITIVA DE HOAGLAND

Substância	PM	Sol. Estoque (1 mol m ⁻³)	Conc. final	Para 1L
KH ₂ PO ₄	136,09	136,09 gL ⁻¹	4 mol m ⁻³	4 mL
KNO ₃	101,11	101,11 gL ⁻¹	4 mol m ⁻³	4 mL
MgCl ₂ . 6H ₂ O	203,33	203,33 gL ⁻¹	1 mol m ⁻³	1 mL
MgSO ₄ . 7H ₂ O	246,49	246,49 gL ⁻¹	3 mol m ⁻³	3 mL
CaCl ₂ . 2H ₂ O	147,02	147,02 gL ⁻¹	3 mol m ⁻³	3 mL
CaSO ₄ . 2H ₂ O	172,17	172,17 gL ⁻¹	1 mol m ⁻³	0,1721g
NaNO ₃	84,99	84,99 gL ⁻¹	2 mol m ⁻³	2 mL
NH ₄ NO ₃	80,04	80,04 gL ⁻¹	1 mol m ⁻³	1 mL

Solução-estoque de micronutrientes				
Substância	PM	Moles m ⁻³	Sol. Estoque (gL ⁻¹)	Para 250 mL
H ₃ BO ₃	61,83	0,0460	2,884	0,7210
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	287,54	0,0015	0,432	0,1080
CuSO ₄ . 5H ₂ O	249,68	0,0003	0,075	0,0187
MnCl ₂ . 4H ₂ O	197,91	0,0018	3,562	0,8905
Na ₂ MoO ₄ . 2H ₂ O	241,95	0,0006	0,145	0,0362
Solução de Fe - EDTA				
Na ₂ EDTA	372,24	0,0038	14,10	3,52
FeCl ₃ . 6H ₂ O	270,30	0,0038	10,30	2,57

ANEXO B – FONTES COMERCIAIS PARA A PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

FONTES COMERCIAIS		1.000 litros água	50 litros água
Nitrato de cálcio	CaNO₃	803g	40,15g
CaO	26,3%		
NO ₃	15,5%		
Nitrato de potássio	KNO₃	190g	9,5g
K	37,3		
SO ₄	13,5		
Sulfato de potássio	K₂SO₄	133g	6,65g
K ₂ O			
SO ₄			
Sulfato de magnésio	MgSO₄	190g	9,5g
MgO	25%		
SO ₄	13%		
Ácido fosfórico	H₃PO₄	110cc	5,5cc
H ₃ PO ₄	454g/litro		
Nutrifeed Menores		200g	10g
MgO	14%		
SO ₄	11%		
B	0,068%		
Co	0,01%		
Cu	0,037%		
Fe	1,11%		
Mo	0,02%		
Zn	0,045%		
Cosmo Íon Boro	20,5%	1,75g	0,087g
Kelatex manganês	9%	5,55g	0,2735g

**ANEXO C – FLORES E FRUTOS DOS ACESSOS DE PASSIFLORAS
COMERCIAIS SELECIONADOS PARA AVALIAÇÃO AOS ESTRESSES
ABIÓTICOS (SALINIDADE E SECA)**



Passiflora edulis forma *edulis*
Fonte: Ocampo et al. (2012)



Passiflora maliformis
Fonte: Julie F. Barcelona (2013)



Passiflora edulis forma *flavicarpa*
Fonte: Ocampo et al. (2012)



Passiflora tarminiana
Fonte: Forest Starr & Kim Starr (2007)