

# COMPATIBILIDADE DE ENXERTIA DO TOMATEIRO SOBRE PORTA-ENXERTOS SELVAGENS E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE

## GRAFTING COMPATIBILITY OF TOMATO PLANTS ON WILD ROOTSTOCKS AND THEIR EFFECTS ON PRODUCTIVITY

<sup>1</sup>MACHADO, Daniele Gazoli Teixeira.

<sup>1</sup>Curso de Agronomia - Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos – Unifio

### RESUMO

A enxertia de plantas é uma técnica que visa unir duas partes de plantas diferentes, porta-enxerto e enxerto, para formar uma planta. A enxertia permite combinar um sistema radicular vigoroso com um enxerto de interesse comercial. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a compatibilidade do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) com porta-enxertos selvagens *Solanum paniculatum* (jurubeba) e *Solanum aculeatissimum* (joá). Para tanto, sementes do tomateiro e dos porta-enxertos foram semeadas em bandejas de poliestireno de 128 alvéolos preenchidos com substrato comercial à base de casca de pinus. Aos 15 dias após a semeadura, quando as plantas apresentavam de 3-5 folhas totalmente expandidas, as enxertias foram realizadas por fenda-cheia e a fixação entre porta-enxerto e enxerto foi realizada com grampos de enxertia para Solanáceas. As plantas foram acomodadas em câmara úmida até a completa cicatrização, cerca de 14 dias. Após a cicatrização, as plantas enxertadas e não enxertadas foram transplantadas para casa de vegetação. Foram avaliadas a porcentagem de sobrevivência e produção das plantas. Empregou-se o delineamento em blocos casualizado com três tratamentos (plantas de tomateiro não enxertadas, porta-enxerto *Solanum paniculatum* e *Solanum aculeatissimum*) e dez repetições. Verificou-se elevada sobrevivência de plantas enxertadas. Além disso, todos os tratamentos apresentaram número semelhante de frutos. No entanto, o diâmetro e a massa de frutos foram reduzidos em função da enxertia, especialmente em plantas enxertadas sobre joá. Concluímos que houve compatibilidade do tomateiro com os portas-enxertos, mas ocorreu uma redução na produtividade do tomateiro em função da menor massa e diâmetro de frutos.

**Palavras-chave:** Fenda-cheia; *Solanum aculeatissimum*; *Solanum paniculatum*.

### ABSTRACT:

Plant grafting is a technique that aims to join two different parts of plants, rootstock and scion, to form a plant. The grafting allows to combine a vigorous root system with a scion of commercial interest. Thus, the objective of this work was to evaluate the compatibility of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with wild rootstocks *Solanum paniculatum* and *Solanum aculeatissimum*. Then, tomato and rootstock seeds were sown in 128-cells polystyrene trays filled with commercial substrate based on pine bark. At 15 days after sowing, when the plants had 3-5 fully expanded leaves, grafts were performed by cleft technique and the fixation between rootstock and graft was performed with grafting clips for Solanaceae. Then, the plants were accommodated in a humid chamber until complete healing, about 14 days. After healing, grafted and non-grafted plants were transplanted to a greenhouse. The percentage of survival and production of the plants were evaluated. A randomized block design with three treatments (ungrafted tomato plants, rootstock *Solanum paniculatum* and *Solanum aculeatissimum*) and ten replications was used. There was high survival of grafted plants. Furthermore, all treatments had a similar number of fruits. However, the diameter and mass of fruits were reduced because of grafting, especially of plants grafted onto *Solanum paniculatum*. We concluded that there was compatibility of tomato with wild rootstocks, but there was a reduction in tomato yield due to the smaller mass and diameter of fruits.

**Keywords:** Cleft graft; *Solanum aculeatissimum*; *Solanum paniculatum*.

### INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é uma planta originada da região andina, em uma área compreendida entre a Colômbia e o Chile (Bergougnoux, 2014). Levada à Europa pelos navegadores espanhóis e, a partir de então, se disseminou tanto pela Europa quanto pelo resto do mundo (Bergougnoux, 2014). Atualmente, o tomateiro é uma

das principais hortaliças cultivadas ao redor do planeta. China, Índia e Turquia são os maiores produtores mundiais dessa olerícola (Fao, 2019). O Brasil, por sua vez, foi o 10º maior produtor mundial de tomate em 2018, produzindo 4.167.828 t em uma área de 62.050 ha, com produtividade média de 66.809 kg ha<sup>-1</sup> (Agrianual, 2017; Fao, 2017).

O tomateiro é uma planta perene, de porte arbustivo, cultivada como anual tanto em ambiente protegido como em campo (Freeman *et al.*, 2016; Suhl *et al.*, 2016). Os cultivares utilizados podem apresentar dois hábitos de crescimento: I) crescimento indeterminado e; II) crescimento determinado. Plantas com crescimento indeterminado caracterizam-se pela ocorrência de dominância apical na haste principal que, por sua vez, cresce mais do que as ramificações laterais (Alvarenga, 2013). As flores do tipo racimo são emitidas na haste principal a cada três folhas, que servirão como fonte de fotoassimilados para o desenvolvimento dos frutos (dreno) (Bertin *et al.*, 2001). Por outro lado, plantas com crescimento determinado caracterizam-se pela ausência de dominância apical na haste principal, sendo que cada ramificação apresenta um ramo floral apical, o qual limita o seu desenvolvimento vegetativo (Alvarenga, 2013). De maneira geral, os cultivares empregados para a produção de tomate para consumo “in natura” apresentam hábito de crescimento indeterminado, podendo ser cultivadas tanto em ambiente protegido quanto em campo, exigindo a realização de podas e tutoramento.

A produção em ambiente protegido proporciona melhor acomodação das plantas contra os fatores climáticos indesejáveis diminuindo os riscos do cultivo do tomateiro além de possibilitar a produção de frutos em épocas não favoráveis à condução de plantio em campo aberto (Pineda, 2021). Além disso, a produção de tomate em campo, bem como em ambiente protegido, está sob influência de diversos fatores abióticos, como temperatura, umidade, fotoperíodo, e também de fatores bióticos, como pragas e doenças (Harel *et al.*, 2014).

Doenças de plantas são anormalidades provocadas pela ação contínua de um agente patogênico que, ao infectar a planta ou um de seus órgãos, altera o seu metabolismo, comprometendo a produtividade ou a qualidade do produto. De maneira geral, quando leva-se em consideração a produção em ambiente protegido, as maiores preocupações fitossanitárias do agricultor são aquelas relacionadas a patógenos de solos (Ajilogba e Babalola, 2013; Jones *et al.*, 2014). Esses merecem atenção especial, uma vez que seu manejo é extremamente dificultoso podendo inviabilizar o cultivo do tomateiro em determinada área. Diante deste cenário, a enxertia tem se mostrado uma eficiente ferramenta de manejo para patógenos de solo (Singh *et al.*, 2017; Spanò *et al.*, 2020). Contudo, a aquisição de sementes de porta-enxertos comerciais eleva o custo de

produção de mudas de tomateiro. Fator este que inviabiliza o uso da técnica para muitos pequenos produtores. Dessa forma, a seleção de porta-enxertos selvagens pode ser uma alternativa importante para viabilizar o uso da enxertia.

A enxertia pode ser definida como o processo que visa unir partes de duas plantas diferentes para a formação de uma única planta. A porção que irá originar a parte aérea é conhecida como enxerto ou cavaleiro e o sistema radicular como porta-enxerto ou cavalo. O sucesso da união entre o enxerto e o porta-enxerto depende de diversos fatores morfológicos, fisiológicos e bioquímicos (Milien et al., 2012; Fan et al., 2015). Pensando em plantas olerícolas, a enxertia é uma técnica empregada principalmente para plantas das Famílias da Solanaceae e Cucurbitaceae, com o objetivo de obter resistência a doença do solo, possibilitando o cultivo de determinadas espécies em áreas contaminadas por patógenos (Gaion et al., 2018). A enxertia tem como fim evitar o contato da planta sensível com o agente patogênico. Dessa forma, enxerta-se o cultivar comercial sobre um porta-enxerto resistente, pertencente a outro cultivar, espécie ou gênero dentro da mesma família (Gaion et al., 2018). Contudo, não é possível conhecer a compatibilidade porta-enxerto/enxerto apenas por análises bioquímicas e/ou morfológicas. Assim, a investigação da compatibilidade entre plantas depende da realização de testes práticos, onde realiza-se as combinações desejadas e avalia-se a sua produtividade ao longo do seu ciclo.

Dessa forma, o objetivo com a presente pesquisa foi avaliar a compatibilidade do tomateiro cultivar BS II0020 com porta-enxertos selvagens e seus efeitos sobre a produtividade.

## MATERIAL E MÉTODOS

A semeadura dos porta-enxertos selvagens [(*Solanum paniculatum* – jurubeba) e (*Solanum aculeatissimum* - joá)] e do enxerto (Tomateiro, *Solanum lycopersicum* L.) ocorreu em bandejas de poliestireno expandido contendo 128 células preenchidas com substrato comercial. As bandejas foram acondicionadas em casa de vegetação. Quando as plantas apresentavam entre três e cinco folhas, realizou-se as enxertias, utilizando o método da fenda-cheia. Para tanto, realizou-se o corte de aproximadamente 1,0 cm entre as folhas cotiledonares do porta-enxerto (jurubeba ou joá) e o corte abaixo dos cotilédones do enxerto (tomateiro) em forma de cunha, o enxerto foi posicionado de forma que as folhas cotiledonares deste formasse um ângulo de 90° com as folhas cotiledonares do porta-enxerto. Após o posicionamento do porta-enxerto e enxerto, utilizou-se um prendedor próprio para Solanáceas a fim de fixar o enxerto ao porta-enxerto. Foram realizadas 80 enxertias para cada porta-enxerto e 80 plantas de tomateiro permaneceram não enxertadas (pé franco).

As plantas enxertadas foram colocadas em câmara de crescimento, a fim de manter elevado teor de umidade e sobreamento de 50% pela utilização de tela de sobreamento. As plantas permaneceram na câmara de crescimento por cerca de 14 dias, sendo gradativamente adaptadas para o transplântio para local definitivo em casa de vegetação. No momento do transplântio foi determinada a porcentagem de plantas sobreviventes. Além disso, avaliou-se o diâmetro dos frutos, o número de frutos comerciais por planta, a massa fresca de frutos por planta e, a partir destes dois últimos dados, foi calculada a produção de frutos por planta.

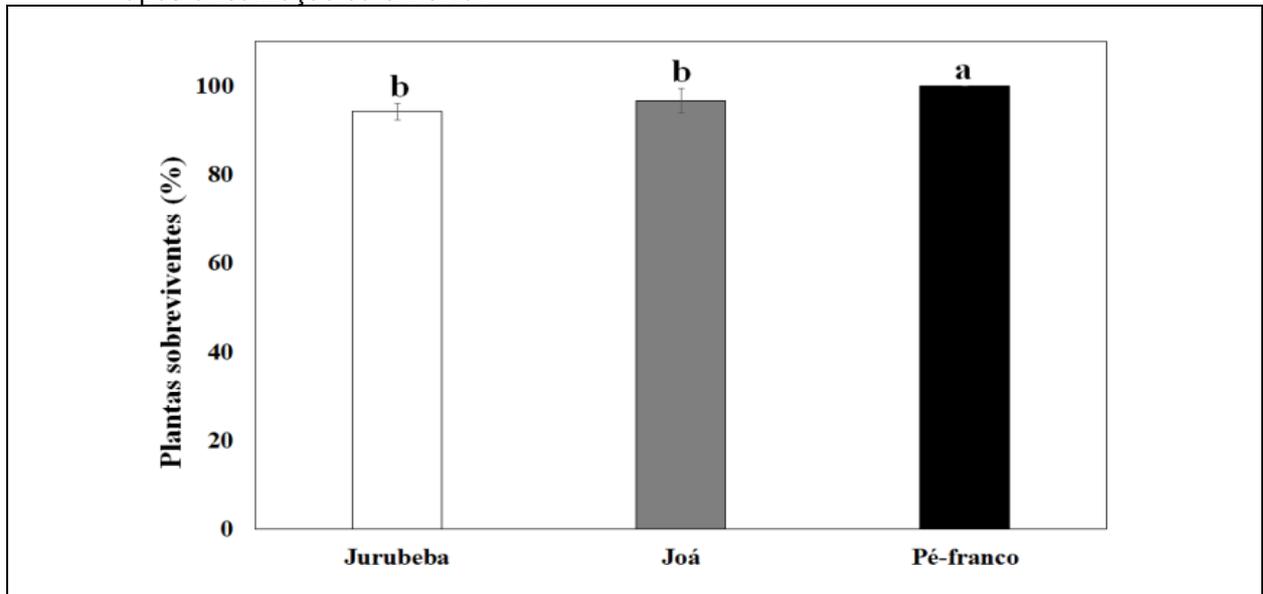
O controle fitossanitário foi realizado igualmente para todos os tratamentos. Além disso, a adubação seguiu as recomendações do Boletim 100 para a produção de tomate estaqueado.

Foi empregado o delineamento em blocos casualizados com três tratamentos (I) tomateiro sem enxertia; (II) tomateiro enxertado sobre *Solanum paniculatum* (jurubeba); (III) tomateiro enxertado sobre *Solanum aculeatissimum* (joá) e dez repetições; cada repetição constitui-se de seis plantas. Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), utilizando o programa AgroEstat ([www.agroestat.com](http://www.agroestat.com)).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto a sobrevivência das plantas, foi observada uma alta taxa de sobrevivência das plantas tanto enxertadas como não enxertadas (Figura 1). Mais precisamente, as plantas pé franco (não enxertadas) apresentaram 100% de sobrevivência, enquanto as plantas enxertadas exibiram redução significativa da sobrevivência em relação às plantas pé franco, a saber, 94,1 e 96,6% para plantas enxertadas sobre jurubeba e joá, respectivamente (Figura 1).

**Figura 1** - Porcentagem de sobrevivência de plantas enxertadas e de pé franco (não enxertadas) 15 dias após a realização da enxertia.

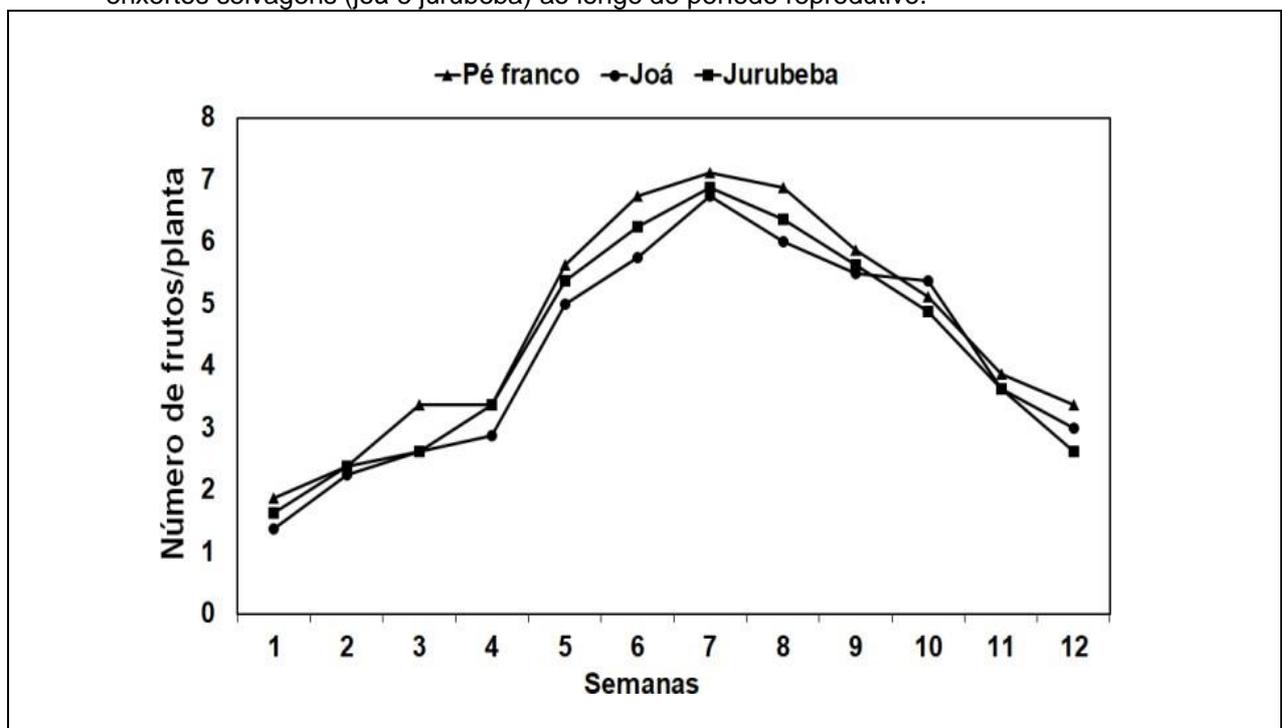


A sobrevivência é um importante indicativo da compatibilidade entre porta-enxerto e enxerto (Singh *et al.*, 2017; Gaion *et al.*, 2018). Assim, combinações altamente incompatíveis podem ser detectadas precocemente, através da senescência e morte das plantas poucos dias após a realização da enxertia. Contudo, a análise da sobrevivência precoce das plantas não é uma avaliação definitiva da compatibilidade entre combinações. De fato, não é raro que combinações de enxertia que apresentem um bom desenvolvimento inicial, demonstrem algum tipo de incompatibilidade tardia, especialmente quando se inicia o período reprodutivo (Singh *et al.*, 2017). Durante esse período a demanda por água e nutrientes do enxerto aumenta fortemente, e combinações que possuem uma regeneração pobre do sistema vascular na região da enxertia pode apresentar sinais de incompatibilidade a partir desse momento (Melnyk e Meyerowitz, 2015). Dessa forma, embora tenhamos observado uma elevada taxa de sobrevivência das plantas enxertadas, próximo de 100%, este não é um parâmetro definitivo (Figura 1). Na verdade, a capacidade produtiva ao longo do ciclo das combinações enxertadas é um parâmetro mais confiável da compatibilidade entre porta-enxerto e enxerto.

Quanto ao número de frutos, verifica-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos ao longo do período de avaliação (Figura 2). Dessa forma, fica claro que os porta- enxertos não afetaram o número de frutos produzidos por planta (Figura 2).

Contudo foi observado grande variação no número de frutos ao longo do período produtivo. Por exemplo, embora no início do período reprodutivo houvesse uma baixa produção de frutos por planta (~2) a cada colheita, sete semanas após o início do período reprodutivo atingiu-se o pico produtivo das plantas com cerca de sete frutos por planta por colheita (Figura 2). Dessa forma, pode-se dividir em três fases distintas de produção de frutos, a primeira vai até a terceira semana após o início do período reprodutivo, onde verifica-se baixa produção de frutos, então segue um aumento acentuado no número de frutos até a semana sete, quando inicia-se a terceira fase com redução do número de frutos produzidos por planta (Figura 2). A redução da produção no terço final do ciclo se deve principalmente pelo início da senescência das plantas e a degeneração do estado fitossanitário das plantas, especialmente pela disseminação de pinta preta e do vírus do vira-cabeça.

**Figura 2** Número de frutos em plantas de tomateiro não enxertadas (pé franco) e enxertadas sobre porta-enxertos selvagens (joá e jurubeba) ao longo do período reprodutivo.

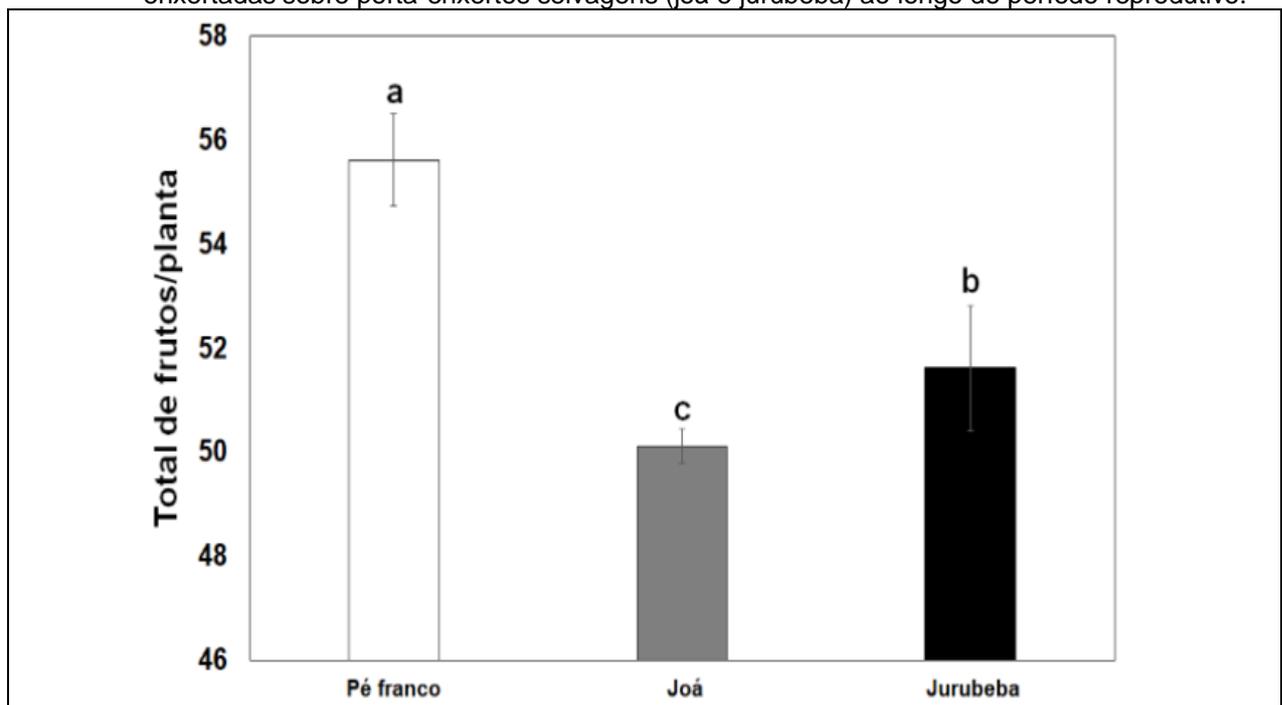


Quando contabilizada a produção total de frutos por plantas, observa-se que plantas não enxertadas de tomateiro produziram maior número de frutos quando comparado às plantas enxertadas (Figura 3). Por sua vez, entre as plantas enxertadas, o maior número de frutos foi obtido por plantas enxertadas sobre jurubeba (Figura 3). Aqui fica claro que os porta-enxertos selvagens reduziram a produção de frutos de tomateiro. De fato, o uso

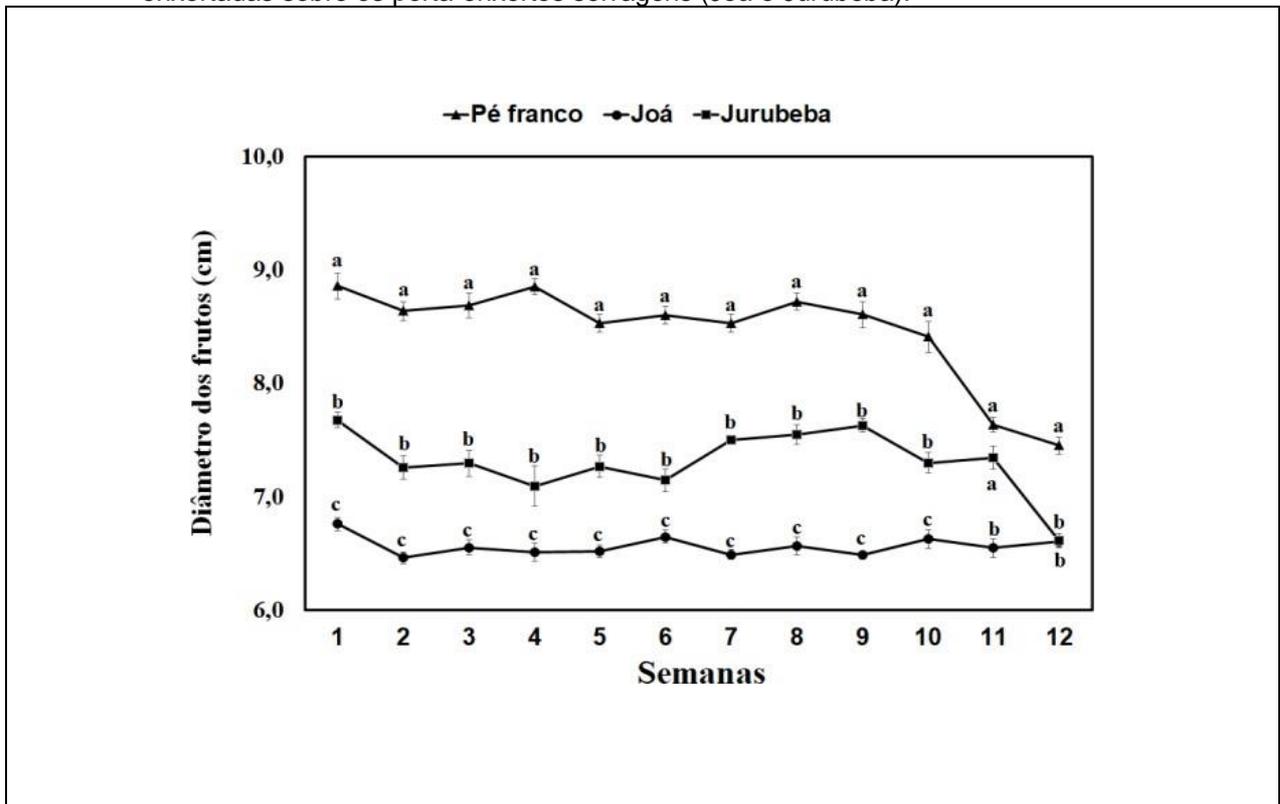
de porta-enxertos pode modificar a fisiologia do enxerto, modificando inclusive a distribuição de fotoassimilados (Melnyk e Meyerowitz, 2015; Riga, 2015). Dessa forma, embora não tenhamos avaliado o crescimento vegetativo das plantas, é possível hipotetizar que o uso de porta-enxertos selvagens, especialmente o joá, tenha inibido o crescimento de tomateiro em favor do maior crescimento vegetativo (Riga, 2015).

O diâmetro dos frutos também foi reduzido pela enxertia, especialmente sobre joá (Figura 4). O maior diâmetro dos frutos foi obtido em plantas de pé franco de tomateiro ao longo de todo o período reprodutivo (Figura 4). Assim como observado para o número de frutos por plantas, os enxertos influenciaram negativamente o diâmetro dos frutos produzidos por plantas de tomateiro enxertadas. Mais uma vez os porta-enxertos selvagens parecem modificar a distribuição de fotoassimilados nas plantas e, assim, reduzir o enchimento dos frutos de tomateiro. Outra possibilidade é que a não regeneração completa do sistema vascular na região da enxertia prejudique o transporte de água e nutrientes para a parte aérea da planta e, assim, prejudique o enchimento dos frutos, o que levaria a um menor diâmetro e massa dos frutos (Riga, 2015).

**Figura 3** - Número total de frutos produzidos por plantas de tomateiro não enxertadas (pé franco) e enxertadas sobre porta-enxertos selvagens (joá e jurubeba) ao longo do período reprodutivo.



**Figura 4** - Diâmetro de frutos (cm) obtido por plantas de tomateiro não enxertado (Pé-franco) e plantas enxertadas sobre os porta-enxertos selvagens (Joá e Jurubeba).

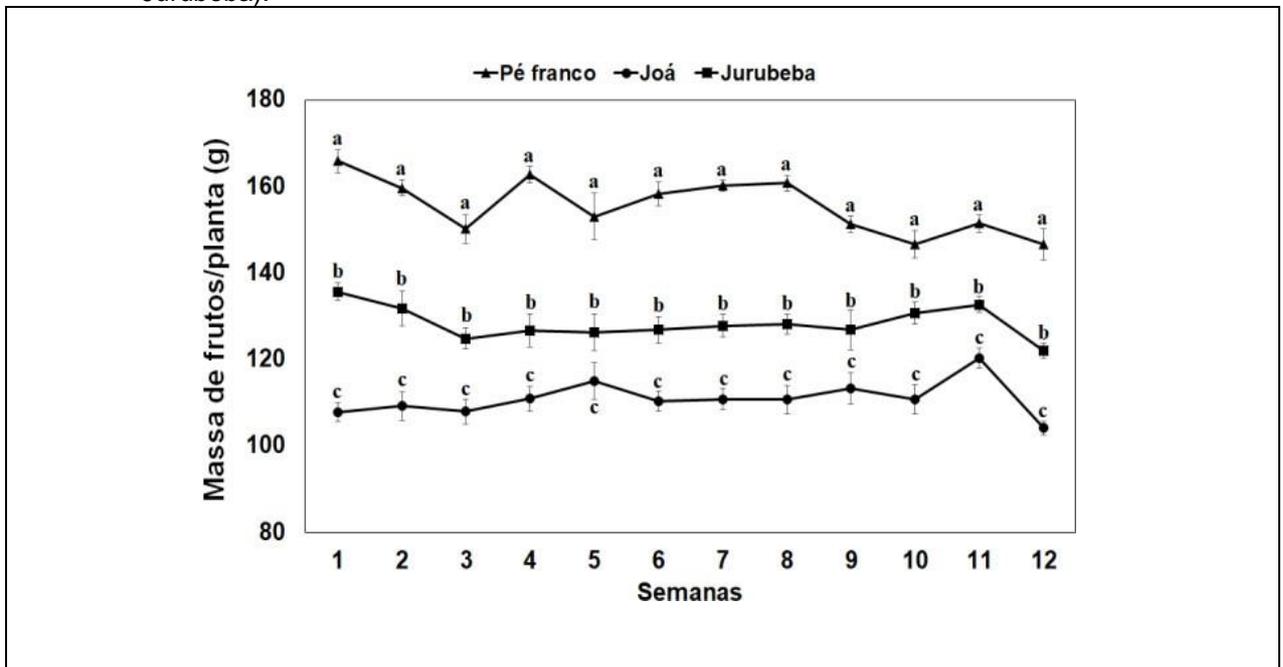


Quanto a massa de frutos por planta ao longo do período reprodutivo, nota-se que a mesma foi negativamente regulada pela enxertia, ou seja, plantas enxertadas apresentaram massa menor de frutos, quando comparado às plantas não-enxertadas ao longo do período reprodutivo (Figura 5). Vale destacar que as plantas enxertadas sobre jurubeba apresentaram produção intermediária de frutos. A menor massa de frutos em plantas enxertadas está associada ao diâmetro reduzido desses frutos que, novamente, poderia ser explicada pela menor entrega de fotoassimilados. Em outras palavras, o particionamento de carbono nas plantas enxertadas é modulado de modo a prejudicar o desenvolvimento dos frutos, tanto em diâmetro quanto em massa.

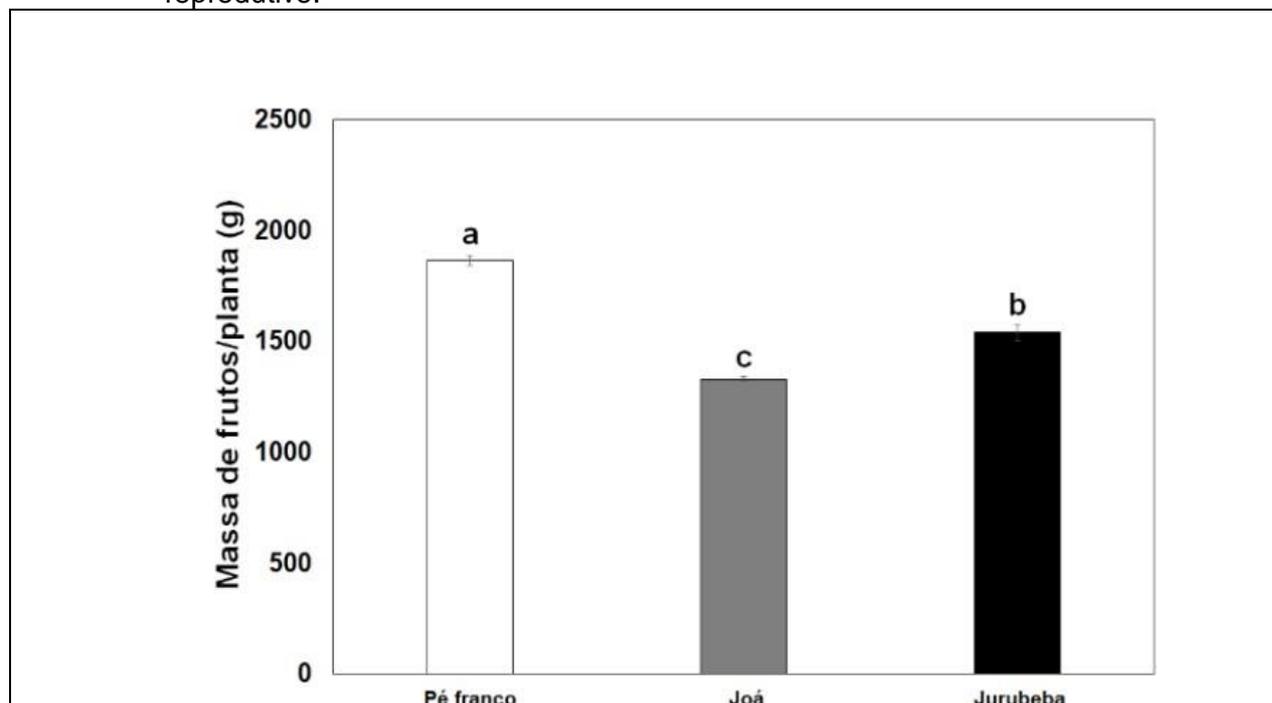
Na Figura 6, nota-se que a produção total de frutos foi maior em plantas de tomateiro não enxertadas, quando comparado às plantas enxertadas sobre os porta-enxertos selvagens. Destaca-se, contudo, que as plantas de jurubeba proporcionaram maior produção de frutos em comparação ao porta-enxerto de joá. Vale ressaltar que o uso de porta-enxertos em muitos casos está associado a tentativa de manejo de patógenos de solo (Gaion et al., 2018). Contudo, durante o desenvolvimento deste experimento não foram observados sintomas de doenças de solo nas plantas de tomateiro

enxertadas ou não enxertadas. Dessa forma, não havia fator limitante a produção das plantas não enxertadas. Por outro lado, em situações em que a produção de tomateiro for prejudicada pelo ataque de patógenos de solo, o uso de porta-enxertos resistentes torna-se uma ferramenta essencial de manejo da cultura. De fato, tem sido relatado a existência de resistência à *Ralstonia solanacearum*, uma das principais doenças bacterianas do tomateiro, em genótipos de jurubeba (Lopes e Mendonça, 2016). Neste caso, o uso da jurubeba poderia ser de grande interesse por parte do produtor, uma vez que essas plantas apresentaram redução da produção de frutos de apenas 17% (de 1800 g em plantas não enxertadas para 1500 g em plantas enxertadas sobre jurubeba).

**Figura 5** - Massa de frutos (g) por planta obtida ao longo do período reprodutivo em plantas de tomateiro não enxertado (Pé-franco) e plantas enxertadas sobre os porta-enxertos selvagens (Joá e Jurubeba).



**Figura 6** - Massa total de frutos produzidos por plantas de tomateiro não enxertadas (pé franco) e enxertadas sobre porta-enxertos selvagens (joá e jurubeba) ao final do período reprodutivo.



## CONCLUSÕES

Houve compatibilidade do tomateiro BS II0020 com os porta-enxertos avaliados. Contudo, os portas-enxertos jurubeba (*Solanum paniculatum*) e joá (*Solanum aculeatissimum*) reduziram a produtividade do tomateiro, principalmente em função da menor massa e diâmetro de frutos. O que não os descarta como opções em condições de solo infestado com patógenos de solo, especialmente por *Ralstonia solanacearum*.

## REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2017: **anúário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2017. 392p.

AJILOGBA, C. F.; BABALOLA, O. O. Integrated management strategies for tomato *Fusarium* wilt. **Biocontrol Science**, v. 18, n. 3, p. 117– 127, 2013. <https://doi.org/10.4265/bio.18.117>

ALVARENGA, M. A. R. Origem, botânica e descrição da planta. In: Alvarenga, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2. ed. Lavras:

Editora Universitária de Lavras, 2013. Cap. 1, p.11–22.

BERGOUGNOUX, V. The history of tomato: From domestication to biopharming. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 1, p. 170–189, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>

BERTIN, N.; GAUTIER, H.; ROCHE, C. Number of cells in tomato fruit depending on fruit position and source-sink balance during plant development. **Plant Growth Regulation**, v. 36, n. 2, p. 105–112, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1015075821976>

FAN, J.; YANG, R.; LI, X.; ZHAO, W.; ZHAO, F.; WANG, S. The processes of graft union formation in tomato. **Horticulture Environment and Biotechnology**, v. 56, n. 5, p. 569–574, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0009-1>

FAO. FAOSTAT – **Statistic Database**. Disponível em: Acesso em: 08 de maio de 2020.

FREEMAN, J. H.; MCAVOY, E. J.; BOYD, N.; DITTMAR, P. J.; OZORES-HAMPTON, M.; SMITH, H. A.; VALLAD, G. E.; WEBB, S. E. Tomato production. In: Freeman, J. H.; Vallad, G. E.; Dittmar, P. J. **Vegetable production handbook of Florida**. Florida: University of Florida, 2016. Cap. 17, p. 315–358.

GAION, L. A.; BRAZ, L. T.; CARVALHO, R. F. Grafting in vegetable crops: a great technique for agriculture. **International Journal of Vegetable Science**, v. 24, n. 1, p. 85–102, 2018. <https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1357062>

HAREL, D.; FADIDA, H.; ALIK, S.; GANTZ, S.; SHILO, K. The effect of mean daily temperature and relative humidity on pollen, fruit set and yield of tomato grown in commercial protected cultivation. **Agronomy**, v. 4, n. 1, p. 167–177, 2014. <https://doi.org/10.3390/agronomy4010167>

JONES, J. B.; ZITTER, T. A.; MOMOL, T. M.; MILLER, S. A. **Compendium of tomato diseases and pests**. 2<sup>a</sup> ed. Minnesota: APS Press, 2014. 168p. <https://doi.org/10.1094/9780890544341>

LOPES, C. A.; MENDONÇA, J. L. Reação de acessos de jurubeba à murcha bacteriana para uso como porta-enxerto em tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 356–360, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003008>

MELNYK, C. W.; MEYEROWITZ, E. M. PLANT GRAFTING. **Current Biology**, v. 25, n. 5, p. 183–188, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.029>

MILIEN, M.; RENAULT-SPILMONT, A. S.; COOKSON, S. J.; SARRAZIN, A.; VERDEIL, J. L. Visualization of the 3D structure of the graft union of grapevine using X-ray tomography. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 130–140, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.045>

PINEDA, I. T.; LEE, Y. D.; KIM, Y. S.; LEE, S. M.; PARK, K. S. Review of inventory data in life cycle assessment applied in production of fresh tomato in greenhouse. **Journal of Cleaner Production**, v. 282, n. 1, 124395, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124395>

RIGA, P. Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. **Horticulture, Environment and**

**Biotechnology**, v. 56, n. 5, p. 626–638, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0042-0>

SINGH, H.; KUMAR, P.; CHAUDHARI, S.; EDELSTEIN, M. Tomato grafting: a global perspective. **HortScience**, v. 52, n. 10, p. 1328–1336, 2017. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11996-17>

SPANÒ, R.; FERRARA, M.; GALLITELLI, D.; MASCIA, T. The role of grafting in the resistance of tomato to viruses. **Plants**, v. 9, n. 8, 1042, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9081042>

SUHL J.; DANNEHL, D.; KLOAS, W.; BAGANZ, D.; JOBS, S.; SCHEIBE, G.; SCHMIDT, U. Advanced aquaponics: evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 335–344, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.013>