

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

Condutância hidráulica de cultivares copa de *Prunus* spp. em função do porta-enxerto, na região de Pelotas - RS

Lindomar Velho de Aguiar Júnior

Pelotas, 2023

LINDOMAR VELHO DE AGUIAR JÚNIOR

Condutância hidráulica de cultivares copa de *Prunus* spp. em função do porta-enxerto, na região de Pelotas - RS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Valmor João Bianchi

Coorientador: Prof. Dr. Flavio Gilberto Herter

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A281c Aguiar Junior, Lindomar velho de

Condutância hidráulica de cultivares copa de *Prunus* spp. em função do porta-enxerto, na região de pelotas - rs / Lindomar velho de Aguiar Junior ; Valmor João Bianchi, orientador ; Flávio Gilberto Herter, coorientador. — Pelotas, 2023.

90 f.

Dissertação (Mestrado) — Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Estresse hídrico. 2. Pessegueiro. 3. ameixeira. 4. Vasos condutores do xilema. I. Bianchi, Valmor João, orient. II. Herter, Flávio Gilberto, coorient. III. Título.

CDD : 634.25912

Lindomar Velho De Aguiar Júnior

Condutância hidráulica de cultivares copa de *Prunus* spp. em função do porta-enxerto, na região de Pelotas - RS

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade de Federal de Pelotas.

Data da defesa: 21 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Valmor João Bianchi (Orientador)

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Paulo Celso de Mello Farias

Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Juliana Aparecida Fernando

Doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Gustavo Maia Souza

Doutor em Fisiologia Vegetal pela Universidade Estadual de São Paulo

*Ao meu pai: Lindomar Velho de Aguiar;
A minha mãe: Nilmar Aparecida da Silva;
Aos meus Irmãos: Marciele e João Victor;
A minha companheira: Fabiana L. Fonseca.*

Ofereço e Dedico.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, que mesmo de longe, sempre estiveram perto de mim.

A minha companheira de todas as horas, Fabiana Lazzerini da Fonseca.

A mexicana mais brasileira que conheci, “Katita” assim como, “João e a Mariana das oliveiras”, Andressa e Flávia por toda ajuda que me deram nas avaliações e discussões (estatísticas) para o desenvolvimento das pesquisas.

Aos meus grandes amigos de biblioteca e colegas de profissão Alexandre, Alisson e Lola;

Ao meu orientador Valmor J. Bianchi, pelo voto de confiança para seguir o seu projeto de pesquisa e por sempre estar à disposição nas horas de dúvidas;

Ao meu coorientador e “vô” de orientação, Professor Dr. Flávio G. Herter;

Ao meu grande amigo Fabiano Simões (*in memoriam*) que acompanhou minha vida acadêmica desde o início (“Bicho, confia que vai dar certo”);

Aos professores da “Fruti”: Paulo Celso, Vaguinho e Malgarim;

Ao professor Edison Zefa e a professora Juliana por toda ajuda nas metodologias e disponibilidade de equipamentos;

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia área de concentração Fruticultura de Clima Temperado pela oportunidade de realização do mestrado assim como, ao CNPq pelo financiamento da bolsa de pesquisa.

A todos que de alguma forma sempre estiveram torcendo por mim.

Obrigado.

RESUMO

DE AGUIAR JUNIOR, Lindomar Velho. **Condutância hidráulica de cultivares copa de *Prunus* spp. em função do porta-enxerto, na região de Pelotas – RS.** Orientador: Valmor João Bianchi. 2023. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

O Rio Grande do Sul é responsável por mais de 60% da produção nacional de frutas de caroço, porém apresenta baixas médias produtivas devido a fatores como o estresse hídrico, que é um dos fatores associados à síndrome da morte precoce de plantas. Uma estratégia para melhorar a produtividade e mitigar os efeitos do estresse hídrico é o uso de porta-enxertos selecionados. Este estudo caracterizou os vasos condutores do xilema e sua correlação com a perda de condutividade hidráulica em plantas de pessegueiro e ameixeira em função do porta-enxerto utilizado. Foram avaliadas plantas de pessegueiro 'BRS Rubimel' enxertadas nos porta-enxertos 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', e plantas de ameixeira 'Reubennel' enxertadas em 'Okinawa' e 'Myrobalan 29C' comparando-as com plantas de 'Reubennel' autoenraizadas. Foram analisados os vasos do xilema de ramos e raízes, bem como a perda de condutividade hidráulica e sua relação com o regime de precipitação. No experimento com pessegueiros verificou-se altos valores de perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) devido ao prolongado período de estiagem. Em fevereiro de 2022, a PCH foi de aproximadamente 45%, indicando um nível moderado de potencial de cavitação. No entanto, não foi observado risco significativo de danos irrecuperáveis na condutividade do xilema, o que sugere uma boa resistência ao estresse hídrico nas combinações de plantas avaliadas. Na avaliação de fevereiro de 2023, a PCH nos pessegueiros 'BRS Rubimel', as médias foram menores e semelhantes as médias observadas no segundo experimento (ameixeiros 'Reubennel'), no qual as plantas não foram submetidas a condições de déficit hídrico. Observou-se que as plantas enxertadas apresentaram maiores médias de PCH em relação as plantas autoenraizadas, o que pode ser justificado pelo processo de enxertia. Além disso, o estreitamento dos vasos do xilema nos ramos garante a segurança hidráulica e mantêm a eficiência no transporte de água, mesmo com a redução na capacidade de transporte. Esses resultados evidenciam que o uso de porta-enxertos selecionados pode contribuir para aumentar a produtividade e minimizar os efeitos do estresse hídrico em pomares de pessegueiro e ameixeira no Rio Grande do Sul, e que as análises histológicas dos vasos condutores do xilema podem ser úteis na escolha de porta-enxertos mais adequados para o cultivo dessas frutíferas.

Palavras-chave: Estresse hídrico. Pessegueiro. Ameixeira. Vasos condutores do xilema. Perda de condutividade hidráulica.

ABSTRACT

DE AGUIAR JUNIOR, Lindomar Velho. **Hydraulic conductance of *Prunus* spp. canopy cultivars as a function of rootstock in the Pelotas region, RS.** Advisor: Valmor João Bianchi. 2023. 90 p. Dissertation (Master's in Agronomy) – Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, 2023.

Rio Grande do Sul is responsible for over 60% of the national production of stone fruits. However, it faces challenges in achieving high average yields due to factors such as water stress, which is associated with the premature death syndrome in plants. One strategy to enhance productivity and mitigate the effects of water stress is the use of selected rootstocks. This study focused on characterizing the xylem vessels and their correlation with hydraulic conductivity loss in peach and plum plants based on the rootstock used. Peach trees of the 'BRS Rubimel' variety were grafted onto rootstocks 'Capdeboscq', 'Flordaguard', and 'Okinawa Roxo'. Similarly, plum trees of the 'Reubennel' variety were grafted onto 'Okinawa' and 'Myrobalan 29C' rootstocks, with comparisons made against self-rooted 'Reubennel' plants. The analysis encompassed xylem vessels in both branches and roots, as well as the measurement of hydraulic conductivity loss and its relationship with precipitation patterns. The experiment with peach trees demonstrated high percentages of loss hydraulic conductivity (PLC) due to prolonged drought periods. In February 2022, the PLC reached approximately 45%, indicating a moderate level of cavitation potential. Nonetheless, there was no significant risk of irrecoverable damage to xylem conductivity, suggesting good resistance to water stress in the evaluated plant combinations. By February 2023, PLC in 'BRS Rubimel' peach trees exhibited lower and comparable averages to those observed in the second experiment involving 'Reubennel' plum trees that were not subjected to water deficit conditions. Grafted plants exhibited higher PLC averages than self-rooted plants, attributed to the grafting process. Moreover, the narrowing of xylem vessels in the branches ensures hydraulic safety and sustains water transport efficiency despite reduced capacity. These findings highlight that the use of selected rootstocks can enhance productivity and alleviate water stress effects in peach and plum orchards in Rio Grande do Sul. Furthermore, histological analyses of xylem vessels can be valuable in selecting appropriate rootstocks for the cultivation of these fruit-bearing trees.

Keywords: Water stress. Peach tree. Plum tree. Xylem conducting vessels. Hydraulic conductivity loss.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução Geral | 10 |
| 2. Hipóteses do Trabalho | 13 |
| 3. Objetivo Geral | 14 |
| 4. Objetivos específicos | 14 |
| 5. Revisão de Literatura | 15 |
| 5.1. Porta-enxertos: Importância e Impactos do seu uso | 16 |
| 5.1.1. ‘Capdeboscq’ (<i>P. persica</i> L. Batsch)..... | 18 |
| 5.1.2. ‘Flordaguard’ (<i>P. persica</i> x <i>P. davidiana</i>) | 18 |
| 5.1.3. ‘Myrobalan 29C’ (<i>P. cerasifera</i> L.) | 19 |
| 5.1.4. ‘Okinawa’ (<i>P. persica</i> L. Batsch)..... | 19 |
| 5.1.5. ‘Okinawa Roxo’ (<i>P. persica</i> L. Batsch)..... | 19 |
| 5.1.6. ‘Reubennel’ (<i>P. salicina</i> Lindl.)..... | 20 |
| 5.1.7. ‘BRS Rubimel’ (<i>P. persica</i> L. Batsch) | 20 |
| 6. Capítulo 1 - Condutividade hidráulica de pessegueiro ‘BRS Rubimel’ enxertado em ‘Capdeboscq’, ‘Flordaguard’ e ‘Okinawa Roxo’ sob condições de campo na região de Pelotas-RS | 21 |
| 6.1. Introdução | 21 |
| 6.2. Material e métodos | 23 |
| 6.2.1. Local do experimento..... | 23 |
| 6.2.2. Dados Climáticos..... | 23 |
| 6.2.3. Material vegetal | 25 |
| 6.2.4. Variáveis analisadas..... | 25 |
| 6.2.4.1. Análise de diâmetro de tronco e massa de poda..... | 25 |
| 6.2.4.2. Condutância do xilema e cavitação | 26 |
| 6.2.4.3. Potencial químico da água | 27 |
| 6.2.4.4. Análises histológicas do xilema de ramos e raízes..... | 27 |
| 6.2.4.5. Condutividade hidráulica teórica..... | 29 |
| 6.2.4.6. Correlação de médias..... | 29 |
| 6.2.5. Delineamento experimental e análise estatística..... | 30 |
| 6.3. Resultados | 31 |
| 6.4. Discussão | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 6.5. Perda de condutividade..... | 43 |
| 6.6. Análises histológicas | 43 |
| 6.7. Correlações | 46 |
| 6.8. Conclusões..... | 48 |
| 7. Capítulo 2 - Características dos vasos do xilema e do crescimento de ameixeiras 'Reubennel' enxertadas e autoenraizadas..... | 49 |
| 7.1. Introdução | 49 |
| 7.2. Material e métodos | 52 |
| 7.2.1. Dados Climáticos..... | 52 |
| 7.2.2. Material vegetal | 53 |
| 7.2.3. Variáveis analisadas..... | 53 |
| 7.2.3.1. Análise de diâmetro de tronco | 53 |
| 7.2.3.2. Massa de poda | 53 |
| 7.2.3.3. Condutância do xilema e cavitação..... | 54 |
| 7.2.3.4. Análises histológicas dos ramos e raízes..... | 55 |
| 7.2.3.5. Condutividade hidráulica teórica..... | 56 |
| 7.2.3.6. Correlação de médias..... | 57 |
| 7.2.4. Delineamento experimental | 57 |
| 7.3. Resultados..... | 58 |
| 7.4. Discussão | 67 |
| 7.5. Perda de condutividade hidráulica..... | 67 |
| 7.6. Análises histológicas | 68 |
| 7.7. Correlações | 70 |
| 7.8. Conclusões..... | 73 |
| 8. Considerações finais | 74 |
| Referências..... | 75 |
| Anexo | 85 |

1. Introdução Geral

O Brasil é o terceiro maior produtor frutícola do mundo, onde a China e a Índia, respectivamente, lideram o setor o produtivo (FAO, 2023). Na produção brasileira, existe grande destaque para as culturas de clima tropical como bananeiras, mamoeiros, abacaxizeiros e coqueiros, subtropical, com laranjeiras, e dentre as espécies de clima temperado, existe grande destaque na cultura da macieira e das frutíferas de caroço como ameixeiras, nectarineiras e pessegueiros.

Os primeiros registros da persicultura no Brasil, segundo Sachs (1998) e Raseira (2010), datam de 1532, no estado de São Paulo, com o plantio de algumas mudas. Na década de 1960, após grande expansão da cultura, foi difundida para outros estados, de acordo com as condições climáticas, incluindo o Rio Grande do Sul, vindo a tornar-se o maior produtor nacional de pêssegos.

No Rio Grande do Sul, a região da Serra Gaúcha destaca-se pela produção de pêssegos do tipo mesa, enquanto a região Sul do estado, como Pelotas, destina a maior parte da produção às indústrias de doces e conservas (NAVA et al., 2015; PEGORARO et al., 2016).

Com relação à produtividade na região Sul, Pelotas e municípios vizinhos apresentam as menores médias de produtividade (IBGE, 2023). As diferenças na produção podem estar relacionadas a diversos fatores, no entanto, vale destacar alguns que a região apresenta tais como: clima subtropical, índices de pluviosidade nem sempre bem distribuídos ao longo do ano, com aproximadamente 1400 mm ano⁻¹, e o solo caracterizado como Argissolo Amarelo distrófico típico. Uma vez que a produção de mudas é baseada no uso da enxertia, outro fator importante associado à baixa produtividade é o tipo e origem do material utilizado na produção de porta-enxertos (NICOLAU et al., 2021).

A região de Pelotas frequentemente possui índices de precipitação regulares. No entanto, em alguns anos atípicos, podem acontecer algumas oscilações nos parâmetros pluviométricos, promovendo longos períodos de estiagem. Estes fatos, possivelmente caracterizam um déficit hídrico moderado a severo fato que justifica o uso de genótipos de porta-enxertos mais tolerantes ao déficit hídrico, bem como de sistemas de irrigação em períodos críticos para a cultura (HACK et al., 2015; CABALLERO et al., 2018).

Os porta-enxertos na região Pelotas na sua maioria são originados de caroços descartados pelas indústrias de compotas, portanto, não possuem controle de origem genética, sendo uma mistura de caroços de diferentes cultivares copa, fator limitante para a qualidade das mudas (MAYER e UENO, 2012; MAYER et al., 2017). Conseqüentemente, mudas produzidas com esse tipo de material vegetal, resultam em baixas produções, disparidades no vigor, baixa qualidade de frutos e em alguns casos mais graves, morte precoce de plantas dentro dos pomares (HARPER; GRENNE, 1998).

O uso de porta-enxertos adaptados às condições ambientais possibilita melhorias nas práticas de manejo, uniformidade e redução de vigor no pomar, além de apresentar resistências ou tolerâncias a fatores bióticos como pragas e doenças, e fatores abióticos como estresse hídrico (DUBEY; SHARMA, 2016; MARRA et al., 2013).

O estresse hídrico, causado pelo excesso ou pelo déficit de água disponível no solo, pode ser caracterizado em diferentes níveis perceptíveis tanto no crescimento e desenvolvimento das plantas, e também em níveis mais específicos, como variações no diâmetro de vasos condutores e translocação da água na planta (TOMBESI, 2010).

As características dos vasos xilemáticos, como densidade e diâmetro, podem variar de acordo com o genótipo utilizado e a disponibilidade hídrica do solo, bem como pela interação entre a copa e o porta-enxerto. Em ambientes com alta disponibilidade de água, as plantas tendem a ter vasos de diâmetro maior em comparação com as que crescem em ambientes com baixa disponibilidade hídrica. No entanto, essas plantas contendo vasos de xilema com maior diâmetro são mais suscetíveis à cavitação e embolia, o que pode limitar seu pleno desenvolvimento e levar a estresses irreversíveis (TOMBESI, 2011).

Para entender o fenômeno da cavitação, é importante considerar a relação entre o diâmetro dos vasos condutores e a tensão superficial do líquido. A tensão superficial atua na superfície do líquido, formando uma película que impede a formação de bolhas de vapor. Em vasos de maior diâmetro, a queda brusca de pressão pode superar essa resistência possibilitando a formação de bolhas. No entanto, em vasos mais finos, a tensão superficial é mais eficaz em evitar a cavitação, tornando-os menos propensos a esse fenômeno. Contudo, a estrutura dos vasos condutores influencia sua resistência à cavitação, o que tem implicações importantes para o desenvolvimento saudável das plantas.

Sendo assim, o presente estudo abordará uma revisão sobre a cultura do pessegueiro no Brasil, uma breve descrição das cultivares estudadas, os aspectos relacionados às características de vasos de xilema de diferentes genótipos de *Prunus* spp., bem como suas implicações na dinâmica da água dentro da planta. Por fim, serão apresentados dois capítulos contendo os resultados da avaliação da característica de vasos do xilema de ramos e raízes de diferentes genótipos de pé-franco e enxertados com cultivar-copa de pessegueiro e ameixeira.

2. Hipóteses do Trabalho

- As novas estruturas anatômicas dos vasos condutores das cultivares copa podem sofrer adaptações de acordo com o porta-enxerto.
- Plantas enxertadas apresentaram maiores taxas de perda de condutividade hidráulica em comparação às plantas autoenraizadas.
- O crescimento vegetativo das cultivares copa pode ser influenciado pelas características de diâmetro e densidade dos vasos do xilema das raízes.

3. Objetivo Geral

Correlacionar as características de diâmetro e densidade de vasos dos xilemas das raízes e dos ramos com das cultivares-copa de pessegueiro e ameixeira, e de porta-enxertos de *Prunus* spp. com os índices de perda de condutividade hidráulica do xilema.

4. Objetivos específicos

- Caracterizar a estrutura anatômica dos vasos do xilema de ramos e raízes de plantas que combinam a cultivar-copa de pessegueiro BRS Rubimel, enxertadas sobre três porta-enxertos, cultivadas a campo na região de Pelotas;
- Caracterizar os vasos do xilema de ramos e raízes de plantas que combinam a cultivar-copa de ameixeira 'Reubennel', enxertadas sobre os porta-enxertos 'Okinawa', 'Myrobalan 29C' e plantas de 'Reubennel' autoenraizadas, cultivadas em vasos;
- Identificar a influência dos sistemas radiculares (porta-enxertos) na anatomia dos vasos do xilema de cultivares copa;
- Correlacionar as variáveis relacionadas à estrutura anatômica do xilema com a perda de condutividade hidráulica (PCH) das plantas.

5. Revisão de Literatura

O pessegueiro pertence à família Rosacea, subfamília Prunoidea, gênero *Prunus* (L.) e subgênero *Amygdalus*, espécie persica (*Prunus persica* (L.) Batsch). Esta cultura é originária da China e foi introduzida no Brasil no início da década de 1530, por Martin Afonso de Souza (SACHS; CAMPOS, 1998).

Segundo a FAO (2023), em 2021, a produção mundial de pêssegos e nectarinas foi próxima de 25 milhões de toneladas. O Brasil encontra-se na 13ª posição onde a China, Espanha, Itália, Grécia e Turquia, respectivamente, assumem o topo do ranking em produção.

De acordo com o IBGE (2023), o Brasil fechou o ano de 2021 com aproximadamente 15.555 ha destinados à produção de pêssegos, com uma produtividade média de aproximadamente 13 toneladas ha⁻¹. Dentre os estados produtores, o Rio Grande do Sul destaca-se com 63% da produção brasileira, seguido pelos estados de São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais, Paraná e Espírito Santo, respectivamente. Com relação ao valor de produção, na safra 2019/20, a estimativa nacional alcançou R\$ 515,6 milhões, onde o Rio Grande do Sul contribuiu com 55,85% desse montante (IBGE, 2023).

O Estado do Rio Grande do Sul possui cerca de 11.404 ha destinados à atividade da persicultura, divididos em 3.075 unidades de produção agrícola (UPA), em um total de 112 cidades cadastradas na base de dados da Emater. Dentre os municípios, Pinto Bandeira, Pelotas, Farroupilha, Canguçu e Caxias do Sul possuem respectivamente as maiores produções, sendo que, a região da Serra Gaúcha é responsável pela maior produção de pêssegos de mesa, ao mesmo tempo que, a região de Pelotas destina a maior parte de sua produção para a indústria de conservas e compotas.

Severo (2017) relatou que Pelotas, Canguçu e Morro Redondo respondem por 58% da produção nacional de pêssego para conserva, gerando cerca de 2,5 mil empregos diretos na cultura. No entanto, segundo a Emater (2021) e IBGE (2023) a região de Pelotas apresenta as menores médias produtivas (toneladas ha⁻¹) do Estado e do Brasil.

Alguns dos fatores que podem estar relacionados à baixa produtividade na região são práticas inapropriadas de manejo, condições edafoclimáticas, falta de acompanhamento do estado nutricional das plantas, adubações inadequadas

(FREIRE; MAGNANI, 2014), qualidade das mudas, além das características agronômicas e genéticas das cultivares copa (LORETI; MORINI, 2008) e forma de propagação dos porta-enxertos utilizados na produção das mudas (SCHIMITZ et al., 2012).

Segundo Mayer e Ueno (2012), muitas das sementes utilizadas para produção de porta-enxertos na região de Pelotas são originadas a partir dos caroços descartados pelas indústrias de conservas. Sendo assim, esse é um dos fatores limitantes que contribui de forma negativa na qualidade das plantas, frutas, produção e no caráter de vida útil dos pomares. Harper e Grenne (1998) relataram que dentre os atributos presentes nos porta-enxertos está a capacidade de tolerar condições adversas associadas ao solo e, conseqüentemente, à rentabilidade econômica e longevidade das plantas.

5.1. Porta-enxertos: Importância e Impactos do seu uso

Quando se utiliza porta-enxertos selecionados, pode-se escolher características específicas como a tolerância a algumas pragas e doenças do solo, maior eficiência na absorção e uso da água, nutrientes, qualidade do fruto, diminuição da variabilidade genética e diferença no vigor das plantas (MARRA et al., 2013; DUBEY; SHARMA, 2016).

Solari et al. (2006) relataram que em pessegueiros, o controle do vigor está associado a diferenças entre potencial de água do caule dos porta-enxertos e os genótipos de copa. Segundo Tombesi et al. (2011), porta-enxertos com característica ananizante apresentam diâmetros médios dos vasos do xilema menores, reduzindo a capacidade de condutância hidráulica e, posteriormente, influenciando na capacidade de as plantas captarem nutrientes e água do solo.

Cantín et al. (2010) relacionaram o efeito ananizante de porta-enxerto com a baixa produção de hormônios de crescimento. Por outro lado, Basile et al. (2003) relataram que porta-enxertos mais vigorosos produzem mais hormônios e os direcionam, principalmente, para o caule das plantas induzindo maior crescimento do dossel.

Fatores abióticos, destacando o estresse hídrico, dificultam o crescimento e desenvolvimento das plantas (BOLAT et al., 2015) alterando as funções de fotossíntese, respiração (MA et al., 2010), expansão radicular, frutificação e rendimento de produção (JIMENEZ et al., 2013).

Conforme destacado por Zucuni (2015), a escassez de água para atender a demanda de transpiração em longos períodos pode levar as plantas a responderem ao déficit hídrico através do fechamento estomático das folhas, resultando na redução da transpiração, alterações na fotossíntese e murchamento foliar. Além disso, estudos como o de Cavalcante et al. (2009) relataram que durante períodos propensos ao déficit hídrico, a água disponível no solo pode tornar-se indisponível para as plantas devido à incapacidade das raízes de absorvê-la. No entanto, é importante notar que algumas plantas apresentam características de tolerância ao estresse hídrico, permitindo-lhes suportar estiagens por períodos mais longos. Dependendo da severidade do estresse, é possível que as plantas sofram mudanças em sua anatomia, fisiologia e bioquímica (HACK et al., 2017).

Sendo assim, testar novos porta-enxertos para a cultura, nas condições climáticas de Pelotas, da mesma forma que nos principais produtores em nível mundial, é uma demanda urgente para qualificar a produção, e melhorar os índices produtivos. Nesse sentido, caracterizar genótipos de porta-enxertos quanto às características que eles induzem nos genótipos de copa é fundamental para a recomendação de novos porta-enxertos.

No cultivo de frutíferas de clima temperado, tem-se dado cada vez mais atenção a estudos relacionados à produção de mudas, utilizando-se a prática da enxertia de cultivares de interesse econômico em diferentes genótipos de porta-enxertos. O intuito é agregar características provenientes de ambos os genótipos para produção de frutos de maior qualidade (MAYER; BIANCHI, 2014).

A escolha correta do genótipo pode ser fator limitante nos parâmetros fisiológicos das cultivares enxertadas (FACHINELLO et al., 2000). Motivo esse que muitos autores dissertaram sobre as influências que o porta-enxerto induz na cultivar-copa, em termos de vigor, precocidade, absorção e utilização de nutrientes, fenologia, produção e qualidade dos frutos (ORAZEM et al., 2011), resistência a algumas doenças (PICOLOTTO, 2009), nematoides (LORETI, 2008) além de fatores como seca, salinidade e umidade do solo (HUDINA et al., 2006).

Para Gainza et al. (2015), os genótipos utilizados como porta-enxertos podem interferir no balanço hormonal, bem como no volume de água e nutrientes absorvidos e transportados para a cultivar-copa. Segundo Jimenez et al. (2013), os porta-enxertos podem induzir alterações nas atividades estomáticas e transpiratórias, pois são a fonte de fornecimento de água, nutrientes e hormônios para o dossel das plantas.

Nedel (2016) relata que apesar da importância dos porta-enxertos na qualidade das plantas, no Sul do Brasil, muitas vezes, a origem genética do porta-enxerto que compõem as mudas é desconhecida e com alta variabilidade genética. Na sua grande maioria, essas mudas são produzidas pela enxertia da cultivar-copa sobre porta-enxertos provenientes de caroços advindos dos descartes da indústria de conservas. Comiotto et al. (2013) enfatizam a importância das frutíferas de caroço no Rio Grande do Sul, e destacam que o desconhecimento genético dos porta-enxertos resulta em mudas de baixa qualidade.

No presente estudo, as cultivares-copa de pessegueiro 'BRS Rubimel' e de ameixeira 'Reubennel' foram enxertadas sobre diferentes sistemas radiculares, sendo 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa roxo' enxertados com 'BRS Rubimel'; 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa' enxertados com 'Reubennel', cujas características são descritas a seguir.

5.1.1. 'Capdeboscq' (*P. persica* L. Batsch)

Originária do Programa de Melhoramento de Pessegueiro da Estação Experimental de Pelotas, Embrapa Clima Temperado, a cultivar Capdeboscq, oriunda de polinização livre de um cruzamento entre 'Lake City' e uma seleção local denominada 'Intermediário'. A sua produtividade é considerada alta e seus frutos possuem características de interesse para a indústria. Embora tenha sido desenvolvida para uso como cultivar-copa, devido à grande disponibilidade dos caroços desta cultivar nas indústrias de conserva entre as décadas de 60 e 80, foi amplamente utilizado como porta-enxerto. Quando utilizada como porta-enxerto, "Capdeboscq proporciona a cultivar-copa rápido desenvolvimento e, como existe pouca ramificação da base até próximo dos 20 cm, demanda de pouco esladramento antes da enxertia (FINARDI, 1998). Tais características fazem dessa cultivar um padrão de referência para os estudos com porta-enxertos para pessegueiro na região sul do Brasil, sendo que alguns poucos viveiristas ainda possuem pomares com a cultivar, visando utilização dos seus caroços na produção de porta-enxertos. '**Flordaguard**' (*P. persica* x *P. davidiana*)

Cultivar desenvolvida para uso como porta-enxerto, sendo originária da sexta geração do cruzamento entre 'Chico 11' e *Prunus davidiana* (Carr.) Franch, 'C-26712', na Flórida em 1991. Cultivar com baixo requerimento em frio, com estimativa de 300

horas. Seus frutos, de polpa amarela, geralmente são pequenos, com baixa firmeza de polpa, caroço solto, baixa qualidade e pouco atrativos (OKIE, 1998). Segundo Raseira e Nakasu (1998), o porta-enxerto 'Flordaguard' pode ser utilizado em pessegueiros, nectarinas e amendoeiras. Suas sementes têm como característica elevada germinação, compatibilidade de enxertia com diferentes espécies de *Prunus*, resistência aos nematoides *Meloidogyne javanica*, *M. floridensis* e *M. incognita*, resistência moderada *Xanthomonas arboricola* pv. Pruni (OKIE, 1998).

5.1.3. 'Myrobalan 29C' (*P. cerasifera* L.)

Porta-enxertos selecionado pelo viveiro Gregory Bros Nursery, Marysville, Califórnia-EUA. 'Myrobalan 29C' geralmente é utilizado apenas como porta-enxerto para ameixeiras e damasqueiros, havendo pouca compatibilidade com pessegueiros e nectarineiras (FOUNDATION PLANT SERVICES; 2023). Possui boa compatibilidade de enxertia com ameixeiras, induzindo bom vigor, sendo adaptado a uma ampla gama de solos. Boa capacidade de propagação por estaquia e in vitro, e com boa taxa de crescimento em viveiro. Possui boa resistência a hipóxia e ao nematoides causadores de galhas (*Meloidogyne* spp.) (OKIE, 1987).

5.1.4. 'Okinawa' (*P. persica* L. Batsch)

Originário do programa de melhoramento genético da Universidade da Flórida, a partir de um lote de sementes introduzidos do Japão. Apresenta rápido crescimento induzindo maior vigor à planta, antecipando a entrada em produção (BARBOSA et al., 1986).

Na literatura existem diversos autores que identificaram resistência de 'Okinawa' a nematoides do gênero *Meloidogyne* (MALO, 1967; MENTEN et al. 1977; SCHERB et al., 1994; FACHINELLO et al., 2000; MAYER et al., 2005) com exceção à *Meloidogyne incognita* (SHERMAN et al., 1991). No entanto, é suscetível ao nematoide *Mesocriconema xenoplax* (CARNEIRO et al., 1998; MAYER et al., 2005), que está associado à morte precoce do pessegueiro no estado do RS.

5.1.5. 'Okinawa Roxo' (*P. persica* L. Batsch)

Seleção obtida a partir de uma população do porta-enxerto 'Okinawa' em Minas Gerais. Tal genótipo tem sido testado somente como uma seleção, nas condições de Pelotas, e tem mostrado boa adaptação e boa resposta de crescimento.

5.1.6. 'Reubennel' (*P. salicina* Lindl.)

Esta cultivar apresenta vigor e produtividade elevada, com brotação na primeira quinzena de agosto, suscetível à bacteriose. Os frutos possuem tamanho de médio a grande, de coloração amarela-esverdeada com vermelho, com maturação entre final de dezembro e início de janeiro na Serra Gaúcha (SIMONETTO; 2007).

5.1.7. 'BRS Rubimel' (*P. persica* L. Batsch)

Originária em 1991, do cruzamento entre 'Chimarrita' e 'Flordaprince'. A cultivar-copa 'BRS Rubimel' necessita de 200 a 300 horas de frio para superação da dormência. Possui frutas de polpa amarela, fundente, firme e semi-aderente ao caroço, a epiderme apresenta 50 a 80% de vermelho sobre o fundo amarelo, resultando em muito boa aparência com formato redondo cônico, sabor doce e ligeiramente ácido (EMBRAPA, 2010).

6. Capítulo 1 - Condutividade hidráulica de pessegueiro ‘BRS Rubimel’ enxertado em ‘Capdeboscq’, ‘Flordaguard’ e ‘Okinawa Roxo’ sob condições de campo na região de Pelotas-RS

6.1. Introdução

O Rio Grande do Sul é o principal produtor nacional de frutíferas de caroço (*Prunus spp.*), tendo como destaque, a cultura do pessegueiro [*Prunus persica* (L.) Batsch] (COMIOTTO et al., 2012). Entretanto, o Estado carece do uso de tecnologias de produção mais avançadas, uma vez que possui os menores índices de produtividade média (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021). Um dos fatores que têm sido associados a este problema é o uso de porta-enxertos sem garantias de qualidade genética e sanitária (MAYER et al., 2017).

Na fruticultura, o uso de porta-enxertos selecionados tem papel importante para mitigar os efeitos de estresses bióticos e abióticos que acometem as culturas em diferentes regiões produtoras e que impactam negativamente na qualidade e produtividade dos pomares (GALARÇA et al., 2013). Além disso, é preciso conhecer quais características o porta-enxerto pode induzir nas cultivares de copa, tendo em vista que o genótipo é responsável pela absorção de nutrientes e vigor dos pessegueiros, uniformidade das plantas, qualidade dos frutos, dentre outros aspectos desejáveis (COMIOTTO et al., 2012).

O crescimento e desenvolvimento das plantas é advindo da disponibilidade hídrica e de um sistema efetivo de condução de água e nutrientes, que são transportados das raízes até a parte aérea, pelos vasos condutores do xilema (SCHREIBER, 2015). Por outro lado, o estresse hídrico causado por períodos prolongados de seca pode romper a coluna de água afetando a condutância hidráulica, resultando em vasos embolizados (TYREE; ZIMMERMANN, 2002) que podem levar a planta à morte.

A embolia é formada pelo aumento da pressão negativa nos vasos condutores excedendo o limite em que as ligações entre as moléculas de água suportam, e com isso, essa tensão forma bolhas de gás, as quais se propagam pelos vasos do xilema ao longo do corpo da planta (WASON et al., 2021). O processo de formação de bolhas, resultante da falha hidráulica, é denominado de cavitação (SPERRY; HACKE, 2004). A mesma que pode ser mensurada através da perda percentual de condutividade

hidráulica (PCH) em diferentes tecidos vegetais, porém mais facilmente em seções dos ramos (CHOAT et al., 2012; COCHARD et al., 2015).

As características dos vasos do xilema do porta-enxerto e do cultivar-copa são determinadas principalmente pelo componente genético. Entretanto, Dória et al. (2016) relatam que algumas espécies vegetais possuem a capacidade de modificar algumas características anatômicas afim de reduzir os efeitos da cavitação. As modificações podem incluir diminuição do diâmetro dos vasos do xilema e o aumento da densidade dos vasos do xilema, onde uma maior densidade de vasos do xilema resulta em menor perda de condutividade hidráulica, pois proporciona uma rede de condução mais redundante e resiliente, evitando interrupções significativas no fluxo de água, bem como a alteração no formato dos conduítes (AYUP et al., 2015).

As características dos vasos xilemáticos, como densidade e diâmetro, podem variar de acordo com o genótipo utilizado e a disponibilidade hídrica do solo, bem como pela interação entre a copa e o porta-enxerto. Em ambientes com alta disponibilidade de água, as plantas tendem a ter vasos de diâmetro maior em comparação com as que crescem em ambientes com baixa disponibilidade hídrica. No entanto, essas plantas de vasos mais largos são mais suscetíveis à cavitação e embolia, o que pode limitar seu pleno desenvolvimento e levar a estresses irreversíveis (TOMBESI, 2011).

Para entender o fenômeno da cavitação, é importante considerar a relação entre o diâmetro dos vasos condutores e a tensão superficial do líquido. A tensão superficial atua na superfície do líquido, formando uma película que impede a formação de bolhas de vapor. Em vasos mais de maior diâmetro, a queda brusca de pressão pode superar essa resistência, possibilitando a formação de bolhas. No entanto, em vasos mais finos, a tensão superficial é mais eficaz em evitar a cavitação, tornando-os menos propensos a esse fenômeno. Em resumo, a estrutura dos vasos condutores influencia sua resistência à cavitação, o que tem implicações importantes para o desenvolvimento saudável das plantas.

O objetivo deste estudo foi comparar o crescimento vegetativo inicial de pessegueiros cv. BRS Rubimel enxertados sobre os porta-enxertos 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', em condições de plantio a campo na região de Pelotas – RS, bem como caracterizar os vasos do xilema das raízes dos porta-enxertos e de ramos da cultivar-copa, correlacionando-os com a PCH.

6.2. Material e métodos

6.2.1. Local do experimento

Os dados apresentados neste estudo foram coletados no período compreendido entre agosto de 2021 e julho de 2023, do pomar instalado no Centro Agropecuário da Palma do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), localizado no município de Capão do Leão-RS (31°48' S; 52°30' O; 43 m de altitude). Solo do campo experimental é classificado como Argissolo Amarelo distrófico típico (SEVERO, 1999).

6.2.2. Dados Climáticos

Segundo classificação de Köppen, a região de Pelotas apresenta clima do tipo “Cfa”, sendo considerado como subtropical úmido, sem grandes períodos de seca. A precipitação média anual é próxima dos 1.400 mm, onde as menores médias ocorrem a partir de outubro (coincidindo com os períodos vegetativo e produtivo dos *Prunus*) e taxas médias de pluviosidade mais elevadas em fevereiro com 74,7 mm e 188,2 mm em agosto, respectivamente, enquanto as temperaturas médias mensais estão entre 10°C e 22°C (CABALLERO et al., 2018).

Os dados climáticos registrados durante o período vigente do trabalho estão apresentados nos anexos Figuras 18 e 19 e foram obtidos da estação meteorológica localizada no Capão do Leão – RS. No entanto, devido à distância do local do experimento (± 10 km), utilizou-se pluviômetro na área experimental para registros de precipitação para as análises de Potencial químico da água dos ramos (Ψ_{ramos}), perda percentual da condutividade hidráulica (PCH) e comprimento de ramos laterais. Na Figura 1 pode-se observar o volume de precipitações e temperaturas registradas in loco, durante o período das avaliações dessas variáveis.

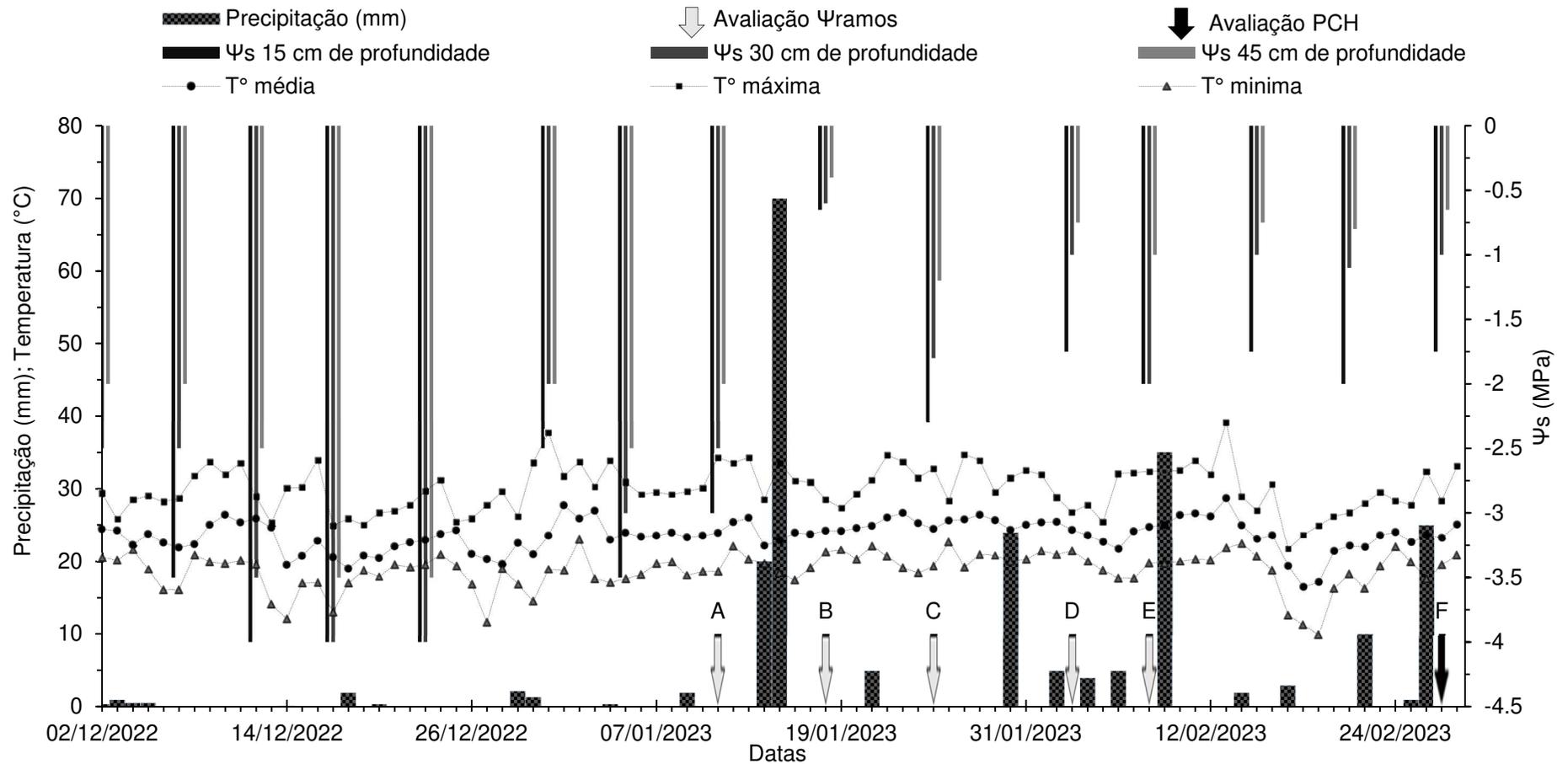


Figura 1 – Registros climáticos no período de 1 de novembro de 2022 a 28 de março de 2023. Medias de temperatura registradas na região de Pelotas, medias de precipitação registradas na área experimental; Registros do potencial químico de água no solo (Ψ_s) nas profundidades de 15, 30 e 45 cm; Datas das avaliações de potencial químico de água nos ramos (Ψ_{ramos}) A = 10/01/2023; B=17/01/2023; C= 24/01/2023; D= 02/02/2023; E= 07/02/23; Data de avaliação da perda de condutividade hidráulica (PCH) F= 27/02/2023.

6.2.3. Material vegetal

O estudo foi realizado com pessegueiros ‘BRS Rubimel’, conduzidos em “Y”, enxertados em ‘Capdeboscq’, ‘Flordaguard’ e ‘Okinawa Roxo’. As mudas foram plantadas em agosto de 2019 e encontram-se na fase de quarta folha.

Os porta-enxertos foram produzidos conforme descrito por Menegatti et al. (2021), sendo as mudas enxertadas em dezembro de 2017, utilizando-se borbulhas de gemas ativas provenientes de plantas matrizes mantidas em casa de vegetação do Departamento de Botânica (UFPel). As plantas enxertadas foram mantidas em casa de vegetação até o transplante com torrão para o campo, em outubro de 2018.

Para a implantação do pomar realizou-se a calagem e adubação nas linhas de plantio, de acordo com a análise do solo. As mudas foram plantadas sobre camalhão em espaçamento de 6,0 x 1,8 m. A adubação nitrogenada foi realizada conforme a recomendação para a cultura. O controle de pragas e doenças foi realizado conforme necessidade, sendo a cobertura do solo manejada apenas com roçada desde o início da implantação do pomar.

6.2.4. Variáveis analisadas

6.2.4.1. Análise de diâmetro de tronco e massa de poda

Com auxílio de um paquímetro digital (modelo MTX de 150 mm) realizou-se a mensuração do diâmetro de tronco (DT) da planta (5 cm acima do ponto de enxertia) e comprimento médio das pernas (com fita métrica), nos meses de julho de 2020, 2021 e 2022, além das medidas da massa fresca e seca de ramos (Kg) removidos pela poda verde, no ciclo vegetativo 2021 e 2022.

Assim que podados, os ramos de cada planta foram ensacados e etiquetados. Com o auxílio de uma tesoura de poda foram fracionados em porções menores para aferição de massa fresca (MF) por meio de balança eletrônica, com três casas decimais. Depois de verificada a massa, os ramos retornaram para as embalagens e permaneceram em local arejado por um mês, a fim de perder excesso de água em temperatura ambiente. Posteriormente, os ramos foram encaminhados para o LABAGRO – Prédio Prof. Dr. José Carlos Fachinello, localizado nas dependências da FAEM, onde foram colocados em sacos de papel e postos em estufa de secagem, até atingir massa constante.

O material vegetal ficou em estufa de ar forçado na temperatura de 60 °C, até alcançar a estabilidade de massa. Após a secagem, aferiu-se a massa seca (MS).

6.2.4.2. Condutância do xilema e cavitação

As análises de perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) foram realizadas em dois momentos, fevereiro e agosto de 2022, sendo coletados dois ramos de cada planta, um de cada pernada, com aproximadamente 5 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, na parte externa no terço médio da pernada.

Os ramos assim que podados foram rapidamente selados com vaselina sólida para evitar embolias causadas pelo ar e submetidos à solução de 2% de hipoclorito de sódio (NaClO) e água destilada, por um período de cinco minutos para a desinfestação. O conjunto de ramos de cada planta foi etiquetado e embalado com papel absorvente, umedecido em água destilada e acondicionado em sacos plásticos pretos fechados para transporte até o Laboratório de Fisiologia de Plantas Frutíferas de Clima Temperado, localizado no prédio LABAGRO – Prédio Prof. Dr. José Carlos Fachinello, onde foram realizadas as avaliações.

No laboratório, a parte basal dos ramos foi colocada em baldes com 1/3 de água destilada para aclimatação ao ambiente (23 °C). Após esse processo, os ramos foram submersos por completo em água destilada dentro de bandejas, onde realizou-se o corte dos segmentos a serem utilizados no aparelho Xyl'em® (Bronkhorst, versão 2, 2012). Todos os cortes foram realizados embaixo d'água descartando-se os 15 primeiros centímetros das duas extremidades dos ramos, afim de evitar qualquer influência da atmosfera nos vasos do xilema. Os segmentos foram cortados na medida de 5 cm, totalizando um total de quatro segmentos por ramo. Cada corte foi feito com lâmina de barbear para reduzir ao máximo qualquer resquício de material vegetal e evitar rachaduras da epiderme/lenho que possam obstruir a condutividade dos vasos xilemáticos.

No Xyl'em®, cada segmento foi acoplado a uma mangueira de silicone transparente, com 5 mm de diâmetro, fixado em uma torneira do tipo Luer de três pontos para início dos testes de condutância hidráulica. A embolia nativa foi aferida utilizando uma solução degaseificada e filtrada, a 0,22 µm, de 10 mM KCl a um gradiente de pressão hidrostática de 3 kPa. Em seguida, esses segmentos foram submetidos a um processo de saturação do vaso do xilema para remoção da embolia nativa com a mesma solução a uma pressão de 1 MPa por 2 minutos, ou até cessar

a emissão de bolhas de ar da extremidade das amostras. Quatro novas leituras de condutividade hidráulica (K) foram realizadas até o número total de medições de K. Os valores de PCH (%) foram calculados expressando K nativo como uma porcentagem do K máximo (ABREU et al., 2021; DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023).

6.2.4.3. Potencial químico da água

Para as análises de Potencial químico da água foram selecionadas 2 folhas completamente expandidas e sadias na parte mediana das plantas de forma aleatória. As folhas foram cobertas por envelopes impermeáveis de papel alumínio para evitar a transpiração, por um período de 15 minutos antes das leituras do Potencial químico da água (Ψ_{ramos}). Após o período de estabilização, as folhas foram analisadas em Câmara de Scholander (Plant water Status Console- Model 3115), verificando a pressão exercida em Mega Pascal (MPa). A aferição foi realizada antes do amanhecer (predawn) e ao meio dia (midday) de cada dia de análise no período de janeiro a fevereiro de 2023, conforme indicado na Figura 1.

6.2.4.4. Análises histológicas do xilema de ramos e raízes

Para as análises histológicas foram selecionados segmentos de ramos de aproximadamente 5 cm de comprimento, utilizados anteriormente nas análises de PCH. Amostras de raízes foram coletadas a uma distância de 20 cm da base do tronco e de três posições diferentes ao redor da base de cada planta, sendo que essas estavam na camada de 0-20 cm de profundidade (TOMBESI, 2011).

Os segmentos, de ramos e raízes foram fixados em solução FAA nas proporções de 50 mL de ácido acético glacial, 50 mL de formaldeído (a 37%) e 900 mL de álcool etílico. Posteriormente, de cada segmento foram realizados cortes à mão, com auxílio de lâmina de barbear (BARIGAH et al., 2021; DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023).

As seções transversais das amostras foram imersas em álcool etílico 70%, 50% e 30% por 10, 5 e 2 minutos, respectivamente. Posteriormente, as amostras foram coradas Safranina por aproximadamente 2 segundos, lavadas em água destilada e montadas entre lâminas e lamínulas com gelatina glicerina de kaiser para prolongar o período de viabilidade das amostras

As imagens para a quantificação e mensuração dos diâmetros dos vasos do xilema foram capturadas com objetiva de 10X a partir do microscópio Zeiss com

câmera digital acoplada (AxioCamERc 5s) e o software AxioVSION® [versão 4.8.2 SP2 (06-2012)].

As análises anatômicas dos vasos foram feitas em microscópio com lente objetiva de 10X, utilizando uma câmera digital acoplada (AxioCamERc 5s) e o software AxioVSION® [versão 4.8.2 SP2 (06-2012)].

A análise anatômica dos vasos foi realizada a partir da inferência em quatro áreas aleatórias de cada amostra com aproximadamente 1 mm², registrando-se os diâmetros médios, conforme ilustrado na Figura 2, para a distribuição de frequências dos diâmetros médios dos vasos afim de categorizá-los nas seguintes classes: < 30; 30 – 45; 45 – 60 e > 60 µm de diâmetro. Também se realizaram análises do número de vasos mm⁻² do xilema dos ramos (NVRAM), diâmetro de vasos do xilema dos ramos (DVRAM) e largura do xilema secundário dos ramos (LXS). Para as raízes (Figura 3) seguiu-se o mesmo procedimento, número de vasos do xilema mm⁻² das raízes (NVRAI) e diâmetro de vasos do xilema das raízes (DVRAI). No entanto, devido aos maiores diâmetros encontrados nos vasos do xilema, optou-se por aumentar os intervalos entre classes: < 60; 60 – 90; 90 - 120 e >120, seguindo adaptações de metodologias de Tombesi et al. (2011) e De Aguiar Júnior et al., 2023. Em Anexos, a Figura 19 evidenciam seções dos cortes transversais dos ramos de 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', enquanto na Figura 20, evidenciam seções dos cortes transversais de raízes secundárias de 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'.

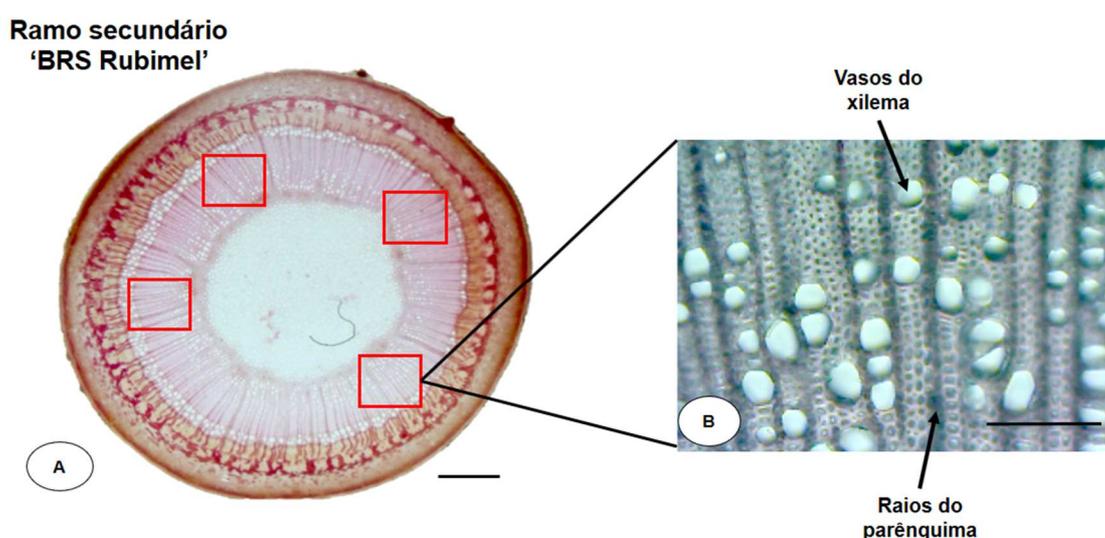


Figura 2 - Seção transversal de um ramo de pessegueiro 'BRS Rubimel' enxertado em 'Capdeboscq'. Barras: A = 500 µm e B = 100 µm, 4X e 10X respectivamente. Fonte: Lindomar Velho de Aguiar Júnior (2022).

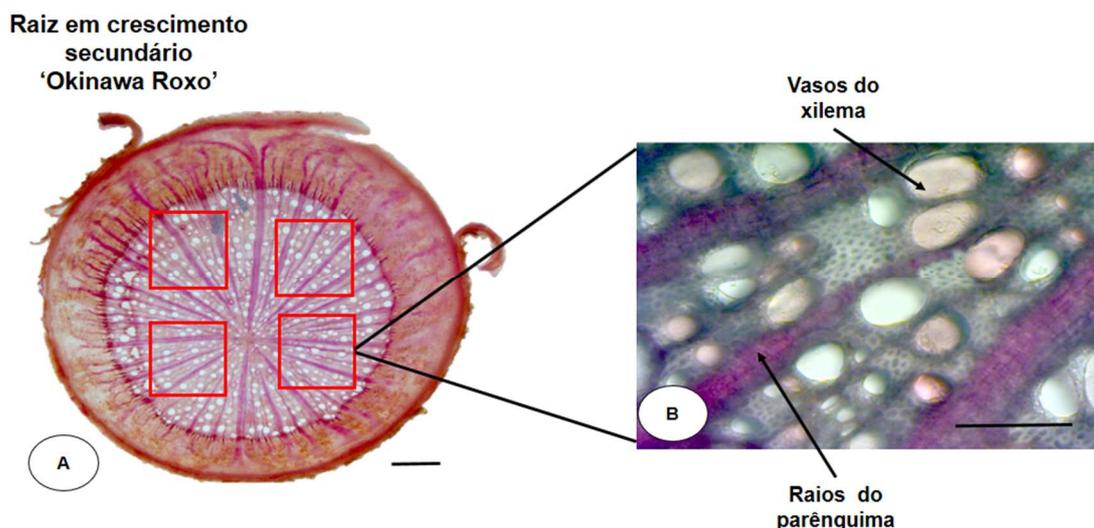


Figura 3 – Seção transversal de um segmento de raiz secundária de pessegueiro 'Okinawa Roxo' (*Prunus persica*). Barras: A = 500 μm e B = 100 μm , 4X e 10X respectivamente. Fonte: Lindomar Velho de Aguiar Júnior (2022).

6.2.4.5. Condutividade hidráulica teórica

A análise da condutância hidráulica teórica diária (K_h) dos vasos do xilema dos ramos e das raízes, foi expressa em $\text{Kg m MPa}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, aplicando os princípios da equação de Hagen-Poiseuille (TYREE; EWERS, 1991; POORTER et al., 2010; ZHANG et al., 2023; DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023) onde utilizou-se os diâmetros médios da seção de cada foto, estimando a condutividade hidráulica teórica por dia.

$$K_h = \left(\frac{\pi \rho}{128 \eta} \right) \sum_{i=1}^n (d_i^4) * DV * 86400$$

Onde: d é raio do vaso na unidade em metro, ρ é a densidade do fluido (assumida como $1000 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ ou igual à da água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), η é a viscosidade (assumida como $1 \times 10 \text{ MPa}^{-9} \text{ s}^{-1}$, ou igual ao da água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), DV é a densidade de vasos (número de vasos mm^{-2}) e 86400 é a quantidade de segundos em 24h. Os diâmetros médios dos vasos de cada genótipo foram calculados conforme descrito por Tombesi et al. (2010).

6.2.4.6. Correlação de médias

A partir das médias obtidas, foi realizado o teste de correlação de Pearson para identificar a influência que cada variável tem em relação às outras, além de, criar uma rede de correlação para visualização direta dos fatores correlatos.

6.2.5. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3, cujas fontes de variação foram o porta-enxerto ('Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo') e o período de avaliação (2020, 2021 e 2022) para as variáveis diâmetro do caule e comprimento das pernadas.

Para a massa fresca (MF) e massa seca (MS) da poda verde, foram analisadas apenas nos anos de 2021 e 2022, sendo a fonte de variação o porta-enxerto e os dois anos (2021 e 2022). Para análises de perda percentual de condutividade hidráulica (PCH), o delineamento foi inteiramente casualizado fatorial, cuja fontes de variação foram os porta-enxertos ('Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo') e os períodos de avaliação (meses de fevereiro e agosto de 2022 e fevereiro de 2023), assim como para as análises de Ψ ramos, que foram avaliados entre porta-enxertos e datas de avaliação (A = 10/01, B = 17/01, C = 24/01, D = 02/02 e D = 07/02 de 2023). O delineamento da parte anatômica foi realizado em blocos inteiramente casualizados (DIC) em esquema fatorial, classes e diâmetros (A x B), para distribuição de frequências, e DIC unifatorial para os testes de número médio de vasos do xilema dos ramos (NVRAM), diâmetro médio dos vasos do xilema dos ramos (DVRAM), área média dos vasos do xilema dos ramos (AVRAM), largura do xilema secundário dos ramos (LXS), condutividade hidráulica teórica (Kh) (ramos e raízes), número médio de vasos do xilema das raízes (NVRAI), diâmetro médio de vasos do xilema das raízes (DVRAI) e área média de vasos do xilema das raízes (AVRAI). Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade por Shapiro-Wilk e de homocedasticidade dos erros por Bartlett e Hartley. Quando pertinente, aplicou-se o Teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se a interface RBio (BHERING, 2017), através do software R ("R Core Team (2020) — European Environment Agency, 2020).

6.3. Resultados

Nas avaliações do diâmetro médio de tronco da copa (DT) e comprimento de pernada (CP), com base em três anos de estudos (2021, 2022 e 2023), o porta-enxerto 'Flordaguard' foi o que induziu as maiores médias, porém sendo superior apenas em relação à 'Capdeboscq'. As variáveis de massa fresca (MF) e massa seca (MS) da poda foram comparadas somente nos anos de 2021 e 2022. As respostas foram similares aos resultados obtidos para diâmetro de tronco da copa (DT) e comprimento de pernada (CP), com 'Flordaguard' sendo superior apenas à 'Capdeboscq'. No comparativo entre os anos, as quatro variáveis obtiveram médias maiores em relação aos anos anteriores estudados (Tabela 1), evidenciando o crescimento progressivo a cada novo ciclo.

Tabela 1 - Comparativo de médias de diâmetro de tronco de copa (DT); comprimento de pernada (CP); massa fresca (MF) e massa seca (MS) de poda verde em pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados sobre três porta-enxertos.

| Porta-enxerto | DT (mm) | CP planta ⁻¹ (cm) | MF planta ⁻¹ (Kg) | MS planta ⁻¹ (Kg) |
|----------------|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 'Capdeboscq' | 35,68 b | 141,15 b | 1,09 b | 0,45 b |
| 'Flordaguard' | 39,84 a | 169,58 a | 1,52 a | 0,62 a |
| 'Okinawa Roxo' | 36,52 ab | 153,56 ab | 1,23 ab | 0,50 ab |
| Ano | - | - | - | - |
| 2020 | 21,32 c | 78,45 c | - | - |
| 2021 | 40,81 b | 167,45 b | 0,90 b | 0,39 b |
| 2022 | 50,29 a | 217,25 a | 1,66 a | 0,67 a |
| CV (%) | 11,88 | 13,03 | 21,65 | 21,58 |
| p (< 0,05) | 0,0001 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0000 |

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade de erro.

Na análise da área dos vasos do xilema secundário (AVRAM) dos ramos de 'BRS Rubimel' não foram verificadas diferenças em função dos porta-enxertos em estudo. Para a largura do xilema secundário (LXS), observou-se que 'Capdeboscq' proporcionou à cv. BRS Rubimel a maior média encontrada, seguido por 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', respectivamente (Tabela 2). Por outro lado, para a área dos vasos do xilema das raízes (AVRAI), 'Okinawa Roxo' foi superior em relação aos demais porta-enxertos, que não diferiram entre si (Tabela 2).

Tabela 2 - Área média dos vasos do xilema secundário dos ramos (AVRAM), largura do xilema secundário dos ramos (LXS) de ramos de pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', e a área dos vasos do xilema das raízes (AVRAI) de 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'.

| Porta-enxerto | AVRAM (μm^2) | LXS (μm) | AVRAI (μm^2) |
|----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 'Capdeboscq' | 2103,35 ^{ns} | 2968,00 a | 8154,25 b |
| 'Flordaguard' | 1944,97 | 2527,20 b | 7866,07 b |
| 'Okinawa Roxo' | 1789,76 | 1700,41 c | 13397,63 a |
| CV (%) | 18,48 | 7,34 | 23,79 |
| p (< 0,05) | 0,4261 | 0,0000 | 0,0092 |

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ns = não significativo.

De acordo com as análises de condutividade hidráulica realizadas em fevereiro de 2022, os ramos de 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq' apresentaram a maior perda de condutividade hidráulica entre os genótipos estudados (Figura 4). Por outro lado, os ramos enxertados em 'Okinawa Roxo' obtiveram os melhores resultados, com menor propensão à cavitação. Porém, 'Flordaguard' induziu respostas intermediárias na condutividade hidráulica dos ramos de 'BRS Rubimel' em fevereiro de 2023.

Nas avaliações realizadas em agosto de 2022 e fevereiro de 2023, não foram observadas diferenças significativas nos efeitos dos porta-enxertos dentro de cada período de avaliação (Figura 4).

Ao comparar as médias induzidas por cada porta-enxerto ao longo das avaliações foi observado que 'Capdeboscq' induziu a maior PCH na primeira avaliação, com uma redução progressiva até a última avaliação. Por outro lado, nos ramos de 'BRS Rubimel' enxertados em 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', não foram observadas diferenças nas duas primeiras avaliações, porém ambos os valores de PCH foram superiores em relação às avaliações realizadas em fevereiro de 2023.

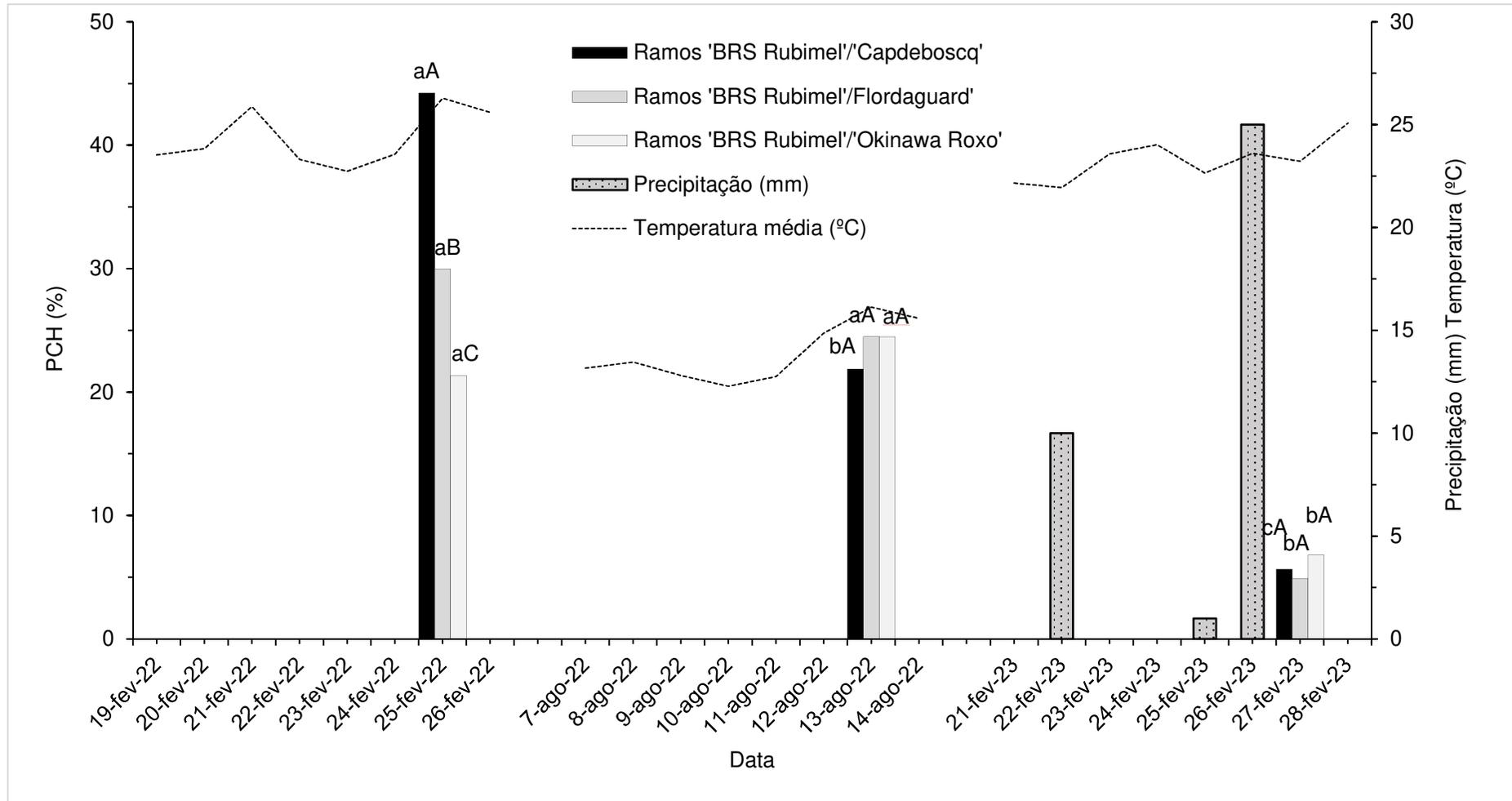


Figura 4 – Análises de perda de condutividade hidráulica (PCH) em ramos de pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si. Letras minúsculas comparam o mesmo genótipo em períodos diferentes, enquanto letras maiúsculas comparam os genótipos no mesmo período. Médias de temperatura registradas na região de Pelotas, médias de precipitação registradas na área experimental.

Nas análises do Ψ_{ramos} em antemanhã (Figura 5) e ao meio dia (Figura 6), não foram verificadas diferenças significativas por efeito do porta-enxerto dentro de cada data de avaliação. No entanto, apenas as avaliações do dia 10 de janeiro foram inferiores às demais, sendo que as mesmas não apresentaram diferenças entre si.

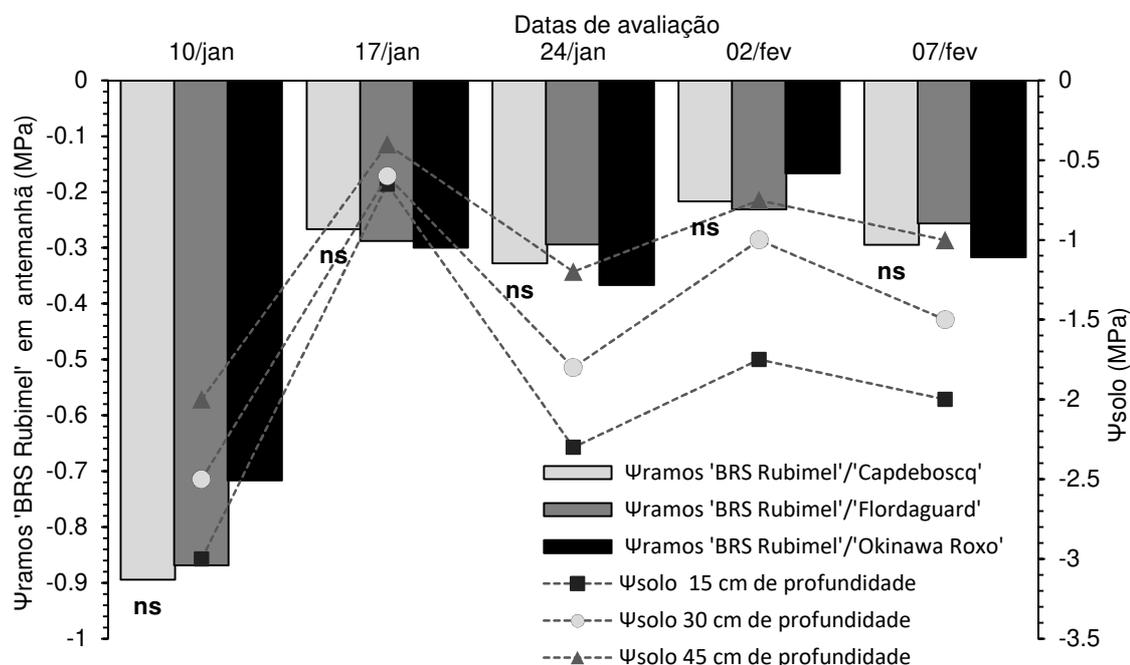


Figura 5 - Análises do Potencial químico da água do ramo (Ψ_r) em antemanhã de pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'; Ψ_s = Potencial químico da água do solo aferido com tensiômetros analógicos em 15, 30 e 45 cm de profundidade; realizados de 10 de janeiro de 2023 a 07 de fevereiro de 2023. ns= não significativo.

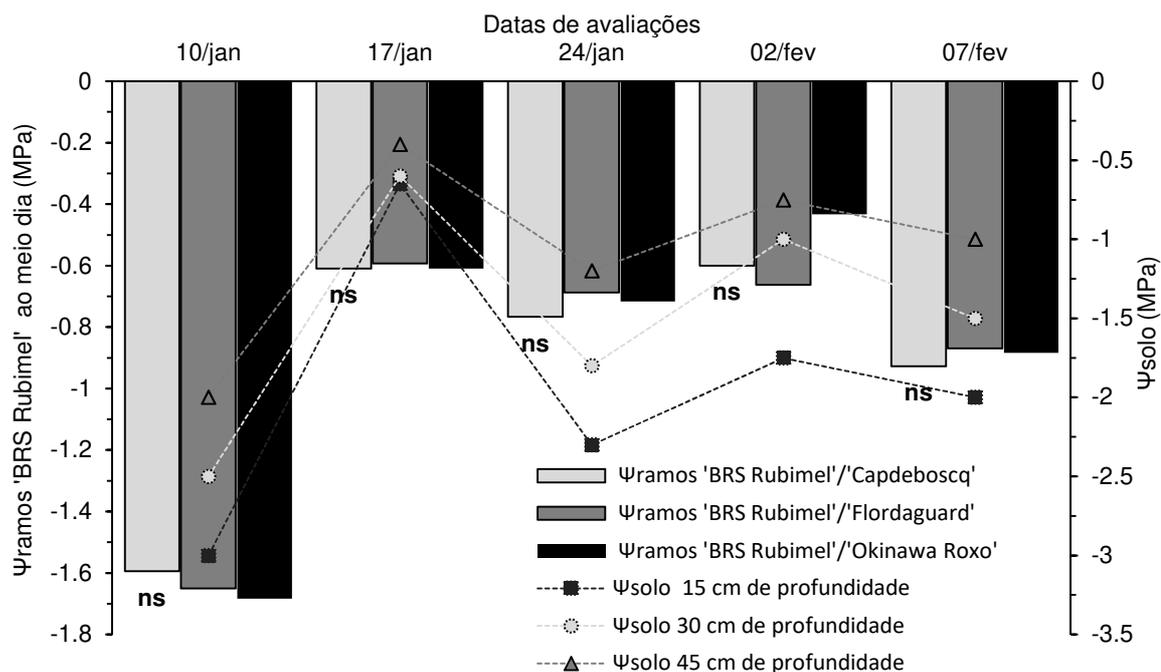


Figura 6 - Análises ao meio-dia do Potencial químico da água do ramo (Ψ_r) de pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'; Ψ_s = Potencial químico da água do solo aferido com tensiômetros analógicos em 15, 30 e 45 cm de profundidade; realizados de 10 de janeiro de 2023 a 07 de fevereiro de 2023. ns= não significativo.

A Figura 7 apresenta as análises dos vasos do xilema obtidas através de cortes transversais de segmentos de ramos de 'BRS Rubimel' enxertadas em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', bem como as características dos vasos do xilema das raízes de 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'.

Para a variável do número de vasos do xilema dos ramos (NVRAM) foram observadas diferenças em função do porta-enxerto, onde 'Capdeboscq' mostrou a maior média de vasos do xilema (mm^{-2}) perante os demais porta-enxertos, que por sua vez, não diferiram entre si. Nas raízes não foram observadas diferenças significativas na densidade de vasos entre os porta-enxertos.

Os diâmetros dos vasos do xilema dos ramos não apresentaram diferenças significativas, no entanto, ao comparar os vasos das raízes, 'Okinawa Roxo' apresentou diâmetro médio superior em relação à 'Capdeboscq' e 'Flordaguard', que não diferiram entre si.

Nas variáveis de condutância teórica (K_h) dos ramos, a maior média foi observada em 'BRS Rubimel' enxertado sobre 'Flordaguard' apresentando diferenças apenas em relação à 'Okinawa Roxo'. Por sua vez, os valores de K_h com base nos vasos do xilema das raízes não apresentou diferença entre os porta-enxertos.

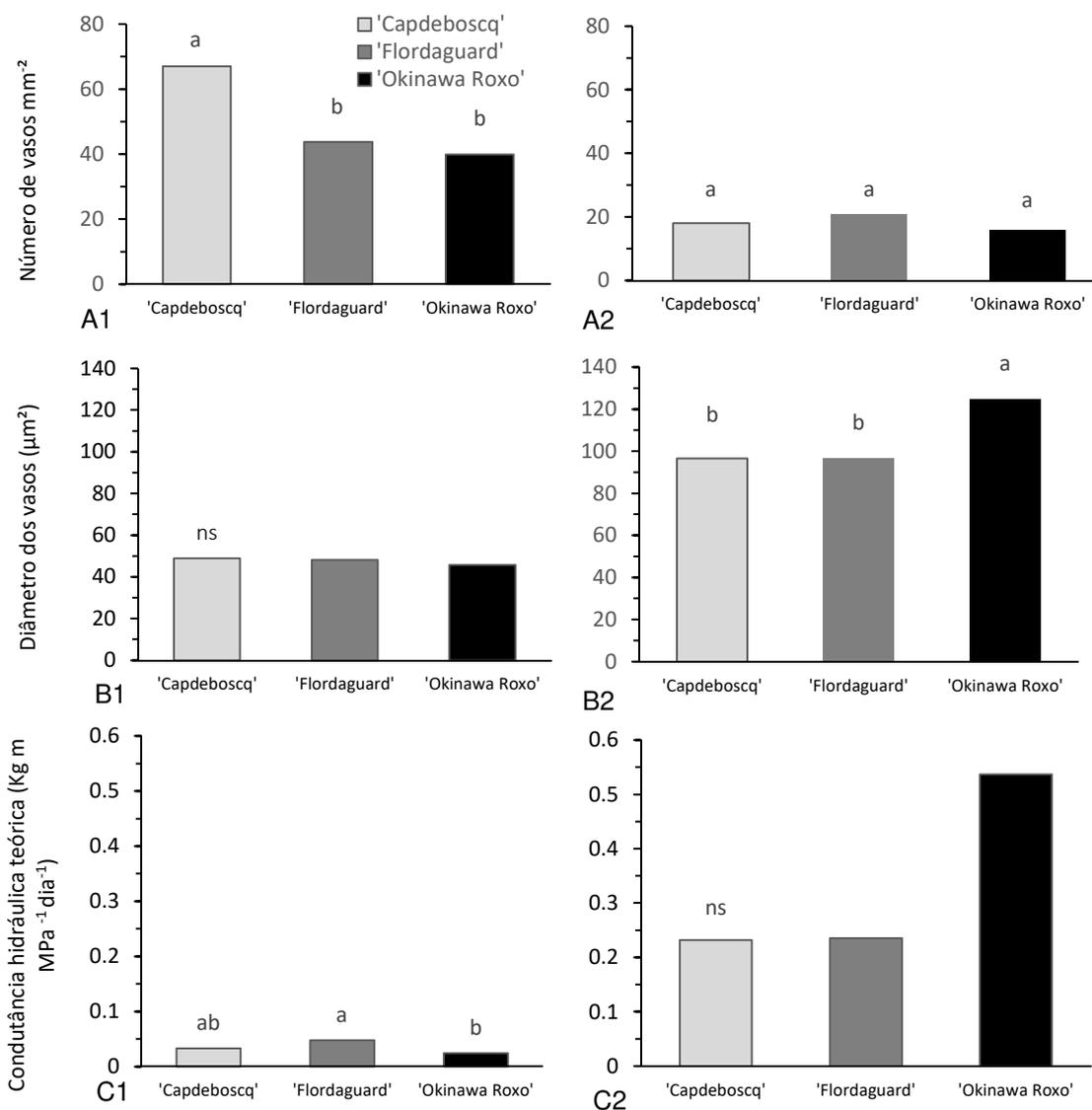


Figura 7 - Características dos vasos do xilema dos ramos de pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo' (à esquerda A1, B1 e C1), e características dos vasos do xilema das raízes (de 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo' (à direita (A2, B2 e C2). Número de vasos mm⁻² (A1 e A2); diâmetro dos vasos (B1 e B2); condutância hidráulica teórica (C1 e C2). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Comparando o efeito de cada nível do fator porta-enxerto (Figura 8) em relação à distribuição de frequências de diâmetro de vaso dos ramos, verificou-se que para 'Capdeboscq' a maior frequência do número de vasos ocorreu na classe 30 µm – 45 µm, não diferindo da classe 45 – 60 µm, sendo que as classes < 30 µm e > 60 µm não diferiram entre si.

Para o porta-enxerto 'Flordaguard' não houve diferenças nas classes 30-45 e 45 - 60 µm, que foram superiores em relação à classe > 60 µm, que por sua vez foi superior à classe < 30 µm. Porém, para a 'Okinawa Roxo', as duas classes intermediárias não diferiram entre si e foram superiores às classes < 30 µm e > 60 µm

que também não diferiram entre si (Figura 10A). Na avaliação do efeito do porta-enxerto dentro de cada classe de diâmetro, verificou-se somente diferenças na classe 45 – 60 μm onde ‘Flordaguard’ e ‘Okinawa Roxo’ não diferiram entre si, sendo superiores a ‘Capdeboscq’. Para as demais classes não houve diferenças significativas (Figura 8A).

Por sua vez, avaliando as distribuições de frequência de diâmetro dos vasos nas raízes, registrou-se maior variabilidade dos resultados e vasos com diâmetro maior em relação ao observado nos ramos. Comparando cada porta-enxerto em relação a diferentes classes verificou-se que ‘Capdeboscq’ apresentou maior frequência de vasos nas classes 90 – 120 μm , sendo superior apenas em relação à classe 60-90 μm (Figura 10B). ‘Flordaguard’ apresentou maior frequência de vasos nas classes de 60 a 120, que não diferiram entre si, mas foram superiores às classes < 60 μm e > 120 que também não diferiram entre si. Entretanto, ‘Okinawa Roxo’ apresentou resultados diferentes, em que a maior frequência de vasos ocorreu na classe > 120 μm , sendo aproximadamente 40% superior em relação às classes de 60 μm a 120 μm , que não diferiram entre si e tiveram médias superiores à classe < 60 μm .

Por sua vez ao comparar, o efeito do porta-enxerto dentro de cada classe de frequência, os valores mais discrepantes ocorreram na classe > 120 μm , onde ‘Okinawa Roxo’ apresentou as maiores médias seguidas de ‘Capdeboscq’ e ‘Flordaguard’.

Nas classes 60 - 90 μm e 90 – 120 μm , as maiores médias foram observadas para ‘Flordaguard’, sendo que não houve diferenças entre os demais porta-enxertos. Na classe < 60 μm ‘Capdeboscq’ foi superior às demais, que não diferiram entre si (Figura 10B).

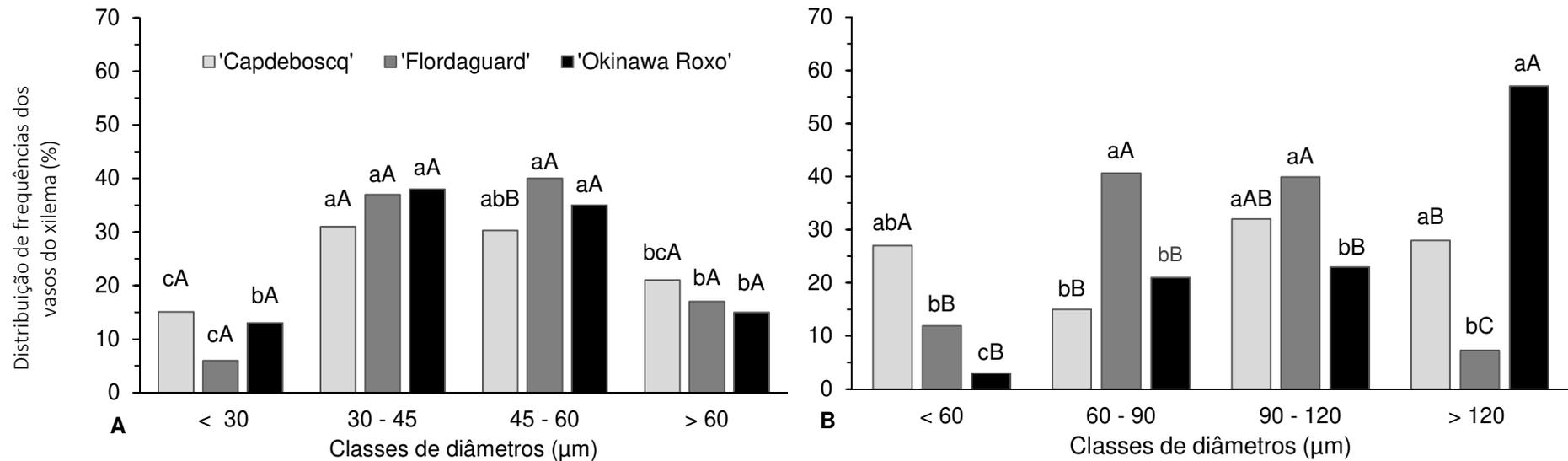


Figura 8 - Distribuição de frequências dos vasos do xilema dos ramos (A) de pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo', e dos vasos do xilema das raízes (B) de 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as classes para um mesmo genótipo, e letras maiúsculas comparam os genótipos para uma mesma classe.

Considerando as análises de correlação de Pearson (Figura 9), foram observadas relações tanto positivas quanto negativas entre as características dos vasos do xilema dos ramos da cv. BRS Rubimel e as características dos vasos do xilema das raízes dos porta-enxertos em estudo em relação às análises de PCH. As principais correlações positivas classificadas como muito fortes foram entre: área média dos vasos do xilema dos ramos (AVRAM) com largura do xilema secundário (LXS), diâmetro médio dos vasos do xilema dos ramos (DVRAM) e número médio de vasos do xilema dos ramos (NVRAM); LXS e DVRAM; NVRAM e perda percentual de condutividade hidráulica (PCH). Por outro lado, as correlações de mesma intensidade, porém negativas, foram observadas entre: diâmetro de tronco (DT) com AVRAM, LXS, DVRAM, NVRAM e PCH, assim como a variável diâmetro médio dos vasos do xilema das raízes (DVRAI) com área média dos vasos do xilema das raízes (AVRAI); LXS e DVRAM; DVRAI e AVRAM. Essas correlações são indicativas da interação entre as diferentes partes da planta, em termos de suas características fisiológicas e estruturais. As correlações positivas sugerem que, em geral, as características dos vasos do xilema de ramos e raízes tendem a variar em conjunto, enquanto as correlações negativas indicam que algumas características tendem a ser inversamente proporcionais entre si. A magnitude da correlação pode ser avaliada de acordo com o valor absoluto, sendo consideradas fortes quando estão entre 0,7 e 0,9, moderadas entre 0,5 e 0,7 e fracas entre 0,3 e 0,5. Quanto mais próximo de 1 ou -1, maior é a magnitude da correlação. Quando a correlação é igual a zero, isso indica que não há uma relação linear entre as variáveis.

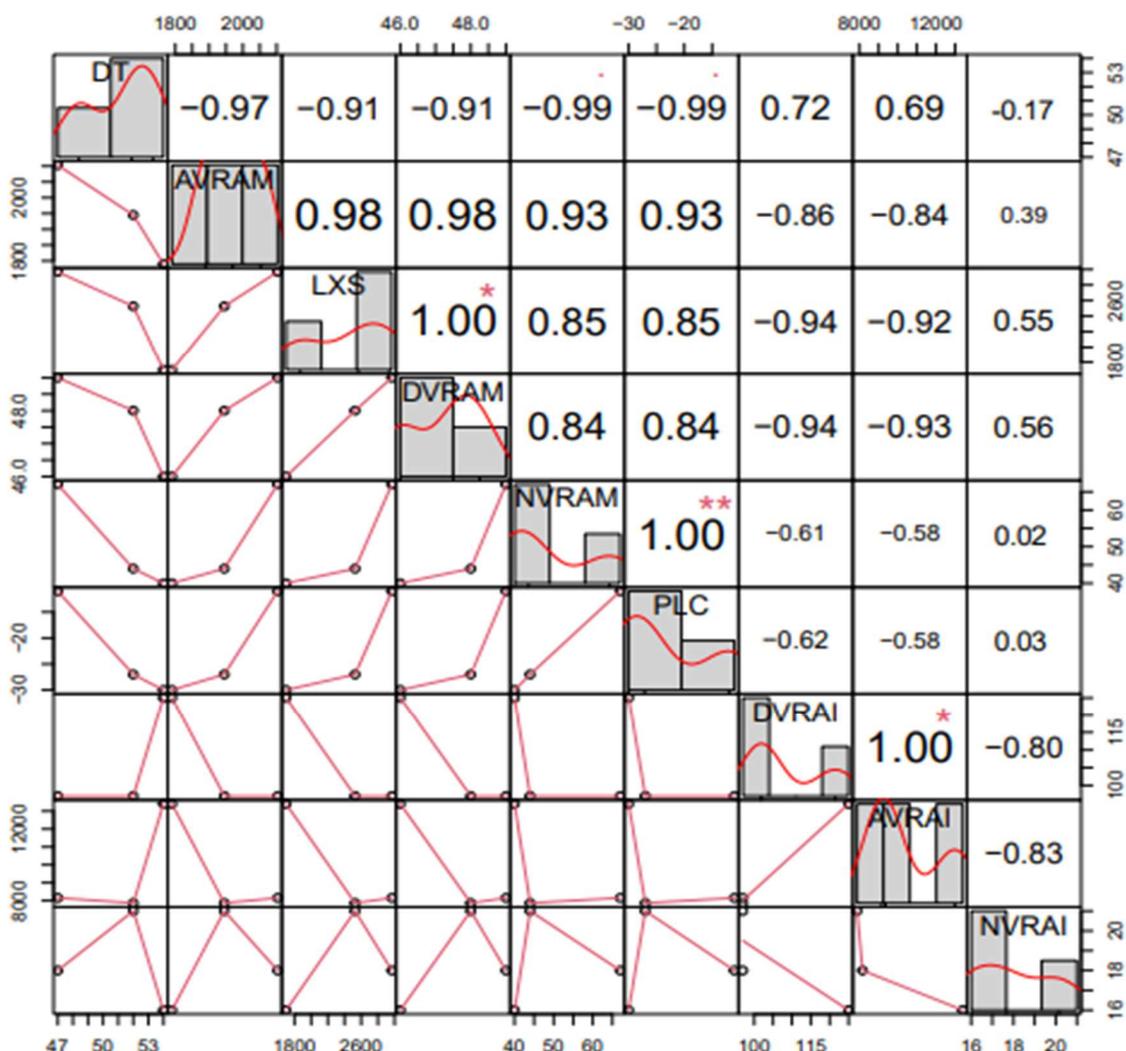


Figura 9 – Correlação de Pearson com as médias observadas a partir das características dos vasos do xilema de ramos de pessegueiro ‘BRS Rubimel’ enxertadas em ‘Capdeboscq’, ‘Flordaguard’ e ‘Okinawa Roxo’ com as características dos vasos do xilema das raízes dos porta-enxertos ‘Capdeboscq’, ‘Flordaguard’ e ‘Okinawa Roxo’. DVRAM = diâmetro dos vasos do xilema dos ramos; AVRAM = área dos vasos do xilema dos ramos; NVRAM = número dos vasos do xilema mm⁻²; LXS = largura do xilema secundário dos vasos do xilema dos ramos; DT = diâmetro de tronco da copa; PCH = perda percentual de condutividade hidráulica; DVRAI = diâmetro dos vasos do xilema das raízes; AVRAI = área dos vasos do xilema das raízes; NVRAI = número de vasos do xilema das raízes; * significativo a $p < 0,05$; ** significativo a $p < 0,01$.

A rede de correlação (Figura 10) foi construída para examinar as relações entre as médias das características dos vasos do xilema dos ramos da cv. BRS Rubimel e as características dos vasos do xilema das raízes dos porta-enxertos, juntamente com os índices de DT e PCH. Observa-se que os índices de PCH apresentam uma forte correlação positiva com NVRAM, AVRAM, DVRAM e LXS, indicando que quanto maiores forem os valores das características avaliadas dos vasos do xilema dos ramos, maiores serão os índices de PCH. Por outro lado, verificou-se uma correlação negativa muito forte entre PCH e DT, o que sugere que quanto menores forem os

índices de PCH, maior será o vigor da planta, medido através de DT. As demais variáveis obtiveram correlações moderadas a fracas, positivas e negativas, exceto para NVRAI, que não apresentou correlações significativas. Esses resultados indicam a importância das características dos vasos do xilema para os índices de PCH e sugerem uma possível relação inversa entre PCH e vigor das plantas. É importante notar, no entanto, que a rede de correlação é uma técnica exploratória e visual e não permite inferências sobre causalidade ou relação de causa e efeito entre as variáveis.

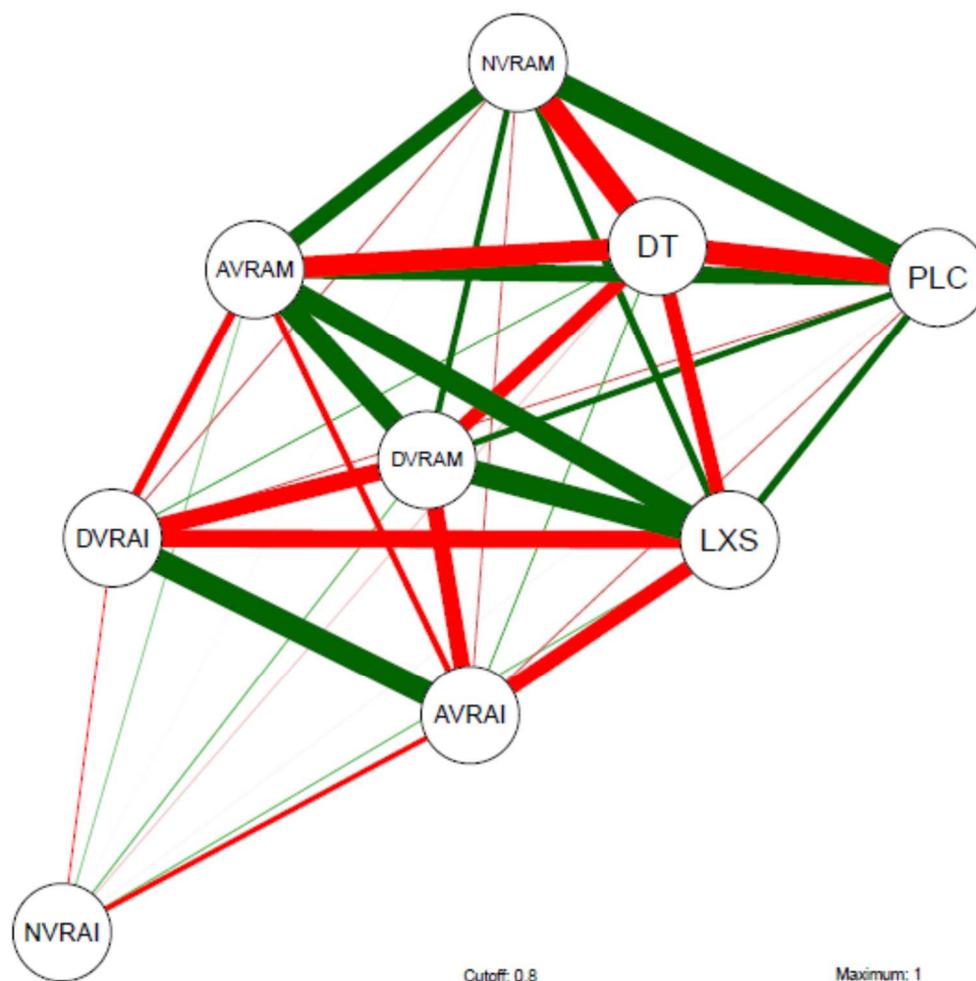


Figura 10 – Rede de correlação de médias observadas a partir das características dos vasos do xilema de ramos de pessegueiro 'BRS Rubimel' enxertadas em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo' com as características dos vasos do xilema das raízes dos vasos do xilema de 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo'. Fator de corte = 0,8 de máximo 1. Linhas verdes significam correlações positivas; linhas vermelhas significam correlações negativas. As espessuras das linhas indicam a magnitude da correlação. DVRAM = diâmetro dos vasos do xilema dos ramos; AVRAM = área dos vasos do xilema dos ramos; NVRAM = número dos vasos do xilema mm^{-2} ; LXS = largura do xilema secundário dos vasos do xilema dos ramos; DT = diâmetro de tronco da copa; PCH = perda percentual de condutividade hidráulica; DVRAI = diâmetro dos vasos do xilema das raízes; AVRAI = área dos vasos do xilema das raízes; NVRAI = número de vasos do xilema das raízes.

6.4. Discussão

O acompanhamento do Potencial químico da água do solo (Ψ_{solo}) foi iniciado na segunda metade de novembro de 2022 (Figura 1), com aferições semanais. Os tensiômetros instalados permitiram verificar que, durante quase todo o mês de dezembro e meados de janeiro de 2023, o Ψ_{solo} nas camadas de 15 e 30 cm de profundidade permaneceu próximo de -4 MPa, indicando um déficit hídrico significativo. Registros significativos de precipitação ocorreram apenas nos dias 14 e 15 de janeiro de 2023, o que ajudou a aumentar o potencial de água no solo. Mesmo assim, os valores médios registrados em antemanhã (predawn) ainda foram próximos a Ψ_{ramo} -1 MPa, indicando um estresse hídrico leve nas plantas. No entanto, durante o meio-dia, as plantas apresentaram um Ψ_{ramo} de -1,7 MPa, o que, de acordo com (HAIDER et al., 2018), pode ser considerado um indicativo de estresse hídrico moderado a severo em pessegueiros.

Embora a Figura 1 evidencie a ausência de chuvas nos 45 dias que antecederam as primeiras avaliações do Ψ_{ramo} , é importante ressaltar que a falta de água não atingiu níveis extremos de severidade durante o meio-dia. É relevante mencionar que o estudo não investigou os níveis de Ψ_{solo} em profundidades superiores a 45 cm. No entanto, é possível inferir que os sistemas radiculares dos porta-enxertos estejam situados em camadas com maior disponibilidade hídrica, uma vez que, a 45 cm de profundidade, os tensiômetros indicaram um valor de Ψ_{solo} de -2 Mpa.

Após as chuvas, registradas nos dias 14 e 15 de janeiro de 2023, observou-se que as plantas enxertadas em 'Capdeboscq' se recuperaram em 66% do potencial (Ψ_p) em antemanhã, enquanto 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo' se recuperaram em, aproximadamente, 57% em comparação à primeira avaliação (10/01/2023). Devido ao aporte de água no solo, pelo retorno da precipitação, foi observado ao meio dia que as plantas não apresentavam estresse hídrico (HAIDER et al., 2018; MANTOVA et al., 2021). Comparando esse estudo com a literatura, é possível perceber resultados semelhantes aos encontrados por Chen et al. (2010), quando avaliaram a capacidade hidráulica da seringueira (*Hevea brasiliensis*), onde as plantas que estavam em estresse severo, se recuperaram do estresse hídrico, causado pela restrição de água, em cerca de 3 dias, após o início da irrigação. De acordo com Do Nascimento et al. (2019), a rápida recuperação das plantas do estresse hídrico pode estar relacionada

à idade das mesmas, uma vez que a arquitetura hidráulica tende a estar bem estabelecida nesse estágio de desenvolvimento. É importante ressaltar que o Potencial químico da água do solo na camada superficial (15 cm de profundidade) era de -3,0 MPa, enquanto os tensiômetros a 45 cm de profundidade indicavam -2,0 MPa.

Com base nas avaliações subsequentes, verificou-se que o Potencial químico da água do solo (Ψ_{solo}) ficou menos negativo nas camadas superficiais (-3,0 MPa para -2,3 MPa), indicando uma baixa capacidade de retenção de água associada à textura do solo, e a 45 cm de profundidade (-2,0 MPa para -1,2 MPa). Segundo Centeno et al. (2017), os Argissolos Amarelos distróficos típicos têm textura predominantemente arenosa ou argiloarenosa, que tendem a uma menor capacidade de retenção de água devido à baixa capacidade de retenção nos espaços entre as partículas de areia.

6.5. Perda de condutividade

Com base nas análises de PCH realizadas em fevereiro de 2022, observou-se que as plantas enxertadas em 'Capdeboscq' apresentaram PCH de aproximadamente 45%, sendo aproximadamente 50% mais elevado quando comparado com plantas enxertadas em 'Okinawa Roxo', permanecendo abaixo do limiar de segurança (P88) proposto por Urli et al. (2013) e Bolte et al. (2016) para angiospermas. Esses resultados indicam que, mesmo com um nível moderado de potencial de cavitação, as plantas enxertadas em 'Capdeboscq' não apresentaram risco significativo de danos irreversíveis na condutividade do xilema. No entanto, cabe ressaltar que na semana que antecedeu as análises de fevereiro e agosto de 2022 não houve registro de precipitações. Na semana das análises de fevereiro de 2023 foi registrado um volume de aproximadamente 35 mm (Figura 1), o que pode ter contribuído para os baixos índices de PCH.

6.6. Análises histológicas

Os porta-enxertos estudados demonstraram características distintas no diâmetro de vasos do xilema das raízes, com destaque para o genótipo 'Okinawa Roxo', que apresentou 80% mais vasos na classe $> 120 \mu\text{m}$ em comparação com 'Flordaguard', e 50% em relação à 'Capdeboscq'.

Essas diferenças observadas na classe podem justificar os achados da condutância hidráulica teórica. Embora não tenham sido observadas diferenças

significativas entre os genótipos, é perceptível (conforme indicado na Figura 10B) que 'Okinawa Roxo' pode apresentar uma maior capacidade de transporte de volumes de água em comparação com os demais genótipos. Essa conclusão é baseada no pressuposto de que os vasos são circulares e não apresentam obstruções capazes de influenciar a condutividade dos fluidos (HACKE et al., 2017; ZHANG et al., 2023).

No comparativo dos diâmetros dos vasos do xilema das raízes, 'Okinawa Roxo' apresentou uma média 20% maior que os outros porta-enxertos, o que pode ajudar a explicar a relação entre a altura das plantas, ou o comprimento das pernas, embora não tenha sido diferente de 'Flordaguard', como sugerido por Schreiber et al. (2015) e Hajek et al. (2016). Esses autores relatam ainda que, plantas de maior altura e elevada biomassa, geralmente, apresentam diâmetros de vasos do xilema maiores, enquanto plantas de menor porte tendem a apresentar diâmetro de vasos menor.

Sendo assim, os resultados desse estudo corroboram com os autores acima citados, visto que 'Capdeboscq' apresentou valores de comprimento de perna (CP) menores em comparação com 'Okinawa Roxo' (Tabela 1). Somado a isso, no estudo de 19 espécies arbóreas temperadas, Chen et al. (2020) também observaram que plantas com diâmetros de vasos maiores tendem a apresentar densidades de vasos menores. De acordo com Wheeler et al. (2005) e Isasa et al. (2023), esses ajustes de diâmetro e densidade são baseados na consideração da segurança e eficiência hidráulica das plantas, uma vez que vasos com diâmetros maiores têm uma maior área de condução, o que os torna mais suscetíveis a efeitos de embolia. Portanto, tais características são relevantes para estudos em espécies frutíferas que utilizam porta-enxertos, pois podem auxiliar na escolha de genótipos com melhores potências de condutividade hidráulica, para uso em cultivos irrigados, ou então para seleção de genótipos menos suscetíveis a cavitação e mais tolerantes ao déficit hídrico.

É importante notar que, em relação aos genótipos estudados, os vasos do xilema das raízes de 'Okinawa Roxo' apresentaram uma área média aproximadamente 40% maior em comparação aos outros genótipos. Isso sugere que 'Okinawa Roxo' pode ter uma adaptação hidráulica específica em relação ao diâmetro e densidade dos vasos, possivelmente para equilibrar a segurança e eficiência na condução de água nos tecidos vasculares. Esses achados fornecem uma compreensão mais detalhada das características hidráulicas dessa espécie, em particular, e sua possível adaptação ao ambiente.

Nas avaliações dos ramos de pessegueiro 'BRS Rubimel' ficou evidente que os porta enxertos estudados podem influenciar na estrutura anatômica dos vasos do xilema na copa, com as maiores diferenças sendo observadas nas densidades dos vasos do xilema e na largura do xilema secundário (LXS).

É relevante ressaltar que, embora não tenham sido identificadas diferenças significativas nos diâmetros dos vasos do xilema dos ramos, a análise da densidade revelou que o genótipo 'Capdeboscq' apresentou uma densidade de vasos do xilema superior em aproximadamente 36% comparado com 'Flordaguard' e 40% em relação à 'Okinawa Roxo'. Essas diferenças nas densidades podem ajudar a justificar os altos índices de perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) observados no cultivar.

Nas análises de LXS foi observado que o genótipo 'Okinawa Roxo' tem em média 60% menos área do que 'Capdeboscq' e 32% em relação à 'Flordaguard'. É importante ressaltar que o estudo não avaliou diretamente as áreas da medula dos ramos, no entanto, é possível inferir que o porta-enxerto tenha proporcionado uma maior área de medula em relação aos demais genótipos. Segundo Morris et al. (2016; 2018) o parênquima paratraqueal, presente em angiospermas, pode ter uma conexão funcional direta com o sistema de transporte de água nas plantas, o que pode explicar a maior área de medula e as menores taxas de PCH observadas em fevereiro de 2022 nas plantas enxertadas em 'Okinawa Roxo'.

A presença de gás (embolia) nos vasos condutores pode levar a uma redução do pH no apoplasto do xilema, o que estimula a expressão de enzimas responsáveis pela degradação do amido, resultando no acúmulo de monossacarídeos no apoplasto. Essa acumulação cria um gradiente osmótico, onde a concentração de solutos é maior no parênquima paratraqueal em comparação com o vaso embolizado. Esse fenômeno impulsiona o movimento de líquido do parênquima para o lúmen do vaso embolizado, uma vez que a água busca restabelecer o equilíbrio osmótico, fluindo do local de maior potencial químico da água (parênquima) para o de menor potencial químico da água (vaso embolizado), buscando restabelecer a funcionalidade do sistema de condução de água na planta (KNIPFER et al., 2015; SECCHI; ZWIENIECKI, 2016). Embora esse mecanismo possa auxiliar na desobstrução dos vasos embolizados e na recuperação da funcionalidade do xilema, são necessárias mais pesquisas para entender melhor se o aumento do armazenamento de carboidratos nesse tecido desempenha um papel significativo no processo de reabastecimento dos vasos do xilema com água.

6.7. Correlações

Dentre as correlações observadas nesse estudo (Figura 9), as características mais relevantes foram relacionadas às perdas da condutividade hidráulica com AVRAM (0,93) e DVRAM (0,84). É possível que essas correlações tenham sido causas prováveis para os altos índices de PCH resultantes nas avaliações ocorridas nos meses de fevereiro e agosto de 2022, coincidindo com o período sem chuvas que antecedeu as datas de avaliação.

Maiores áreas de vasos, densidades e diâmetros de vasos do xilema são capazes de transportar volumes maiores e com maior eficiência (HACKE et al., 2017; SPERRY; HACKE, 2004). No entanto, em condições de déficit hídrico, esse efeito pode se tornar inversamente proporcional, resultando em altos índices de PCH (TOMBESI et al., 2011; WANG et al., 2014; WHEELER et al., 2005). Esses resultados corroboram com os autores mencionados anteriormente, uma vez que os estudos realizados justificam as correlações negativas encontradas, envolvendo as mesmas variáveis e o vigor das plantas, em função do diâmetro do tronco.

As dimensões observadas no diâmetro dos vasos do xilema dos porta-enxertos foram em média 55% maiores do que as mesmas características dos ramos da copa (pessegueiros 'BRS Rubimel'). A correlação negativa (-0,94) entre as dimensões dos vasos dos xilemas pode indicar que as plantas adotam a estratégia de estreitamento dos vasos como uma forma de garantir a segurança hidráulica e manter a eficiência no transporte de água, mesmo que a capacidade de transporte seja reduzida (LÜBBE et al., 2022). Essa estratégia permite que as plantas continuem a obter água para suas necessidades, mesmo em condições desfavoráveis, minimizando os riscos de embolia sob déficit hídrico.

Quando os vasos condutores sofrem estreitamento, sua capacidade de transporte de água diminui gradualmente. Como resultado, ocorre uma redução das raízes, que possuem vasos de maior diâmetro, em direção ao caule e aos ramos terminais do dossel. Esse redirecionamento permite que a planta mantenha a eficiência no transporte de água, garantindo o suprimento necessário para suas atividades metabólicas. Apesar do estreitamento dos vasos, a planta consegue adaptar-se e distribuir a água disponível de forma adequada, garantindo o funcionamento adequado do sistema vascular (CARRER et al., 2015; LÜBBE et al., 2022).

Com base nesse estudo, é possível afirmar que o diâmetro dos vasos do xilema das raízes apresenta uma correlação positiva (0,72) com o vigor das plantas, o qual, nesse estudo, está relacionado ao diâmetro do tronco (DT). Esse resultado pode estar relacionado à teoria proposta por Dalbó e Feldberg (2019), os quais sugerem que o vigor das cultivares copa pode ser influenciado pelo porta-enxerto.

6.8. Conclusões

Nas condições que o experimento foi conduzido e com o material vegetal utilizado, concluiu-se que:

- As plantas de pessegueiro 'BRS Rubimel' apresentam apenas estresse moderado ao déficit hídrico, sem risco significativo de danos irrecuperáveis na condutividade do xilema.

- O maior diâmetro de vasos de 'Okinawa Roxo' contribui para maior capacidade de transporte de água.

- A perda de condutividade hidráulica tem correlação positiva e forte com a área média e diâmetro médio dos vasos do xilema dos ramos resultando em altos índices de PCH.

- O estreitamento dos vasos do xilema dos ramos garante a segurança hidráulica e mantém a eficiência no transporte de água.

- O diâmetro dos vasos do xilema das raízes dos porta-enxertos avaliados tem correlação positiva com o vigor das plantas de 'BRS Rubimel'.

7. Capítulo 2 - Características dos vasos do xilema e do crescimento de ameixeiras 'Reubennel' enxertadas e autoenraizadas

7.1. Introdução

O Brasil é um dos principais produtores de frutas do mundo, ocupando a terceira posição no ranking mundial (FAO, 2023). Essa produção é concentrada principalmente na região Sul do país, que apresenta condições climáticas favoráveis para o cultivo de frutíferas de clima temperado. Entre as frutíferas cultivadas nessa região merecem destaque as macieiras e as frutíferas de caroço, como pessegueiros, nectarineiras e ameixeiras (BUENO, 2021).

A ameixeira japonesa (*Prunus salicina* Lindl., $2n = 2x = 16$) tem ganhado grande destaque no setor produtivo, quando comparada com as ameixeiras europeias (*Prunus domestica* L., $2n = 6x = 42$), devido à sua adaptabilidade às condições de invernos amenos (CASTRO, 2008). No entanto, segundo Nicolau et al. (2021), apesar da expansão da cultura, ainda se encontram alguns entraves na produção de mudas, no que diz respeito à qualidade e procedência dos porta-enxertos.

Atualmente os porta-enxertos mais utilizados na cultura da ameixeira são oriundos dos resíduos das indústrias de conservas de pêssegos (*Prunus persica*) (SCHIMITZ et al., 2012; MAYER et al., 2017) e com isso, o desconhecimento da origem genética das sementes pode refletir em heterogeneidade dentro dos pomares com diferentes níveis de qualidade e de vigor de plantas (MAYER; ANTUNES, 2010; ROSA, 2017).

A escolha correta dos porta-enxertos é fator limitante que pode influenciar a cultivar-copa, de forma negativa ou positiva, pelo balanço hormonal, resistência/tolerância a pragas e doenças do solo, bem como estresses ambientais e Potencial químico da água do xilema (GAINZA et al. 2015).

No que tange à tolerância ao estresse hídrico, as ameixeiras são mais tolerantes à hipóxia comparadas ao pessegueiro (KLUMB et al., 2017), não justificando o uso de pessegueiro como porta-enxerto para esta cultura. Em condições em que as plantas se encontram por períodos prolongados de seca, a relação porta-enxerto com a copa tende a se tornar mais significativa, pois o genótipo radicular pode proporcionar elevado grau de tolerância ao déficit hídrico da copa (DONATO et al., 2007).

Em ambientes que enfrentam períodos prolongados de seca, porta-enxertos selecionados possuem características de alterar alguns processos fisiológicos das cultivares copa, como fechamento estomático das folhas e resistência à seca (WORKOSKI et al., 2016). A tolerância a restrição hídrica dos porta-enxertos pode estar relacionada ao crescimento radicular, aumentando a superfície de contato com o solo, melhorando a absorção de água (BAUERLE et al., 2011).

Na literatura existem inúmeros estudos que relacionam o desenvolvimento das cultivares-copa com características dos porta-enxertos em condições de déficit hídrico. Para mitigar os efeitos de estresse, Olmstead et al. (2006) e Bauerle et al. (2011) relatam influências dos porta-enxertos na anatomia dos vasos do xilema da copa. As variações podem ser caracterizadas como aumento na densidade, formato e diâmetro dos elementos condutores (AYUP et al., 2015).

A morfologia dos vasos condutores desempenha um papel importante no crescimento e desenvolvimento das plantas, particularmente em condições de estresse hídrico (DÓRIA et al., 2016). De acordo com Shtein et al. (2011), dependendo da disponibilidade de água do solo, vasos do xilema com maiores diâmetros tendem a proporcionar maior vigor às plantas. No entanto, sob intensas condições de seca, essa estrutura morfológica pode tornar as plantas mais vulneráveis a falhas hidráulicas. Assim, a morfologia dos vasos condutores é um fator crítico no crescimento e desenvolvimento das plantas, particularmente em ambientes com limitação de água.

Uma falha hidráulica, ou cavitação, pode ocorrer quando as plantas são submetidas a condições de déficit hídrico no solo. Isso leva a uma resistência à tensão alta o suficiente para romper as moléculas de água no xilema, causando o que é conhecido como embolismo e interrompendo o fluxo contínuo de seiva nos vasos do xilema. O embolismo é um dos principais mecanismos responsáveis pela formação de bolhas de ar nos vasos do xilema, o que pode comprometer o transporte de água e nutrientes, levando à morte das plantas em situações de estresse hídrico intenso (CHOAT et al., 2012; OGASA et al., 2013). A cavitação nos vasos do xilema, bloqueando ou dificultando a passagem livre da seiva, resulta na perda da condutividade hidráulica (LAMY et al., 2011).

O fenômeno denominado perda de condutividade hidráulica, ou perda percentual de condutividade hidráulica (PCH), pode ser visto em diferentes tecidos

vegetais, porém mais facilmente mensurável através de análises de segmentos dos ramos (CHOAT et al., 2012; TORRES-RUIZ et al., 2014; COCHARD et al., 2015).

No Rio Grande do Sul, principal produtor de frutas de caroço do Brasil, o período que compreende os meses de novembro a fevereiro normalmente é marcado por déficit hídrico, coincidindo com as fases de pré e pós-colheita dos frutos, levando às plantas a estresses severos. Especialmente na microrregião de Pelotas, onde se concentram os principais municípios produtores de pêsego para indústria, é o local onde mais tem sido relatado casos da ocorrência da síndrome da morte precoce de plantas. Dentre os fatores associados a esta síndrome, o estresse hídrico por déficit ou excesso de água em períodos críticos tem maior atenção nos últimos anos, devido às características edafoclimáticas da região produtora. Frente a isso, este trabalho estudou alguns parâmetros relacionados à condutividade hidráulica de plantas de *Prunus*, bem como avaliou o efeito de diferentes porta-enxertos para testar as seguintes hipóteses: a) as características dos vasos do xilema das raízes e a enxertia nos genótipos de pessegueiro 'Okinawa' (*Prunus persica* L. Batch) e ameixeira 'Myrobalan 29C' (*Prunus cerasifera* Ehrh) alteram a condutividade hidráulica da cultivar de ameixeira Reubennel; b) o uso de genótipos de pessegueiros como porta-enxerto de ameixeiras altera o crescimento vegetativo das plantas; c) o crescimento vegetativo inicial de ameixeiras 'Reubennel' autoenraizadas pode ser reduzido devido ao menor diâmetro de vasos das raízes.

Com isso, o presente estudo avaliou o desempenho vegetativo da cultivar Reubennel autoenraizada e enxertada em 'Myrobalan 29 C' e 'Okinawa', assim como, correlacionou os índices de PCH com as características de diâmetro e densidade dos vasos do xilema dos ramos da copa e das características de diâmetro e densidade dos vasos do xilema das raízes dos genótipos utilizados como porta-enxerto.

7.2. Material e métodos

7.2.1. Dados Climáticos

Com base na classificação climática de Köppen, identificou-se que a região de Pelotas apresenta clima subtropical úmido, do tipo "Cfa", com verões quentes e úmidos, invernos frios e úmidos e de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com média anual de cerca de 1400 mm (CABALLERO et al., 2018). No entanto, é importante ressaltar que as menores médias de precipitação na região ocorrem a partir de outubro, período que coincide com os ciclos vegetativo e produtivo dos *Prunus*, plantas frutíferas importantes para a economia local. Além disso, as taxas de pluviosidade menos elevadas são registradas em fevereiro e em outubro, com 74,7 mm e 188,2 mm, respectivamente.

As temperaturas médias mensais na região variam entre 10°C e 22°C (CABALLERO et al., 2018). Durante o período do estudo foram registradas temperaturas máximas e mínimas de aproximadamente 30°C e 7,5°C, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 11. Além disso, o total de precipitação registrado no período foi de 1681 mm, sendo que os maiores volumes ocorreram em julho e a menor quantidade em setembro, ambos em 2022.

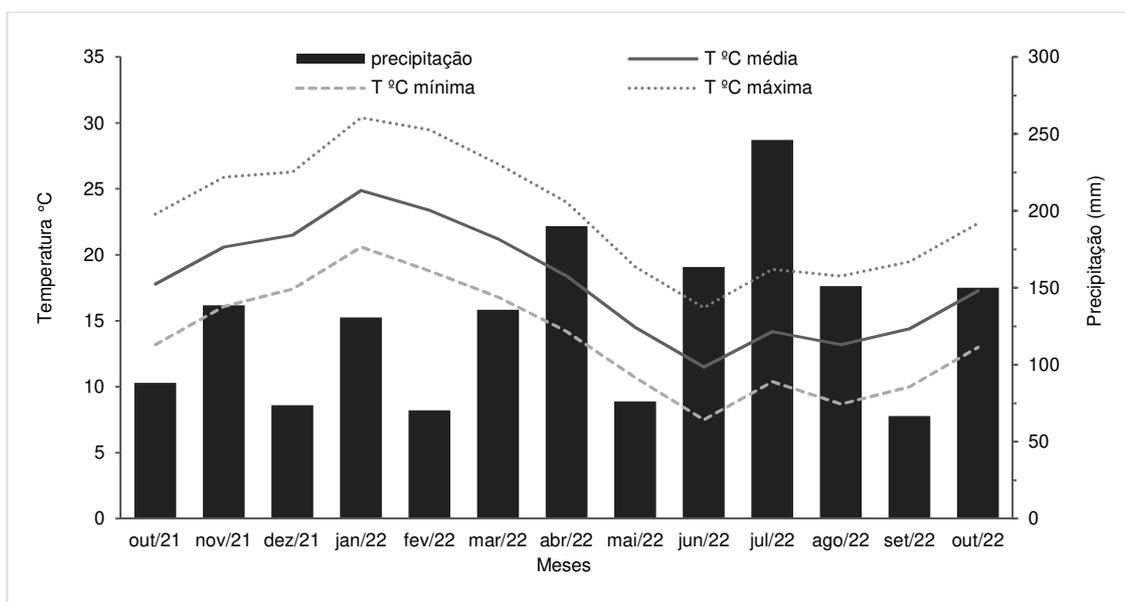


Figura 11 - Dados meteorológicos de precipitação (mm), temperatura (°C) máximas, médias e mínimas de outubro de 2021 a outubro de 2022. Médias climáticas registradas na estação meteorológica do Capão do Leão-RS.

7.2.2. Material vegetal

O estudo foi conduzido com plantas de ameixeira ‘Reubennel’ (*Prunus salicina*) autoenraizadas e enxertadas em ‘Myrobalan 29C’ (*Prunus cerasifera* Ehrh) e ‘Okinawa’ (*Prunus persica* L. Batch), conduzidas em líder central.

Os porta-enxertos foram produzidos por estaquia e conduzidos conforme descrito por Menegatti et al. (2021), sendo as mudas enxertadas em dezembro de 2019, utilizando-se borbulhas de gemas ativas provenientes de plantas matrizes mantidas em casa de vegetação do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). As plantas autoenraizadas foram produzidas em novembro de 2019. Todas as plantas foram mantidas em vasos de 7 L na casa de vegetação e transplantadas para vasos de 20 L em outubro de 2021. Os vasos foram realocados para a área de canteiros, com 100% de exposição ao sol e com sistema de irrigação por aspersão controlado por timer. Para evitar aquecimento dos vasos devido à exposição solar, os vasos foram enterrados a 2/3 de sua altura.

7.2.3. Variáveis analisadas

7.2.3.1. Análise de diâmetro de tronco

Com auxílio de um paquímetro digital (modelo MTX de 150 mm) foi realizada a mensuração do diâmetro de tronco (DT) da copa 5 cm acima do ponto de enxertia nas plantas enxertadas em ‘Myrobalan 29C’ e ‘Okinawa’. Nas plantas autoenraizadas, a mensuração foi realizada tendo base de altura da aferição dos genótipos enxertados. As medidas foram realizadas no mês outubro.

7.2.3.2. Massa de poda

Assim que podados, os ramos de cada planta foram colocados em sacos de plástico e levados até o Laboratório de Hidráulica de Plantas Frutíferas de Clima Temperado, no prédio LABAGRO – Prédio Prof. Dr. José Carlos Fachinello (Fruticultura). Com o auxílio de uma tesoura de poda, os ramos foram fracionados em porções menores e alocados em bandejas para aferição de massa fresca por meio de balança eletrônica. Depois de verificada a massa fresca (MF), os ramos retornaram para as embalagens e permaneceram em local arejado por um mês, a fim de perder excesso de água em temperatura ambiente. Posteriormente, os ramos foram postos em estufa de secagem para a total desidratação.

O material vegetal ficou em estufa de ar forçado na temperatura de 60 °C até alcançar a estabilidade de massa. Após a secagem aferiu-se a massa seca (MS).

7.2.3.3. Condutância do xilema e cavitação

Nos testes de perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) do xilema, os ramos previamente selecionados, assim que podados foram rapidamente selados com vaselina sólida para evitar embolias causadas pelo ar e submetidos à solução de 2% de hipoclorito de sódio (NaClO) e água destilada, por um período de cinco minutos para a desinfestação. O conjunto de ramos de cada planta foi embalado com papel absorvente umedecido em água destilada e acondicionados em sacos de polietileno de coloração preta para serem levados até o Laboratório de Hidráulica de Plantas Frutíferas para as análises.

No laboratório, a parte basal dos ramos foi colocada em baldes com 1/3 de água destilada para aclimatação ao ambiente (23 °C). Após esse processo, os ramos foram submersos por completo em água destilada dentro bandejas, onde realizou-se o corte dos segmentos a serem utilizados no aparelho Xyl'em® (Bronkhorst, versão 2, 2012). Todos os cortes foram realizados embaixo d'água descartando-se os 15 primeiros centímetros das duas extremidades dos ramos, afim de evitar qualquer influência que a atmosfera tenha causado nos vasos do xilema. Os segmentos foram cortados na medida de 5 cm, totalizando quatro segmentos por ramo. Cada corte foi feito com lâmina de barbear para reduzir ao máximo qualquer resquício de material vegetal e evitar rachaduras nas amostras que possibilitariam a obstruções na condutividade dos vasos xilemáticos.

No Xyl'em®, cada segmento foi acoplado a uma mangueira de silicone transparente, com 5 mm de diâmetro, fixado em uma torneira do tipo Luer de três pontos para início dos testes de condutância hidráulica. A embolia nativa foi aferida utilizando uma solução degaseificada e filtrada, a 0,22 µm, de 10 mM KCl a um gradiente de pressão hidrostática de 3 kPa. Em seguida, esses segmentos foram submetidos a um processo de saturação do vaso do xilema para remoção da embolia nativa com a mesma solução a uma pressão de 1 MPa por 2 minutos, ou até cessar a emissão de bolhas de ar da extremidade das amostras. Quatro novas leituras de condutividade hidráulica (K) foram realizadas até o número total de medições de K. Os valores de PCH (%) foram calculados expressando K nativo como uma porcentagem do K máximo (ABREU et al., 2021; DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023).

7.2.3.4. Análises histológicas dos ramos e raízes

Para as análises histológicas foram selecionados segmentos de ramos de aproximadamente 5 cm de comprimento, utilizados anteriormente nas análises de PCH. Amostras de raízes foram coletadas a uma distância de 20 cm da base do tronco e de três posições diferentes ao redor da base de cada planta, sendo que essas estavam na camada de 0-20 cm de profundidade (TOMBESI, 2011).

Os segmentos, de ramos e raízes foram fixados em solução FAA nas proporções de 50 mL de ácido acético glacial, 50 mL de formaldeído (a 37%) e 900 mL de álcool etílico. Posteriormente, de cada segmento foram realizados cortes à mão, com auxílio de lâmina de barbear (BARIGAH et al., 2021; DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023).

As seções transversais das amostras foram imersas em álcool etílico 70%, 50% e 30% por 10, 5 e 2 minutos, respectivamente. Posteriormente, as amostras foram coradas Safranina por aproximadamente 2 segundos, lavadas em água destilada e montadas entre lâminas e lamínulas com gelatina glicerizada de kaiser para prolongar o período de viabilidade das amostras

As imagens para a quantificação e mensuração dos diâmetros dos vasos do xilema foram capturadas com objetiva de 10X a partir do microscópio Zeiss com câmera digital acoplada (AxioCamERc 5s) e o software AxioVSION® [versão 4.8.2 SP2 (06-2012)].

As análises anatômicas dos vasos foram realizadas a partir da inferência em quatro áreas aleatórias de cada amostra com aproximadamente 1 mm², registrando-se os diâmetros médios, conforme ilustrado na Figura 12, para a distribuição de frequências dos diâmetros médios dos vasos afim de categorizá-los nas seguintes classes: < 30; 30 – 45; 45 – 60 e > 60 µm. Também se realizaram análises do número de vasos mm⁻² do xilema dos ramos (NVRAM), diâmetro de vasos do xilema dos ramos (DVRAM) e largura do xilema secundário dos ramos (LXS). Para as raízes, Figura 13, seguiu-se o mesmo procedimento, número de vasos do xilema mm⁻² das raízes (NVRAI) e diâmetro de vasos do xilema das raízes (DVRAI). No entanto, devido aos maiores diâmetros encontrados nos vasos do xilema, optou-se por aumentar os intervalos entre classes: < 60; 60 – 90; 90 - 120 e >120, seguindo adaptações das metodologias de Tombesi et al. (2011) e De Aguiar Júnior et al., 2023. Nos anexos a Figura 21 evidenciam seções dos cortes transversais dos ramos de 'Reubennel'

enxertados em 'Myrobalan 29C', 'Okinawa' e 'Reubennel' autoenraizado, enquanto na Figura 22, evidenciam seções dos cortes transversais de raízes secundárias de 'Myrobalan 29C', 'Okinawa' e 'Reubennel' autoenraizadas.

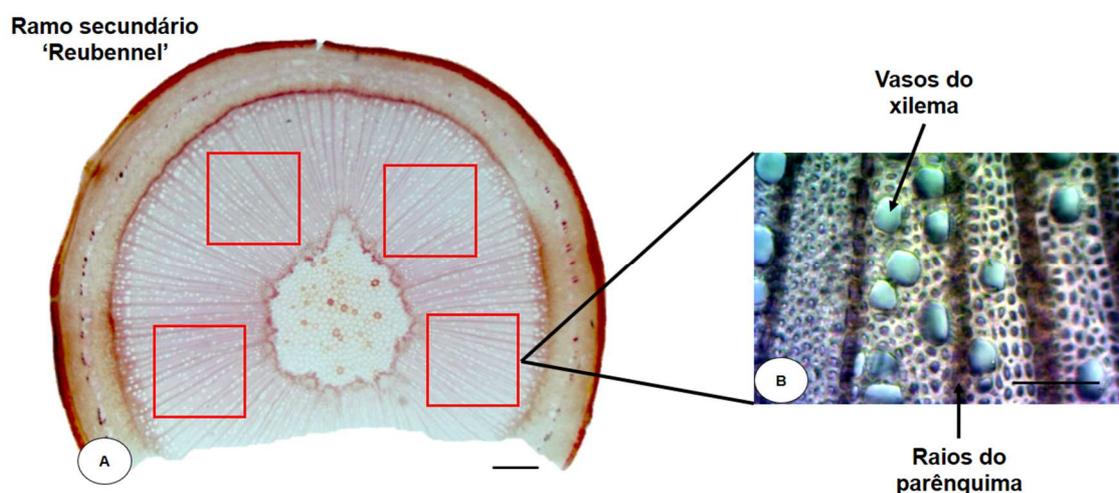


Figura 12 – A. B. Seção transversal do segmento de ramo secundário da cultivar de ameixeira 'Reubennel' (*Prunus salicina*) enxertada em ameixeira 'Myrobalan 29C' (*Prunus cerasifera* Ehrh). Barras: A = 500 μm ; B = 100 μm .

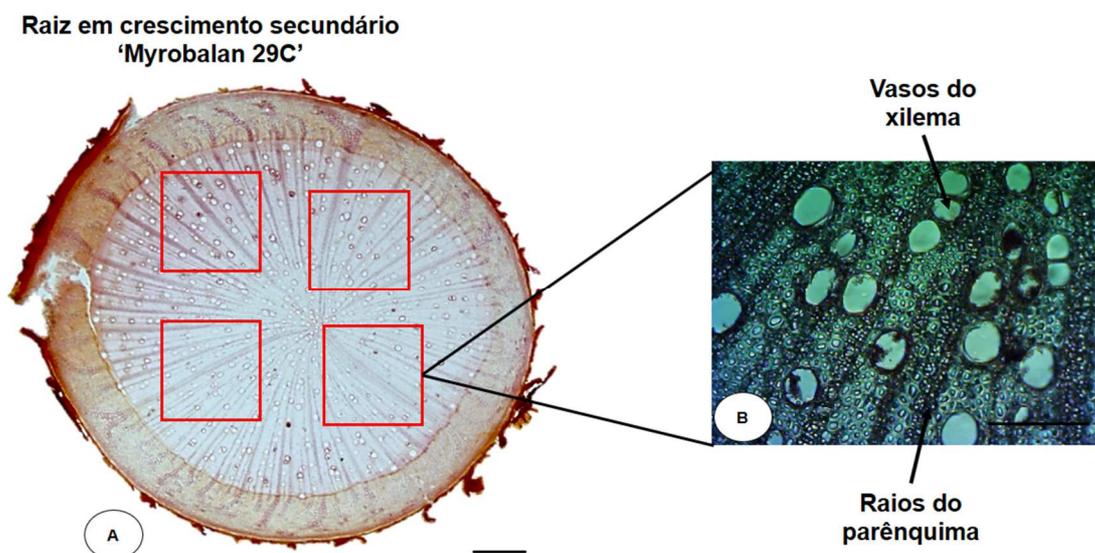


Figura 13 – A. B. Seção transversal do segmento de raiz secundária da cultivar de ameixeira 'Myrobalan 29C' (*Prunus cerasifera* Ehrh). Barras: A = 500 μm ; B = 100 μm .

7.2.3.5. Condutividade hidráulica teórica

Realizou-se ainda, a análise da condutância hidráulica teórica diária (K_h) dos vasos do xilema dos ramos e das raízes, expressos em $\text{Kg m MPa}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, foi realizado a partir dos princípios da equação de Hagen-Poiseuille (TYREE; EWERS, 1991; POORTER et al., 2010; ZHANG et al., 2023; DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023) onde

utilizou-se os diâmetros médios da seção de cada foto, estimando a condutividade hidráulica teórica por dia.

$$Kh = \left(\frac{\pi\rho}{128\eta} \right) \sum_{i=1}^n (d_i^4) * DV * 86400$$

Onde: d é raio do vaso na unidade em metro, ρ é a densidade do fluido (assumida como $1000 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ ou igual à da água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), η é a viscosidade (assumida como $1 \times 10 \text{ MPa}^{-9} \text{ s}^{-1}$, ou igual ao da água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), DV é a densidade de vasos (número de vasos mm^{-2}) e 86400 é quantidade de segundos em 24h. Os diâmetros médios dos vasos de cada genótipo foram calculados conforme descrito por Tombesi et al. (2010).

7.2.3.6. Correlação de médias

A partir das médias obtidas, foi realizado o teste de correlação de Pearson para identificar a influência que cada variável tem em relação às outras, além de, criar uma rede de correlação para visualização direta dos fatores correlatos.

7.2.4. Delineamento experimental

O delineamento das análises anatômicas foi em modelo de blocos inteiramente casualizados em esquema unifatorial, verificar o número médio de vasos do xilema dos ramos (NVRAM), diâmetro médio de vasos do xilema dos ramos (DVRAM), área média de vasos do xilema dos ramos (AVRAM), largura do xilema secundário dos ramos (LXS), condutância hidráulica teórica (Kh) (ramos e raízes), número médio de vasos do xilema das raízes (NVRAI), área média dos vasos do xilema das raízes (DVRAI), área média dos vasos do xilema dos ramos (AVRAI) e perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) e fatorial, classes e diâmetros (AxB), para distribuição de frequências. Para os testes de DT, MF, MS foi adotado o delineamento de blocos casualizados unifatorial. Os dados obtidos foram verificados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade dos erros por Bartlett e Hartley. Quando pertinente, aplicou-se o Teste de Tukey ($p < 0,05$), através do com o software R (“R Core Team (2020) — European Environment Agency, 2020). Utilizou-se a interface RBio (BHERING, 2017).

7.3. Resultados

Diante das médias observadas (Tabela 3), somente a variável altura de planta (AP) não apresentou diferenças significativas entre os genótipos. As variáveis DT, MF e MS apresentaram as mesmas diferenças entre si, onde o genótipo 'Myrobalan 29C' obteve médias superiores apenas em relação à 'Reubennel' autoenraizada que, por sua vez, não diferiu de 'Okinawa'.

Tabela 3- Médias de altura de planta (AP), diâmetro de tronco (DT), massa fresca (MF) e massa seca (MS) de ramos de ameixeiras 'Reubennel' autoenraizada e enxertadas em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', cultivadas em vaso.

| Genótipo | AP (cm) | DT (mm) | MF planta ⁻¹ (Kg) | MS planta ⁻¹ (Kg) |
|-----------------|---------------------|------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 'Myrobalan 29C' | 163,4 ^{ns} | 28,41 a | 0,289 a | 0,136 a |
| 'Okinawa' | 134,2 | 26,22 ab | 0,266 ab | 0,127 ab |
| 'Reubennel' | 166,8 | 21,76 b | 0,182 b | 0,085 b |
| CV (%) | 18,03 | 11,02 | 23,96 | 23,77 |
| p (<0,05) | 0,1896 | 0,0085 | 0,0487 | 0,4202 |

Médias seguidas de mesma letra, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Na avaliação da PCH (Tabela 4), 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa' apresentaram as maiores médias, no entanto, como os valores são proporcionalmente inversos, os melhores resultados foram apresentados por 'Reubennel' autoenraizado.

Com relação a anatomia dos vasos do xilema dos ramos e raízes, 'Reubennel' autoenraizada apresentou os maiores valores para AVRAM e AVRAI, enquanto os demais genótipos não apresentaram diferenças entre si (Tabela 4). Por outro lado, a largura do xilema secundário dos ramos (LXS) das plantas enxertadas sobre 'Myrobalan 29C' foi somente superior em relação a 'Okinawa', que não diferiu de 'Reubennel' autoenraizada (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparativo da perda percentual de condutividade hidráulica (PCH), médias histológicas de área dos vasos do xilema dos ramos (AVRAM), largura do xilema secundário dos ramos (LXS) de ramos de ameixeiras 'Reubennel' autoenraizada e enxertadas em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa' e área média dos vasos do xilema das raízes (AVRAI) de 'Reubennel autoenraizada', 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa' cultivadas em vaso.

| Genótipo | PCH (%) | AVRAM (μm^2) | LXS (μm) | AVRAI (μm^2) |
|-----------------|---------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 'Myrobalan 29C' | 10,58 a | 1.460,80 b | 3.070,09 a | 7.329,81 b |
| 'Okinawa' | 11,31 a | 1.234,55 b | 2.283,79 b | 11.008,11 a |
| 'Reubennel' | 7,41 b | 2.370,08 a | 2.718,58 ab | 4.788,11 b |
| CV (%) | 24,16 | 15,35 | 10,94 | 21,14 |
| p (< 0,05) | 0,0001 | 0,0018 | 0,0257 | 0,00484 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As análises das características anatômicas dos vasos do xilema obtidas através de cortes transversais de segmentos de ramos e raízes de 'Reubennel' autoenraizada e enxertadas em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', com as características dos vasos do xilema das raízes (Figura 14) indicam que existem diferenças entre os genótipos.

Para a variável número de vasos por mm^2 é possível observar que 'Okinawa' apresentou para os ramos de 'Reubennel' as maiores médias, sendo superior apenas em relação à 'Reubennel' autoenraizada (Figura 14 A1). Quanto ao número de vasos do xilema mm^{-2} nas raízes não se verificou diferenças entre tratamentos (Figura 14 A2).

O diâmetro médio de vasos do xilema dos ramos de 'Reubennel' foi maior nas plantas autoenraizadas em relação às plantas enxertadas em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', que não diferiram entre si (Figura 14 B1). Entretanto, ao comparar o diâmetro médio dos vasos do xilema das raízes pôde-se observar que 'Okinawa', foi superior apenas à 'Reubennel', porém não diferindo de 'Myrobalan 29C', que apresentou valores intermediários não diferindo dos demais tratamentos (Figura 14 B2).

Por sua vez, a condutância hidráulica teórica baseada nos diâmetros médios e nas densidades de vasos (número de vasos mm^{-2}) dos ramos não diferiu entre si em função do sistema radicular das plantas (autoenraizadas e enxertadas) (Figura 18 C1). No entanto, a condutância hidráulica diária teórica das raízes apresenta dados semelhantes aos de diâmetro médio dos vasos, no qual 'Okinawa' foi superior à 'Reubennel', não diferindo de 'Myrobalan 29C' (Figura 18 C2).

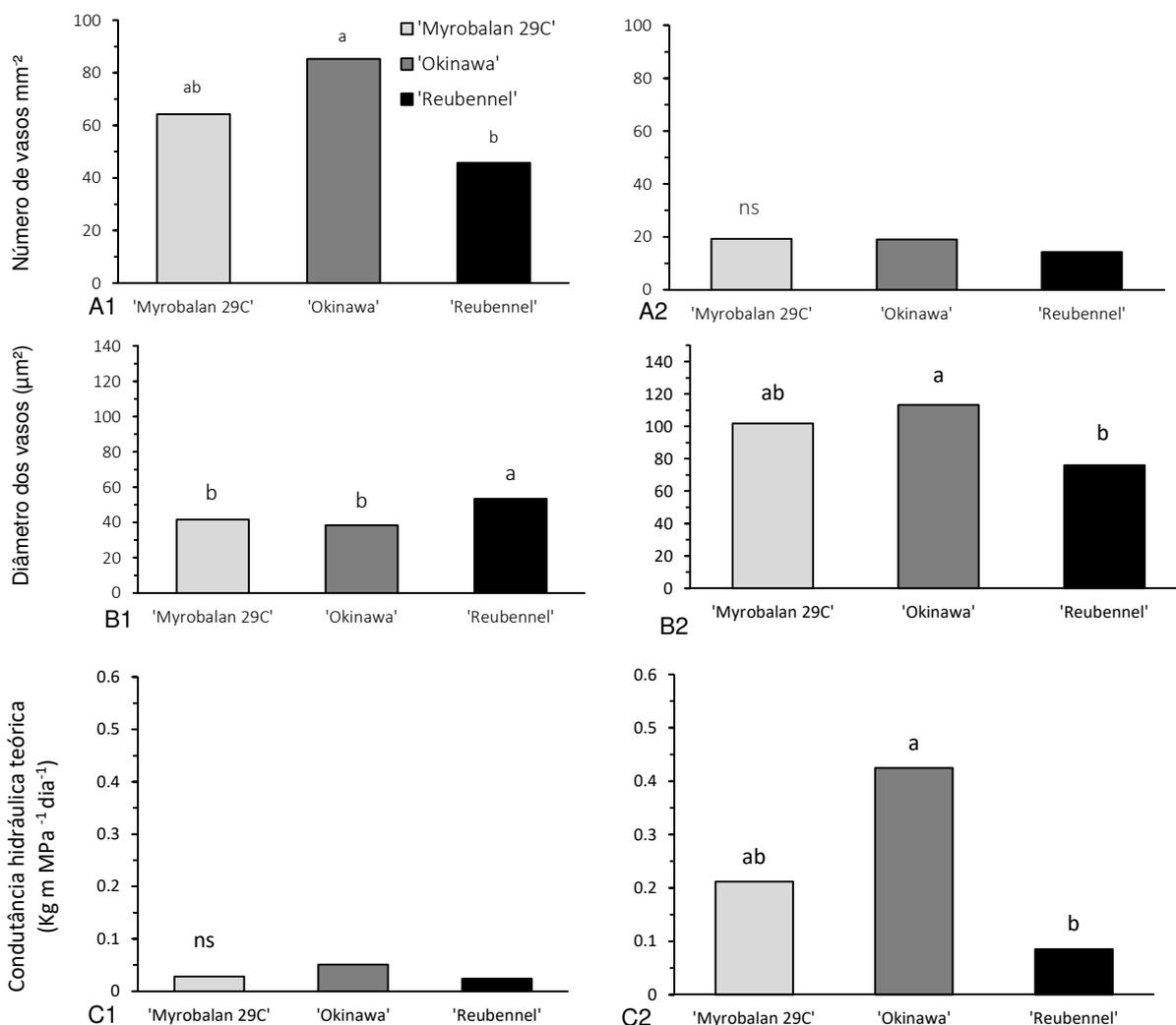


Figura 14 - Comparativo entre características anatômicas dos vasos do xilema dos ramos (à esquerda) de ameixeiras 'Reubennel' autoenraizadas e enxertadas em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', com as características dos vasos do xilema das raízes (à direita) de 'Reubennel', 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', cultivadas em vaso; número de vasos mm⁻² (A1 e A2); diâmetro dos vasos (B1 e B2); condutância hidráulica teórica (C1 e C2); ns = não significativo.

Nas análises dos vasos do xilema dos ramos (Figura 15A) observou-se que as plantas autoenraizadas apresentaram maior frequência de vasos nas classes de maior diâmetro, que não diferiram entre si, sendo superiores às frequências de vasos entre 30-40 µm e < 30 µm. Em ramos das plantas enxertadas sobre 'Okinawa', a maior frequência ocorreu na classe 30 - 45 µm, seguido das classes 45 - 60 µm e < 30 µm, que não diferiram entre si, mas foram superiores a frequência na classe > 60 µm. Resultado similar foi observado nos ramos das plantas enxertadas sobre 'Myrobalan 29C', sendo que a frequência de vasos na classe 30 - 45 µm e 45 - 60 µm não diferiu entre si, mas foram superiores em relação a classe < 60 µm (Figura 15A).

Na avaliação do efeito do sistema radicular dentro de cada classe de frequência, não se verificou diferenças entre tratamentos na classe < 30 µm e 45 - 60

μm , entretanto, na classe 30 – 45 μm , os ramos das plantas enxertadas apresentaram as maiores médias e não diferiram entre si, sendo superiores às das plantas autoenraizadas (Figura 15A). Um efeito contrário foi registrado na classe $> 60 \mu\text{m}$, onde os ramos das plantas autoenraizadas apresentaram médias de frequências de diâmetros 58% superiores em relação às plantas enxertadas, que não diferiram entre si. Este fato evidencia um claro efeito da enxertia sobre a característica dos vasos do xilema nos ramos das plantas enxertadas que apresentaram maior frequência de vasos de maior diâmetro em relação às plantas enxertadas sobre pessegueiro e ameixeira.

Com relação à frequência de vasos do xilema das raízes, houve a necessidade de modificar a escala de leitura, pois verifica-se que na média os vasos do xilema de raízes são maiores em relação aos ramos. Sendo assim verificou-se que para 'Myrobalan 29C' a maior frequência de vasos ocorreu na classe 90 - 120 μm , sendo superior apenas em relação à classe $< 60 \mu\text{m}$ (Figura 15B). As raízes de 'Okinawa' apresentaram maior frequência nas classes 90 -120 μm e $> 120 \mu\text{m}$, porém só diferiram da classe $< 60 \mu\text{m}$, entretanto com uma tendência de apresentar maior número de vasos de maior diâmetro em relação à 'Myrobalan 29C'. Diferentemente do observado para as características dos vasos de xilema dos ramos, nas raízes de 'Reubennel' autoenraizada verificou-se a ocorrência de vasos principalmente na classe de 60 - 90 μm , sendo superior às demais classes, não sendo detectados vasos na classe $> 120 \mu\text{m}$ (Figura 15B).

Dentro de cada classe de frequência, não se registrou diferenças nas classes $< 60 \mu\text{m}$ e 90 – 120 μm , enquanto que na classe 60 - 90 μm verificou-se maior média para 'Reubennel' autoenraizado, não havendo diferença entre os demais tratamentos. Já na classe $>120 \mu\text{m}$ 'Okinawa' e 'Myrobalan 29C', não diferiram entre si e apresentaram médias de frequências de diâmetros superiores em relação a 'Reubennel' autoenraizada (Figura 15B).

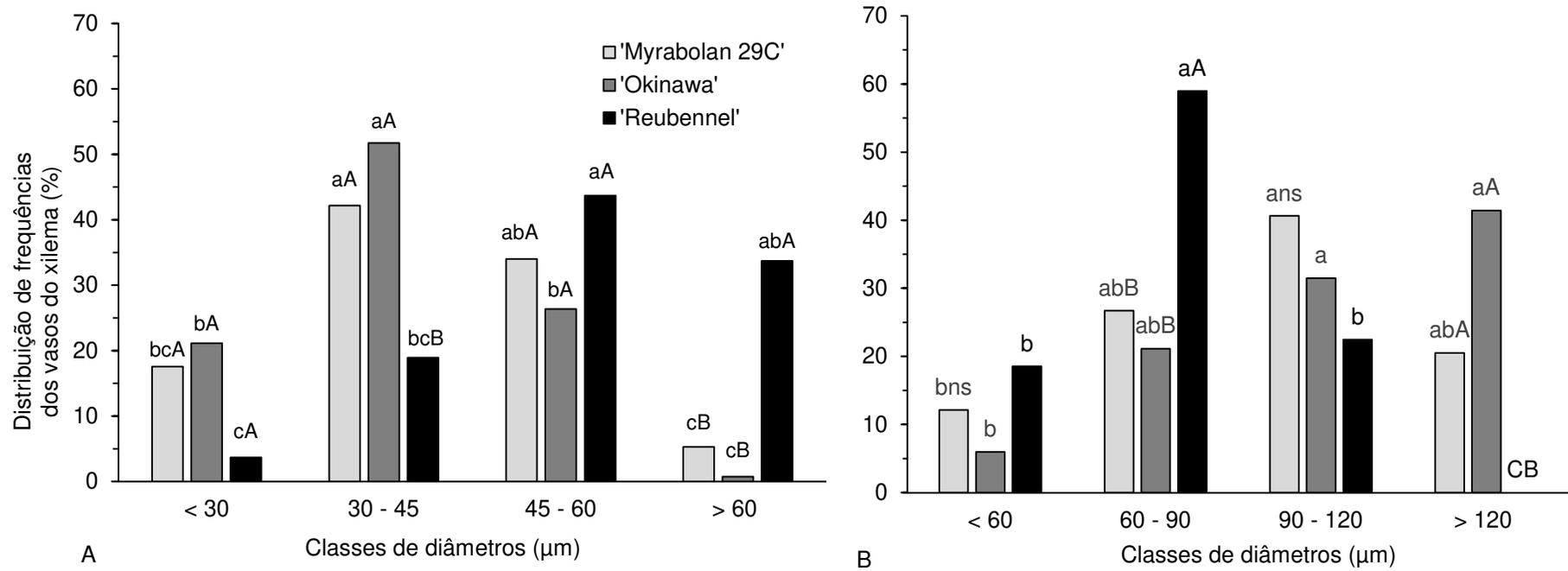


Figura 15 - Distribuição de frequências dos vasos do xilema dos ramos (A) de ameixeiras 'Reubennel' autoenraizada e enxertada em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', com as características dos vasos do xilema das raízes (B) de 'Reubennel', 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa', cultivadas em vaso. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as classes para um mesmo genótipo; maiúsculas comparam os genótipos para uma mesma classe.

Considerando as análises de correlação de Pearson (Figura 16), foram observadas relações tanto positivas quanto negativas entre as características dos vasos do xilema dos ramos da ameixeira 'Reubennel' e as características dos vasos do xilema das raízes dos porta-enxertos de 'Reubennel' autoenraizada em relação às análises de PCH. Foram identificadas correlações significativas entre diversas variáveis, o que sugere uma interação entre as diferentes partes da planta, em termos de suas características fisiológicas e estruturais. As correlações positivas mais fortes foram encontradas entre DT e NVRAI, assim como entre AVRAM e DVRAM. Por outro lado, foram identificadas correlações negativas de intensidade semelhante entre DT e PCH, AVRAM e NVRAM, DVRAI, AVRAI e NVRAI, bem como entre DVRAM e NVRAM, NVRAI, AVRAI e NVRAI, e PCH com DVRAI e NVRAI. A magnitude da correlação pode ser avaliada de acordo com o valor absoluto, sendo consideradas fortes quando estão entre 0,7 e 0,9, moderadas entre 0,5 e 0,7 e fracas entre 0,3 e 0,5. Quanto mais próximo de 1 ou -1, maior é a magnitude da correlação. Quando a correlação é igual a zero, isso indica que não há uma relação linear entre as variáveis.

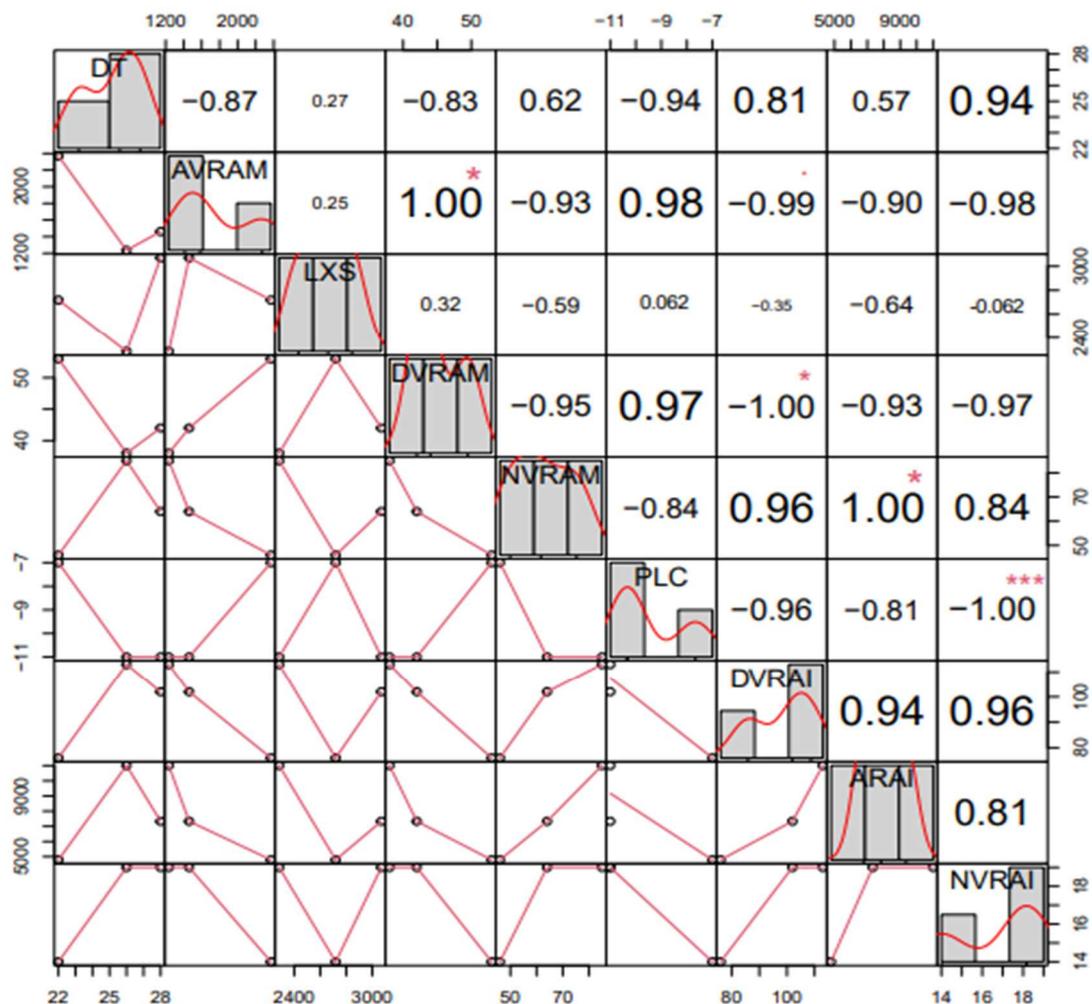


Figura 16 - Correlação de Pearson com as médias observadas a partir das características dos vasos do xilema de ramos de ameixeira 'Reubennel' autoenraizada e enxertada em 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa' com as características dos vasos do xilema das raízes dos porta enxertos Myrobalan 29C' e 'Okinawa'. DT = diâmetro de tronco da copa; AVRAM = área dos vasos do xilema dos ramos; LXS = largura do xilema secundário dos vasos do xilema dos ramos; DVRAM = diâmetro dos vasos do xilema dos ramos; NVRAM = número dos vasos do xilema mm⁻²; PCH = perda percentual de condutividade hidráulica; DVRAI = diâmetro dos vasos do xilema das raízes; ARAI = área dos vasos do xilema das raízes; NVRAI = número de vasos do xilema das raízes; * significativo a $p < 0,05$; ** significativo a $p < 0,01$; *** significativo a $p < 0,001$.

A rede de correlações (Figura 17) apresenta as relações entre as características dos vasos do xilema dos ramos e raízes das plantas analisadas. É possível observar que há correlações positivas significativas entre perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) e as características dos vasos do xilema dos ramos, como área média dos vasos do xilema dos ramos (AVRAM) e diâmetro médio dos vasos do xilema dos ramos (DVRAM), bem como entre as características dos vasos do xilema das raízes, como número médio de vasos do xilema dos ramos (NVRAM) e área média dos vasos do xilema das raízes (AVRAI), e diâmetro médio dos vasos do xilema das raízes (DVRAI). Essas correlações sugerem que, em geral, as características dos

vasos do xilema dos ramos e raízes tendem a variar em conjunto, indicando uma integração entre as partes aéreas e subterrâneas das plantas.

Por outro lado, há correlações negativas significativas entre algumas características dos vasos do xilema dos ramos e raízes, como diâmetro de tronco (DT) e PCH, AVRAM e NVRAM, DVRAI, AVRAI e NVRAI, bem como entre DVRAM e NVRAM, NVRAI, AVRAI e NVRAI. Essas correlações indicam que algumas características tendem a ser inversamente proporcionais entre si, ou seja, quando uma aumenta, a outra diminui. Nesse sentido, é possível observar que os diâmetros dos vasos do xilema são inversamente proporcionais entre os genótipos (copa e porta-enxerto), assim como a área dos vasos.

Além disso, a rede de correlações revela a influência do número de vasos do xilema das raízes em relação ao vigor das plantas, representado pelo DT, onde se encontra ainda, uma forte correlação negativa entre DT e PCH. Essa informação é relevante, pois sugere que a densidade de vasos do xilema das raízes pode afetar diretamente o vigor das plantas, nesse caso, DT.

A variável LXS apresentou fator correlativo de baixa expressão, tanto para correlações positivas quanto para negativas, ficando praticamente isolada das demais variáveis analisadas nesse estudo. Isso pode indicar que essa característica dos vasos do xilema não tem grande influência sobre as demais características analisadas nesse estudo.

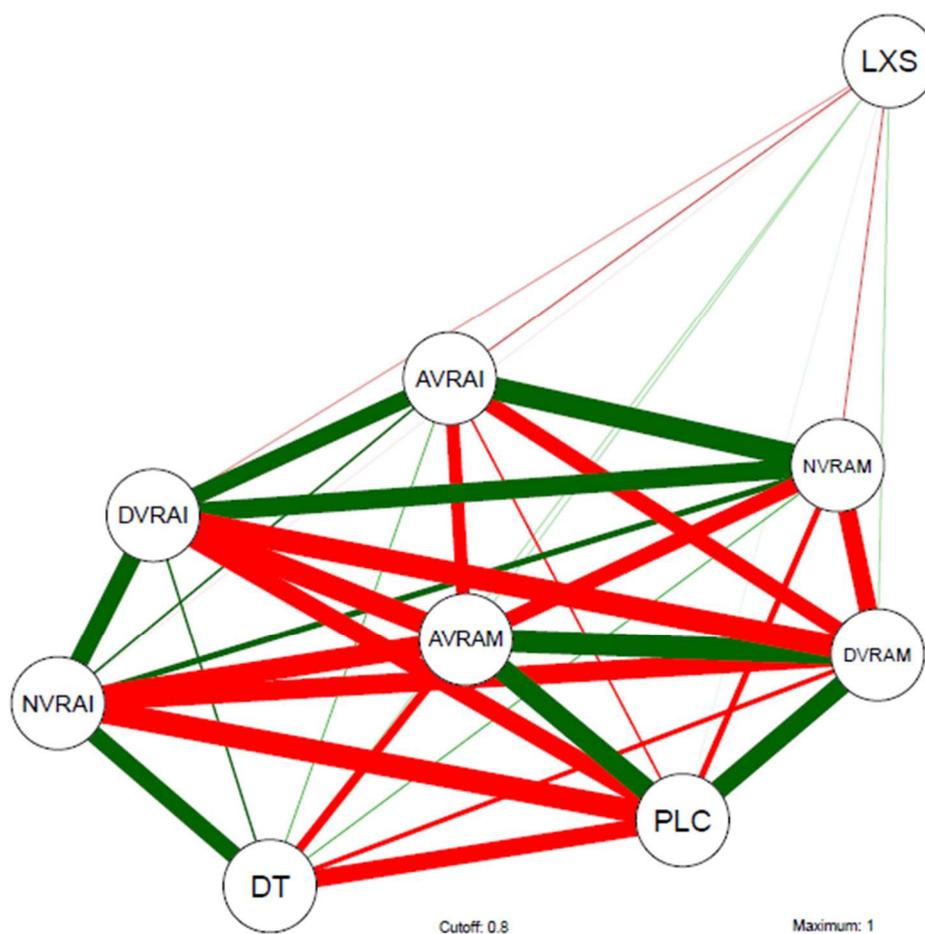


Figura 17 - Rede de correlação de Pearson com fator de corte de 0,8 (máximo de 1) das variáveis analisadas. As correlações positivas estão representadas em verde, enquanto as negativas estão em vermelho. A espessura das linhas indica a magnitude da correlação. DT = diâmetro do tronco (mm); AVRAM = área média dos vasos do xilema dos ramos (μm^2); LXS = largura do xilema secundário dos ramos (μm); DVRAM = diâmetro médio dos vasos do xilema dos ramos (μm); NVRAM = número de vasos do xilema mm^{-2} dos ramos; PCH = perda percentual de condutividade hidráulica dos ramos (%); DVRAI = diâmetro médio dos vasos do xilema das raízes (μm); AVRAI = área média dos vasos do xilema das raízes (μm^2); NVRAI = número de vasos do xilema mm^{-2} das raízes.

7.4. Discussão

Com base nos resultados obtidos, é possível inferir que embora não haja diferenças significativas na altura das plantas enxertadas em diferentes porta-enxertos, há uma tendência de que as plantas autoenraizadas e enxertadas em *P. cerasifera* atinjam estaturas maiores quando comparadas com plantas enxertadas em *P. persica* cv. Okinawa. Isso sugere que a espécie pode afetar o crescimento e desenvolvimento da planta enxertada. No entanto, quando se trata de vigor das plantas, os resultados indicam maior eficiência nas plantas com uso de porta-enxertos. Esses dados corroboram com estudos anteriores realizados por Gainza et al. (2015) e Lovatto (2019), que identificaram a influência do vigor da copa em função do porta-enxerto. Esses estudos sugerem que o uso de porta-enxertos adequados pode melhorar o vigor da copa e, conseqüentemente, a produtividade das plantas enxertadas, embora não se tenha avaliado produção de frutos, devido à idade das plantas.

Os resultados dessa análise sugerem que o uso de *P. cerasifera* (Myrobalan 29C) pode ser uma opção viável para produtores que buscam plantas mais vigorosas, mas é necessário considerar também outras características do porta-enxerto, como resistência a doenças, adaptação ao solo e clima da região, entre outros fatores que podem influenciar na qualidade de plantas, bem como a perda de condutividade hidráulica.

7.5. Perda de condutividade hidráulica

As análises PCH indicaram melhores resultados nas plantas autoenraizadas que apresentaram os menores valores de PCH comparado as plantas enxertadas. De acordo com o estudo, a eficiência das plantas autoenraizadas foi significativamente superior em comparação às plantas enxertadas, com uma diferença de 34,43%. Por outro lado, ao analisar as plantas enxertadas em ameixeiras, a diferença de eficiência foi menor, com 29,9%.

Isso pode ser explicado pelas diferenças na expressão gênica relacionadas ao metabolismo secundário, à parede celular e às respostas hormonais durante a formação da união do enxerto, conforme descrito por Moreno et al. (2014). Esse processo pode levar ao acúmulo de lignina, celulose e calose nas células do calo no local de união das plantas enxertadas, gerando um tecido cicatricial que obstrui parte

dos vasos condutores e contribui para a perda de condutividade hidráulica nas plantas enxertadas. Essa obstrução é causada pela descontinuidade da coluna de água nos vasos do xilema, que provoca anomalias histológicas e vasculares, afetando negativamente a condução de água e nutrientes nas plantas enxertadas (ZARROUK et al., 2010).

Durante o período analisado, os fatores climáticos exerceram forte influência na redução da PCH das plantas devido à sua estreita relação com a atividade estomática. Esta atividade regula a transpiração, que é fundamental para a absorção de nutrientes, e controla a entrada de CO₂ nas folhas. Considerando que esse estudo não avaliou diretamente a atividade dos estômatos, entende-se que as condições de temperatura e disponibilidade hídrica foram favoráveis à atividade estomática, sendo possível inferir que esses fatores contribuíram para a baixa PCH observada. No entanto, de acordo com Flexas e Medrano (2002), outros fatores ambientais, como a disponibilidade de água, também podem limitar a transpiração. Embora não tenha havido falta de água no período analisado, outros fatores relacionados à disponibilidade de água, como a qualidade do solo e o sistema radicular das plantas, podem ter influenciado a transpiração e, conseqüentemente, contribuído para a baixa PCH observada.

7.6. Análises histológicas

Observou-se que o porta-enxerto 'Okinawa' apresentou diâmetros de vasos do xilema das raízes 30% maiores do que os vasos das ameixeiras autoenraizadas. Uma das conseqüências dessas diferenças nos diâmetros dos vasos do xilema é que plantas com vasos maiores têm maior capacidade de transporte de nutrientes e água para o dossel, desde que esses recursos estejam disponíveis, como apontado por Hacke et al. (2017). Embora os vasos de menor diâmetro ofereçam menor resistência à embolia ou cavitação, sua presença pode reduzir a condutividade hidráulica do xilema (GLEASON et al., 2016). Entretanto, maior diâmetro pode aumentar a probabilidade de ocorrer esse fenômeno, tornando o genótipo mais suscetível a cavitações. Apesar da maior eficiência na condução de água, a formação de bolhas no xilema pode prejudicar o desenvolvimento da planta e, em casos extremos, levar à morte da planta.

Além dos diâmetros, a densidade de vasos do xilema das raízes (número de vasos do xilema por mm²) pode influenciar na condutividade hidráulica. Entretanto, os

dados obtidos não apresentaram diferenças significativas entre os genótipos estudados, exceto pelo genótipo 'Reubennel' que apresentou uma redução de 20% na densidade de vasos em comparação aos demais. Essa variação nos diâmetros dos vasos do xilema pode ser explicada pelo modelo arquitetônico da ameixeira autoenraizada, conforme evidenciado pelas distribuições de frequências apresentadas na Figura 19B. Observa-se que a cultivar apresentou cerca de 60% dos vasos na classe de 60 - 90 μm .

As cultivares 'Myrobalan 29C' e 'Okinawa' apresentaram frequências de diâmetros semelhantes. No entanto, a presença de vasos condutores com diâmetro superior a 90 μm contribuiu para justificar as médias observadas na Figura 18B. Pode-se notar que a condutividade hidráulica diária foi mais eficiente em 'Reubennel' enxertada sobre 'Okinawa' (Figura 18C).

A condutividade hidráulica é uma medida da capacidade de uma estrutura em transportar água. No caso do xilema, que é o tecido responsável pelo transporte de água e nutrientes nas plantas, a condutividade hidráulica por área de seção transversal pode ser usada como um indicador da eficiência desse transporte (MCCULLOH et al., 2010; HACKE et al., 2017). Portanto, a condutividade hidráulica por área de seção transversal do xilema pode ser usada como referência para a eficiência do transporte de água nas plantas, já que um xilema mais condutivo permitiria uma taxa de fluxo de água mais rápida e eficiente (TYREE et al., 1994). Os dados obtidos nesse estudo corroboram com os autores citados.

Embora ocupem áreas de aproximadamente 1% de milímetro quadrado, os vasos condutores das raízes encontrados nesse estudo são essenciais para o funcionamento adequado das plantas. De acordo com Poorter et al. (2010), os tecidos lenhosos ou vasos condutores podem ocupar de 3 a 23% de uma área transversal, o que destaca sua notável eficiência na condução de água e nutrientes através das plantas. No entanto, é importante salientar que o restante da área é composto por diferentes tecidos como células e raios parenquimáticos, que desempenham papéis igualmente importantes na função das plantas. Neste estudo, a área de amostragem foi padronizada, o que permitiu uma avaliação mais precisa da proporção dos tecidos condutores e corroborou com os dados previamente reportados por outros autores.

Assim como nas raízes, os ramos revelaram informações interessantes sobre a arquitetura hidráulica do xilema, incluindo o modo como ocorre o ajuste para manter a condutividade hidráulica de forma eficiente. Esse processo de ajuste, conhecido

como compensação, é essencial para garantir que a planta possa suprir suas necessidades de água e nutrientes em diferentes partes das plantas.

Com base nos resultados obtidos, as plantas autoenraizadas apresentaram diâmetros médios de vasos 20% maiores em comparação aos demais genótipos (conforme ilustrado na Figura 18A). No entanto, apesar de terem diâmetros maiores, a densidade de vasos do xilema nos ramos foi, em média, 52% menor que a encontrada com plantas enxertadas em 'Okinawa' e 36% com o porta-enxerto 'Myrobalan 29C'.

A análise dos diâmetros dos vasos do xilema nos ramos, observados na Figura 19A, indica que o uso do porta-enxerto 'Okinawa' resultou em um aumento de aproximadamente 60% no número de vasos com até 45 μm na ameixeira 'Reubennel', em comparação com as plantas autoenraizadas. No entanto, nas plantas autoenraizadas de 'Reubennel', observou-se um aumento de 85% no número de vasos com diâmetro acima de 60 μm em comparação com as plantas enxertadas.

De acordo com Gleason et al. (2016), os diâmetros e o número de vasos das plantas podem variar consideravelmente para atender as demandas hidráulicas dentro da planta. Isso foi observado em plantas autoenraizadas, onde essas características apresentaram médias inversamente proporcionais. No entanto, ao analisar as plantas enxertadas, não foram observadas diferenças na condutância hidráulica teórica.

As características observadas auxiliam no avanço da compreensão das particularidades do sistema vascular das plantas, já que o diâmetro dos vasos influencia diretamente na resistência ao fluxo de água e nutrientes através dos tecidos vegetais. Além disso, as diferenças observadas nos diâmetros dos vasos podem ser explicadas por fenômenos físicos, como já citado anteriormente com a Lei de Poiseuille. Portanto, compreender as variações e disposições dos xilemas é essencial para compreensão sobre o funcionamento do sistema vascular das plantas.

7.7. Correlações

A rede de correlações foi constituída com base nas características encontradas nos vasos dos xilemas dos ramos e das raízes com o intuito de correlacionar essas informações com a perda de condutividade hidráulica e com o vigor médio da ameixeira 'Reubennel'. Dentre as informações mais relevantes, evidenciou-se as correlações negativas com a interação entre a PCH com os diâmetros e densidades de vasos do xilema de ramos. Resultados similares foram observados por Poorter et

al. (2010), onde foi analisado o desempenho de espécies tropicais baseando-se nas características dos vasos do xilema e densidade da madeira.

A eficiência no transporte de água, com baixos índices de PCH, é fundamental para garantir uma boa condutância estomática, o que, por sua vez, afeta diretamente as taxas fotossintéticas e o crescimento das plantas, sendo representados nesse estudo como DT. Conforme mencionado por Mencuccini et al. (2019), isso ocorre devido ao acúmulo de carbono fotossintético advindo da plena atividade estomática.

Foi observado que os diâmetros dos vasos do xilema apresentaram correlação negativa perfeita (-1,00), como pode ser visto na Figura 20. Isso significa que os diâmetros dos vasos diminuíram à medida que as áreas dos vasos do xilema também diminuíram. De acordo com Hacke et al. (2017), a redução dos diâmetros dos vasos é um importante aspecto da anatomia das plantas e afeta diretamente a eficiência do transporte de água e nutrientes através do xilema. Em condições de crescimento variáveis, como mudanças na disponibilidade de água, nutrientes e temperatura, as plantas são capazes de ajustar o tamanho dos vasos para otimizar o transporte de água, garantindo tanto a segurança quanto a eficiência do processo.

Correlações semelhantes foram observadas por Zach et al. (2010), onde a densidade média dos vasos do tronco e dos ramos diminui com o aumento da altura da planta, enquanto o diâmetro do vaso do caule aumenta com a altura. Essas correlações sugerem que as plantas mais altas tendem a ter uma maior eficiência no transporte de água e nutrientes, o que pode estar relacionado à necessidade de suprir uma maior demanda de recursos para sustentar o crescimento e manutenção da copa. Porém, a diminuição da densidade média dos vasos do tronco e dos ramos pode ser uma adaptação para reduzir a resistência ao fluxo de água e, assim, manter a eficiência do transporte mesmo em condições de maior gravidade e menor pressão atmosférica nas partes mais altas da planta. No entanto, é importante lembrar que essas correlações podem variar entre as espécies de plantas e em diferentes ambientes, e devem ser interpretadas com cautela.

Nesse estudo, as correlações que envolviam a LXS não obtiveram expressões significativas, de tal forma que na rede de correlações, a variável ficou isolada das demais. Apesar disso, cabe ressaltar, no caso do porta-enxerto de pessegueiro, que possivelmente o número de vasos do xilema tenha sido aumentado para que houvesse uma compensação na demanda hídrica no interior das plantas, visto que, o genótipo obteve as menores médias de LXS.

O presente estudo não avaliou o tamanho da área de ocupação da zona da medula, contudo, ao comparar a LXS entende-se que a área tenha sido maior nas plantas enxertadas em 'Okinawa' pois, o diâmetro de ramos utilizados nas análises foi de aproximadamente 5 mm. Para Hinckley et al. (2011), alterações na arquitetura do xilema frequentemente decorrem de compensações entre sua estrutura e função, que podem ser influenciadas por restrições ou oportunidades no ambiente e pela necessidade de equilibrar segurança e eficiência hidráulica.

7.8. Conclusões

Nas condições que o experimento foi conduzido e com o material vegetal utilizado, concluiu-se que:

- Plantas autoenraizadas de 'Reubennel' e enxertadas sobre *P. cerasifera* são mais vigorosas em comparação àquelas enxertadas em *P. persica*;

- Plantas autoenraizadas de 'Reubennel' apresentaram menor perda percentual de condutividade hidráulica (PCH) em comparação com as plantas enxertadas;

- 'Okinawa' apresenta maior diâmetro de vasos do xilema nas raízes, o que contribui para maior condutividade hidráulica, permitindo um transporte mais eficiente de água e nutrientes para o dossel das plantas, sob condições normais de disponibilidade de água;

- No geral, avaliar a condutividade hidráulica pelas características de diâmetro e densidade de vasos do xilema, a partir de análises de cortes transversais de ramos e raízes, pode ser usada como parâmetro para calcular a eficiência do transporte de água nas plantas.

8. Considerações finais

Os porta-enxertos, podem influenciar nos diâmetros e densidades de vasos dos xilemas de novas estruturas nas cultivares enxertadas, em função da própria característica genética e em função da disponibilidade hídrica.

Pessegueiros 'BRS Rubimel' enxertados em 'Capdeboscq', 'Flordaguard' e 'Okinawa Roxo' mostraram boa adaptabilidade às condições climáticas e a disponibilidade hídrica da região de Pelotas-RS.

As características analisadas dos vasos do xilema das raízes tendem a impactar na condutividade hidráulica e no desenvolvimento das cultivares copa.

A enxertia reduz a capacidade de transporte eficiente de água e nutrientes das raízes para o dossel da cultivar de ameixeira 'Reubennel'.

Referências

- ABREU E. S., CARRA B., DINI M., SILVA T. A., SIMÕES F., PASA M. S., BRIGHENTI A. F., CHAVES A. L. S., MELLO-FARIAS P. C., HERTER F. G. Native embolism in 'Rocha' pear under different Rootstocks and their relationship with plant vigor. **Acta Horticulturae**, v. 1303, p. 221–226, 2021. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1303.32>
- AYUP, M., CHEN, Y. N., NYONGESAH, M. J., ZHANG, Y. M., RAJPUT, V. D., ZHU, C. G. Xylem anatomy and hydraulic traits of two co-occurring riparian desert plants. **Iawa Journal**, v. 36, n. 1, p. 69-83, 2015. <https://doi.org/10.1163/22941932-00000086>.
- BARBOSA, W., TOMBOLATO, A. F. C., DALL'ORTO, F. A., OJIMA, M., RIGITANO, O., MARTINS, F. P. Conservação de sementes de pêsegos para produção de porta-enxertos [*Prunus persica*], 1986.
- BARIGAH, T.S., GYENGE, J.E., BARRETO, F., ROZENBERG, P., FERNÁNDEZ, M.E. Narrow vessels cavitate first during a simulated drought in *Eucalyptus camaldulensis*. **Physiologia Plantarum**, v. 173, n. 4, p. 2081–2090, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13556>.
- BASILE, B., MARSAL, J., DEJONG, T.M., Daily shoot extension growth of peach trees growing on rootstocks that reduce scion growth is related to daily dynamics of stem water potential. **Tree Physiology**, v. 23, p. 695–704, 2003. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.10.695>
- BAUERLE, T. L., CENTINARI, M., BAUERLE, W. L. Shifts in xylem vessel diameter and embolisms in grafted apple trees of differing rootstock growth potential in response to drought. **Planta**, v. 234, p. 1045-1054, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00425-011-1460-6>.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.
- BOLAT, I.; DIKILITAS, M.; IKINCI, A.; ERCISLI, S.; TONKAZ, T.; Morphological, physiological, biochemical characteristics and bud success responses of Myrabolan 29C plum rootstock subjected to water stress. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96, n. 3, p. 485-493, 2016. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0260>.
- BOLTE, A., CZAJKOWSKI, T., COCOZZA, C., TOGNETTI, R., DE MIGUEL, M., PŠIDOVÁ, E., DITMAROVÁ, L., DINCA, L., DELZON, S., COCHARD, H., RÆBILD, A., DE LUIS, M., CVJETKOVIC, B., HEIRI, C., MÜLLER, J. Desiccation and mortality dynamics in seedlings of different European beech (*Fagus sylvatica* L.) populations under extreme drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1–12, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00751>.
- BUENO, M. P.; SILVA, A. C.; NUNES, A. L. DE P. F.; SARDINHA, A. C.; LIMA, P. T. DOS S.; SILVA, J. F. Análise da comercialização da cadeia produtiva da maçã brasileira: produção, importação e exportação no período 2015 a 2019/ Analysis of the commercialization of the brazilian apple production chain: production, import and export in the year 2015 to 2019. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 34061–34078, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-048>.

- CABALLERO, C. B.; OGASSAWARA, J. F.; DORNELES, V. R.; NUNES, A. B. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n.4, p. 1429-1441, 2018. <https://doi.org/10.1111/ppl.13556>.
- CABALLERO, C. B.; OGASSAWARA, J. F.; DORNELES, V. R.; NUNES, A. B. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n.4, p. 1429-1441, 2018.
- CANTÍN, C. M., PINOCHET, J., GOGORCENA, Y., MORENO, M. Á. Growth, yield and fruit quality of 'Van' and 'Stark Hardy Giant' sweet cherry cultivars as influenced by grafting on different rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 3, p. 329-335, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.016>.
- CARNEIRO, R. M., CAMPOS, A. D., Pereira, J. F. M., DO CARMO B RASEIRA, M. CARNEIRO, Avaliação de porta-enxertos de *Prunus* quanto à suscetibilidade ao nematoide anelado e ao conteúdo de enzimas fenol oxidases. **Nematologia brasileira**, v. 22, n. 1, p. 32-38, 1998.
- CARRER M, VON ARX G, CASTAGNERI D, PETIT G. Distilling allometric and environmental information from time series of conduit size: the standardization issue and its relationship to tree hydraulic architecture. **Tree Physiology**, v. 35, n. 1, p. 27-33, 2015. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu108>.
- CASTRO, L. A. S.; NAKASU, B. H.; PEREIRA, J. F. M. Ameixeira: Histórico e Perspectivas de Cultivo. **Circular Técnica 70**. Embrapa Clima Temperado; Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, 2008.
- CAVALCANTE, A. C. R., CAVALLINI M. C., LIMAR, N.R.C.B. Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. **Documentos/Embrapa Caprinos**, Sobral - CE. p. 50. 2009.
- CENTENO, L. N., GUEVARA, M. D. F., CECCONELLO, S. T., DE SOUSA, R. O., TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017. <https://doi.org/10.15210/RBES.V4I1.11576>.
- DONATO, S. L. R., PEREIRA, C. S., BARROS, Z. D. J., SIQUEIRA, D. L. D., & SALOMÃO, L. C. C. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, p. 1507-1510, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000020>.
- CHEN, J. W., ZHANG, Q., LI, X. S., CAO, K. F. Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. **Tree Physiology**, v. 30, n. 7, p. 876-88, 2010. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq043>.
- CHEN, S., YI, L., KORPELAINEN, H., YU, F., LIU, M. Roots play a key role in drought-tolerance of poplars as suggested by reciprocal grafting between male and female clones. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 153, p. 81-91, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.014>.
- CHOAT, B., JANSEN, S., BRODRIBB, TJ, COCHARD, H., DELZON, S., BHASKAR, R., BUCCI, SJ, FEILD, TS, GLEASON, SM, HACKE, UG, Global convergence in the

vulnerability of forests to drought. **Nature**, v. 491, p. 752–755, 2012. <https://doi.org/10.1038/nature11688>.

COCHARD, H., DELZON, S., BADEL, E. X-ray microtomography (micro-CT): a reference technology for high-resolution quantification of xylem embolism in trees. **Plant, Cell Environment**, v. 38, n. 1, p. 201-206, 2015. <https://doi.org/10.1111/pce.12391>.

COMIOTTO, A., FACHINELLO, J. C., HOFFMANN, A., GALARÇA, S. P., MACHADO, N. P., PREZOTTO, M. E., HASS, L. B. Desenvolvimento, produção e qualidade dos frutos de pessegueiros enxertados sobre diferentes porta-enxertos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 1, n. 34, p. 3553-3562, 2013.

COMIOTTO, A.; FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; MACHADO, N.P.; GALARÇA, S.P.; BETEMPS, D.L. Vigour, flowering, yield and quality of 'Chimarita' and 'Maciel' for different rootstocks. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 788-794, 2012.

DAVIS, S. D.; SPERRY, J. S.; HACKE, U. G. The relationship between xylem conduit diameter and cavitation caused by freezing. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 10, p. 1367–1372, 1999. <https://doi.org/10.2307/2656919>.

DE AGUIAR JÚNIOR, L. V., CANUL, K. G. R., SCHIAVON, A. V., DA FONSECA, F. L., FERNANDO, J. A., FARIAS, P. C. M., BIANCHI, V. J. Características dos vasos do xilema e perda de condutividade hidráulica de quatro porta-enxertos de pessegueiros. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 7, p. 7087-7102, 2023. <https://doi.org/10.55905/oelv21n7-068>.

DÓRIA, L. C., PODADERA, D. S., BATALHA, M. A., LIMA, R. S., MARCATI, C. R. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado? **Flora**, v. 224, p. 244-251, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.09.002>.

DUBEY, A.K.; SHARMA, R. M. Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.) **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 131-136, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.013>.

EMATER. **Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural**. Comunicação pessoal de Emater/RS-Ascar, 2021.

EMBRAPA: Cultivar de Pessequeiro. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Campinas: Embrapa Transferência de Tecnologia, 2010. 1; disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54902/1/folder_maria.do.carmo-rubimel-071010.pdf> acesso em 07 de outubro de 2021.

FACHINELLO, J.C.; SILVEIRA, C.A.P.; SPERANDIO, C.; RODRIGUES, A.C.; STRELOW, E.Z. Resistência de porta-enxertos para pessegueiro e ameixeira aos nematóides causadores de galhas (*Meloidogyne* spp). **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 69-72, 2000.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/es/#home>> Acesso em: 25 junho. 2023.

FINARDI, N.L. Métodos de propagação e descrição de porta-enxertos, In: MEDEIROS, C.A B.; RASEIRA, M.C.B. A cultura do pessegueiro. 1ed. Pelotas: **Embrapa-CPACT**, v. único, p.100-129, 1998.

FLEXAS, J. MEDRANO, H. Drought-inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and Non-stomatal Limitations Revisited, **Annals of Botany**, v. 89, n. 2, p. 183–189, 2002. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>.

Foundation Plant Services; *Prunus* Cultivar: Myrobalan 29C; **Prunus Encyclopedia**. Disponível em: <<https://fps.ucdavis.edu/treedetails.cfm?v=1027>>; acesso em: 14 de março de 2023.

FREIRE, C.J. DA S.; MAGNANI, M. Adubação e correção do solo. In: RASEIRA MCB et al. (Ed.). Pessegueiro. Brasília: **Embrapa**. p. 259-281, 2014.

GAINZA, F.; OPAZO, I.; GUAJARDO, V.; MEZA, P.; ORTIZ, M.; PINOCHET, J.; MUÑOZ, C. Rootstock breeding in *Prunus* species: Ongoing efforts and new challenges. **O chileno Journal Agriculture Research**, v. 75, 2015. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000300002>.

GALARÇA, S. P., FACHINELLO, J. C., BETEMPS, D. L., HOFFMANN, A., MARODIN, G. A. B., PRETTO, A.; DIAS, F. P. Crescimento e desenvolvimento de pessegueiros ‘Chimarrita’ e ‘Maciel’ sobre diferentes porta-enxertos e locais de cultivo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 219-224, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200005>.

GLEASON, S. M., WESTOBY, M., JANSEN, S., CHOAT, B., HACKE, U. G., PRATT, R. B., ZANNE, A. E. Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species. **New Phytologist**, v. 209, p. 123-136, 2016. <https://doi.org/10.1111/nph.13646>.

HACKE, U. G., SPICER, R., SCHREIBER, S. G., AND PLAVCOVÁ, L. An ecophysiological and developmental perspective on variation in vessel diameter. **Plant, Cell Environment**, v. 40, p. 831– 845, 2017. <https://doi.org/10.1111/pce.12777>.

HAIDER, M. S., KURJOGI, M. M., KHALIL-UR-REHMAN, M., PERVEZ, T., SONGTAO, J., FIAZ, M., FANG, J. Drought stress revealed physiological, biochemical and gene-expressional variations in ‘Yoshihime’ peach (*Prunus persica* L) cultivar. **Journal of Plant Interactions**, v. 13, n. 1, p. 83-90. 2018. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1432772>.

HARPER, J.K. G.M. GREENE. Impact of production risk on the selection of peach rootstocks. **Fruit Varieties Journal**, v. 52, n 1, p. 41-46. 1998.

HINCKLEY, T. M., LACHENBRUCH, B., MEINZER, F. C., DAWSON, T. E. A lifespan perspective on integrating structure and function in trees. Size-and age-related changes in tree structure and function, v. 4. p. 3-30, 2011. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_1.

HUDINA, M.; FAJT, N.; STAMPAR, F. Influence of rootstock on orchard productivity and fruit quality in peach cv. 'Redhaven'. **Journal of Horticultural Science Biotechnology**, v. 81, n. 6, p. 1064-1068, 2006. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512172>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro: Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/15/0?indicador=12029localidade1=0tipo=grafico>> Acesso em: 25 junho, 2023.

JIMENEZ, S.; DRIDI, J.; GUTIÉRREZ, D.; MORET, D.; ITIGOYEN, J.J.; MORENO, M. A.; GOGORCENA, Y. Physiological biochemical and molecular responses in four *Prunus*

rootstocks submitted to drought stress. **Tree Physiology**, v. 33, p. 1061-1075, 2013.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpt074>.

KLUMB, E. K., RICKES, L. N., BRAGA, E. J. B., BIANCHI, V. J. Evaluation of gas exchanges in different *Prunus* spp. rootstocks under drought and flooding stress. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 4, p. 1–8, 2017.
<https://doi.org/10.1590/0100-29452017899>.

KNIPFER, T., CUNEO, I. F., BRODERSEN, C. R., MCELRONE, A. J. In situ visualization of the dynamics in xylem embolism formation and removal in the absence of root pressure: a study on excised grapevine stems. **Plant Physiology**, v. 171, n. 2, p. 1024-1036, 2016.
<https://doi.org/10.1104/pp.16.00136>.

LAMY J-B, BOUFFIER L, BURLETT R, PLOMION C, COCHARD H, DELZON S Uniform Selection as a Primary Force Reducing Population Genetic Differentiation of Cavitation Resistance across a Species Range. **Plos One**. v. 6, n. 8, p. e23476, 2011.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023476>.

LORETI, F.; MORINI, S; Propagation Techniques. In: **The peach: Botany, Production and uses**. p. 221-240. 2008.

LOVATTO, M; UBERTI, A; GIRARDI, G.C; LUGARESI, A; SILVA, G.B.P; GIACOBBO, C.L. Vigor e desempenho produtivo de pessegueiro utilizando diferentes porta enxertos. Ensaios nas Ciências Agrárias e Ambientais. **Editora Atena**. v.7. p. 19-27, 2019.
<https://doi.org/10.22533/at.ed.5031927023>.

LÜBBE T, LAMARQUE LJ, DELZON S, TORRES RUIZ JM, BURLETT R, LEUSCHNER C, SCHULDT B. High variation in hydraulic efficiency but not xylem safety between roots and branches in four temperate broad-leaved tree species. **Functional Ecology**, v. 36, n. 3, p. 699-712, 2022 <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13975>.

MA, X.; MA, F.; LI, C.; MI, Y.; BAI, T.; SHU, H. Biomass accumulation, allocation, and water-use efficiency in 10 *Malus* rootstocks under two watering regimes. **Agroforestry systems**, v. 80, p. 283-294, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9306-y>.

MALO, S. E. Nature of resistance of ‘Okinawa’ and ‘Nemaguard’ peach to the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. In: Proceedings of the American Society for Horticultural Science. **American Society for Horticultural Science**. p. 39-46, 1967.

MARRA; F. P.; BIANCO, R. L.; LA MANTIA, M.; CARUSO, T. Growth, yield and fruit quality of ‘Tropic Snow’ peach on size-controlling rootstocks under dry Mediterranean climates. **Scientia Horticulturae**, v. 160, p. 274-282, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.004>.

MAYER N.A; ANTUNES L.E.C. Diagnóstico do Sistema de Produção de Mudanças de Prunóideas no Sul e Sudeste do Brasil. Pelotas, Embrapa Clima Temperado. 52p. (**Documentos**, 293), 2010.

MAYER, N. A., BIANCHI, V. J., FELDBERG, N. P., MORINI, S. Advances in peach, nectarine and plum propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v 39.p. 1–21, 2017.
<https://doi.org/10.1590/0100-29452017355>.

MAYER, N. A., PEREIRA, F. M., SANTOS, J. M. D. Resistência de clones de umezeiro e cultivares de pessegueiro a *Meloidogyne incognita* (Nemata: Heteroderidae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 335-337, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000200038>.

MAYER, N. A.; BIANCHI, V. J.; CASTRO, L. A. S.; Porta enxertos. In. Pessegueiro. Raseira, M.C.B; Pereira, J.F.M; Carvalho, L. C. (eds). Brasília, DF: **Embrapa**, p.173-225, 2014.

MAYER, N.A.; BIANCHI, V.J.; FELDBERG, N.P.; MORINI, S. ADVANCES IN PEACH, NECTARINE AND PLUM PROPAGATION. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 4, p. 355, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100>.

MAYER, NA; ANTUNES, LEC Diagnóstico do sistema de produção de mudas de Prunóides no Sul e Sudeste do Brasil. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, (Documentos, 293). 52p 2010.

MCCULLOH, K., SPERRY, J. S., LACHENBRUCH, B., MEINZER, F. C., REICH, P. B., VOELKER, S. Moving water well: comparing hydraulic efficiency in twigs and trunks of coniferous, ring-porous, and diffuse-porous saplings from temperate and tropical forests. **New Phytologist**, v. 186, n. 2, p. 439-450, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03181.x>.

MENCUCCINI, M., ROSAS, T., ROWLAND, L., CHOAT, B., CORNELISSEN, H., JANSEN, S., KRAMER, K., LAPENIS, A., MANZONI, S., NINEMETS, Ü., REICH, P.B., SCHRODT, F., SOUDZILOVSKAIA, N., WRIGHT, I.J. AND MARTÍNEZ-VILALTA, J. Leaf economics and plant hydraulics drive leaf: wood area ratios. **New Phytologist**, v. 224, p. 1544-1556, 2019. <https://doi.org/10.1111/nph.15998>.

MENEGATTI, R.; SOUZA, A. DAS G.; BIANCHI, V. J. Nutritional status of 'BRS Rubimel' peach plants in the nursery as a function of the rootstock. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, n. 1, p. e54327, <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54327>.

MENTEN, J.; LORDELLO, L.; CAMPO DALL'ORTO, F. A.; OJIMA, M.; RIGITANO, O. Resistência varietal de pessegueiro (*Prunus persica* Batsch) aos nematóides *Meloidogyne incognita* e *M. arenaria*. **Reunião De Nematologia**, v. 2, p. 165-173, 1977.

MORENO, M. A.; MOING, A.; LANSAC, M.; GAUDILLERE, J. P.; SALESSES, G. Developments at the graft interface in homo- and hetero-graft. **Plant Signaling & Behavior**, v. 9, n. 6, p. 2997-3008, 2014. <https://doi.org/10.4161/psb.28852>.

MORRIS, H., GILLINGHAM, M. A., PLAVCOVA, L., GLEASON, S. M., OLSON, M. E., COOMES, D. A., Jansen, S. Vessel diameter is related to amount and spatial arrangement of axial parenchyma in woody angiosperms. **Plant, Cell & Environment**, v. 41, n. 1, p. 245-260, 2018. <https://doi.org/10.1111/pce.13091>.

MORRIS, H., PLAVCOVÁ, L., CVECKO, P., FICHTLER, E., GILLINGHAM, M. A., MARTÍNEZ-CABRERA, H. I., JANSEN, S. A global analysis of parenchyma tissue fractions in secondary xylem of seed plants. **New Phytologist**, v. 209, n. 4, p. 1553-1565, 2016. <https://doi.org/10.1111/nph.13737>.

- NAVA, G., REISSER JUNIOR, C., FLORES CANTILLANO, R. F., PEREIRA, J., & NACHTIGALL, G. (2015). Rendimento e qualidade de pêssegos em resposta à adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2015.
- NEDEL, M. V. C. A produção de compotas de pêssego em Pelotas-RS: uma análise estratégica da agroindústria Crochemore. Pelotas, 2016. 130 f. **Dissertação** (Mestrado em Agroindústria) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento territorial e sistemas agroindustriais, Faculdade de Administração e Turismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.
- NICOLAO, G., LACKMAN, K. P., MAYER, N. A., BIANCHI, V. J. Propagação vegetativa de porta-enxertos e enxertia da ameixeira ‘Irati’ em estacas herbáceas recém-enraizadas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, p. 4, p. 456-467, 2022. <https://doi.org/10.5965/223811712142022456>.
- OGASA, M., MIKI, NH, MURAKAMI, Y., E YOSHIKAWA, K. Recovery performance in xylem hydraulic conductivity is correlated with cavitation resistance for temperate deciduous tree species, **Tree Physiology**, v. 33, n. 4, p.335–344, 2013 <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt010>.
- OKIE, W. R. Handbook of peach and nectarine varieties. Performance in the Southeastern United States and index of names. **Agriculture Handbook** (Washington), n. 714, 1998.
- OKIE, W. R. Plum rootstocks. In: R.C. Rom and R.F. Carlson (eds.). **Rootstocks for fruit crops**. Wiley, New York p. 321-360, 1987.
- OLMSTEAD, M. A., LANG, N. S., EWERS, F. W., OWENS, S. A. Xylem vessel anatomy of sweet cherries grafted onto dwarfing and nondwarfing rootstocks. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 5, p. 577-585, 2006. <https://doi.org/10.21273/JASHS.131.5.577>.
- ORAZEM, P.; STAMPAR, F.; HUDINA, M. Quality analysis of ‘Redhaven’ peach fruit grafted on 11 rootstocks of different genetic origin in a replant soil. **Food Chemistry**, v. 124, n. 4, p. 1691-1698, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.078>
- PEGORARO, C., MACIEJEWSKI, P., MANICA-BERTO, R., PEGORARO, C., OLIVEIRA, F. M., & SILVA, J. A. Percepção dos produtores à aplicação de agrotóxicos na produção de pêssego in natura na metade sul do RS. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 899-908, 2016.
- PICOLOTTO, L.; MANICA-BERTO, R.; PAZIN, D.; PASA, M. S.; SCHMITZ, J. D.; PREZOTTO, M. E.; BETEMPS, D.; BIANCHI, V. J.; FACHINELLO, J. C. Características vegetativas, fenológicas e produtivas do pessegueiro cultivar Chimarrita enxertado em diferentes porta-enxertos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 583-589, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600006>.
- POORTER, L., MCDONALD, I., ALARCÓN, A., FICHTLER, E., LICONA, J. C., PEÑA-CLAROS, M., SASS-KLAASSEN, U. POORTER, The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New Phytologist**, v. 185, n. 2, p. 481-492, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03092.x>.

- RASEIRA, M. C. B.; NAKASU, B. H. Cultivares: descrição e recomendação. In: MEDEIROS, C. A. B.; RASEIRA, M. C. B. A cultura do pessegueiro. **EMBRAPA**, p. 29-99, 1998.
- RASEIRA, M. C. B. Pêssego cultivar Brs libra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 961-1296, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010000400001>.
- ROSA, G. G. D., ZANANDREA, I., MAYER, N. A., BIANCHI, V. J. Propagação de porta-enxerto de *Prunus* spp. por estaquia: efeito do genótipo, do estágio de desenvolvimento do ramo e tipo de estaca. **Revista Ceres**, v. 64, p. 90-97, 2017 <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764010013>.
- SACHS, S.; CAMPOS, A. D. O. Pessegueiro. In: Medeiros, C.A B.; Raseira, M. Do C. B. (ed.). A Cultura do Pessegueiro. Pelotas. **EMBRAPA/CPACT**. p. 13-19. 1998.
- SCHERB, C. T.; CAMPOS, V. P.; CHALFUN, NNJ. Penetração e reprodução de *Meloidogyne incognita* em pessegueiro das variedades Okinawa e R-15-2. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 16, n. 1, p. 134-138, 1994.
- SCHIMITZ, J. D., BIANCHI, V. J., PASA, M.S., KULKAMP, A.L., FACHINELLO, J. C., Vigor e produtividade do pessegueiro ‘Chimarrita’ sobre diferentes porta-enxertos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 1, 2012.
- SCHREIBER, S. G.; HACKE, U. G.; HAMANN, A. Variation of xylem vessel diameters across a climate gradient: insight from a reciprocal transplant experiment with a widespread boreal tree. **Functional Ecology**, v. 29, n. 11, p. 1392-1401, 2015. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12455>.
- SECCHI, F., ZWIENIECKI, M. A. Accumulation of sugars in the xylem apoplast observed under water stress conditions is controlled by xylem pH. **Plant, Cell and Environment**, v. 39, n. 11, p. 2350-2360, 2016. <https://doi.org/10.1111/pce.12767>.
- SEVERO, P.S. Os pêssegos não caem do céu: relações de trabalho na agricultura familiar no município de Pelotas/RS. **Tese** (Doutorado em Agronomia). Pelotas: UFPEL. 148 p. 2017.
- SEVERO, C. R. S. Caracterização dos solos do centro agropecuário da Palma, UFPEL, Município de Capão do Leão – RS. 1999. 97f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 1999.
- SHERMAN, W. B.; LYRENE, Paul Magnus; SHARPE, R. H. Flordaguard peach rootstock. **HortScience**, v. 26, n. 4, p. 427-428, 1991. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.2.355>.
- SHTAIN, I., MEIR, S., RIOV, J., PHILOSOPH-HADAS, S. Interconnection of seasonal temperature, vascular traits, leaf anatomy and hydraulic performance in cut Dodonaea ‘Dana’ branches. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, n. 2-3, p. 184-192, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.03.004>.
- SIMONETTO, P. R.; FIORAVANÇO, J. C.; RASEIRA, M.; GRELLMANN, E. **Fenologia e características agrônômicas de cultivares de ameixeira (*Prunus salicina* lindl.) Recomendadas para a Região Serrana do RS**. Porto Alegre: Fepagro; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. – Circular Técnica 26, 22p.

- SPERRY, J. S.; HACKE, U. G. Analysis of circular bordered pit function I. Angiosperm vessels with homogenous pit membranes. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 3, p. 369–385, 2004. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.3.369>.
- TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., Murphy, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. - 6ª ed. – Porto Alegre : Artmed, 2017.
- TOMBESI, S., ALMEHDI, A., DEJONG, T. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 353-357, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.11.007>.
- TOMBESI, S., JOHNSON, R. S., DAY, K. R., DEJONG, T. M. Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. **Annals of Botany**, v. 105, n. 2, p. 327-331, 2010. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp281>
- TORRES-RUIZ, J. M., COCHARD, H., MAYR, S., BEIKIRCHER, B., DIAZ-ESPEJO, A., RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M. FERNÁNDEZ, J. E. Vulnerability to cavitation in *Olea europaea* current-year shoots: further evidence of an open-vessel artifact associated with centrifuge and air-injection techniques. **Physiologia Plantarum**, v. 125, p. 465-474, 2014. <https://doi.org/10.1111/ppl.12185>.
- TWORKOSKI, T., FAZIO, G, GLENN, D. M. Apple rootstock resistance to drought. **Scientia Horticulturae**, v. 204, p. 70-78, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.047>.
- TYREE, M. T., DAVIS, S. D., COCHARD, H. Biophysical perspectives of xylem evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction? **IAWA Journal**, v. 15, n. 4, p. 335-360, 1994. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001369>.
- TYREE, M. T., EWERS, F. W. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. **New Phytologist**, v. 119, n. 3, p. 345-360. 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb00035.x>.
- URLI, M., PORTÉ, A. J., COCHARD, H., GUENGANT, Y., BURLETT, R., DELZON, S. Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. **Tree Physiology**, v. 33, p. 7, p. 672-683. 2013. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt030>.
- WASON, J., BOUDA, M., LEE, E. F., MCELDRONE, A. J., PHILLIPS, R. J., SHACKEL, K. A. BRODERSEN, C Xylem network connectivity and embolism spread in grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Plant Physiology**, v. 186, n. 1, p. 373–387, 2021. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab045>.
- WHEELER, J. K., SPERRY, J. S., HACKE, U. G., HOANG, N. Inter-vessel pitting and cavitation in woody Rosaceae and other vesselled plants: a basis for a safety versus efficiency trade-off in xylem transport. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, n. 6, p. 800-812, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01330.x>.
- ZARROUK, O.; TESTILLANO, P. S.; RISUEÑO, M. C.; MORENO, M. Á.; GOGORCENA, Y. Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 135, n. 1, p. 9-17, 2010. <https://doi.org/10.21273/JASHS.135.1.9>.

ZHANG, Y., DING, C., LIU, Y., LI, S., LI, X., XI, B., DUAN, J. Xylem anatomical and hydraulic traits vary within crown but not respond to water and nitrogen addition in *Populus tomentosa*. **Agricultural Water Management**, v. 278, p. 108169, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108169>.

ZUCUNI, L. P; ARENHARDT, M H; Fisiologia vegetal - Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, **Rede e-Tecnologia do Brasil**, 2015.

Anexo

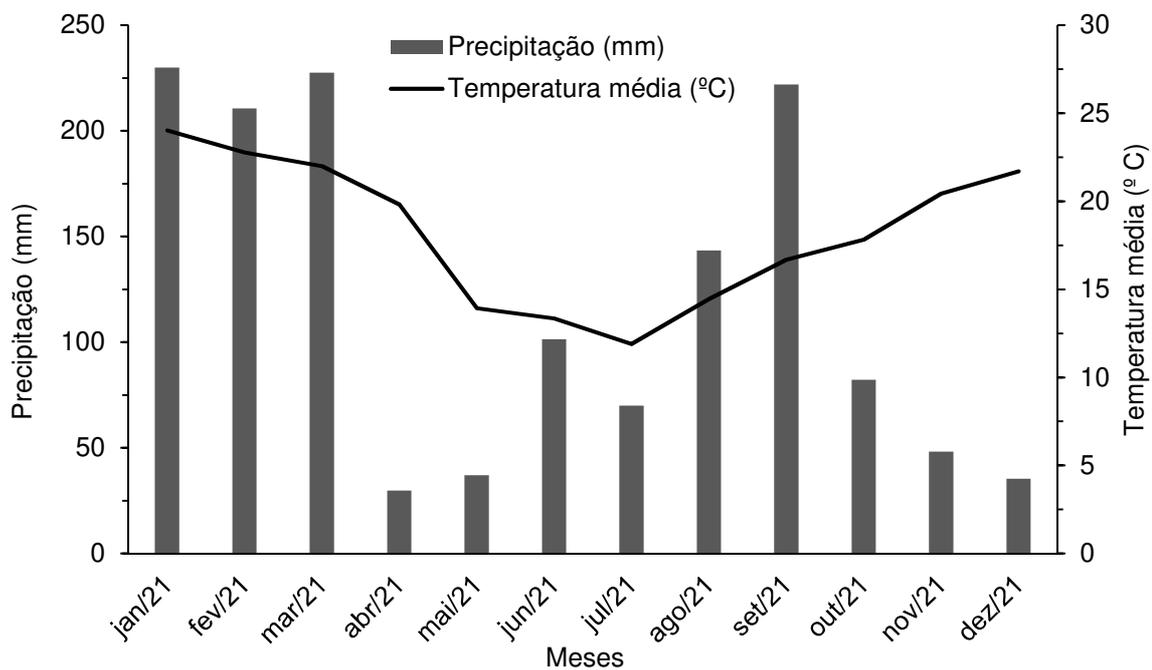


Figura 18 - Médias climáticas registradas mensalmente no ano de 2021, obtidas da estação meteorológica do Campus do UFPel – Capão do Leão - RS

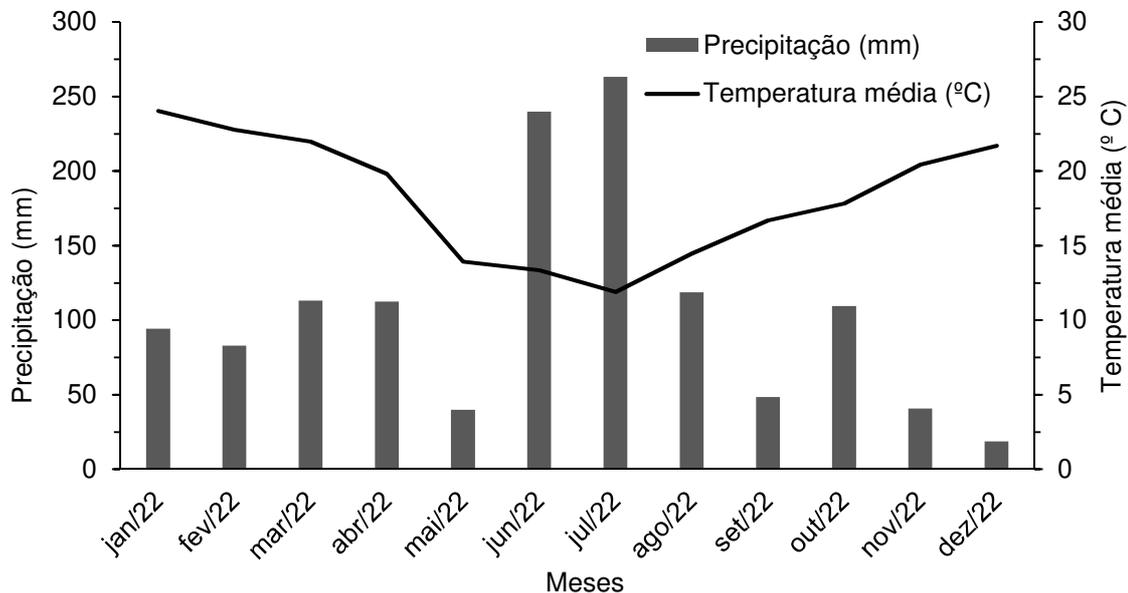


Figura 19 – Médias climáticas registradas mensalmente no ano de 2022, obtidas da estação meteorológica do Campus do UFPel – Capão do Leão – RS

Apêndice

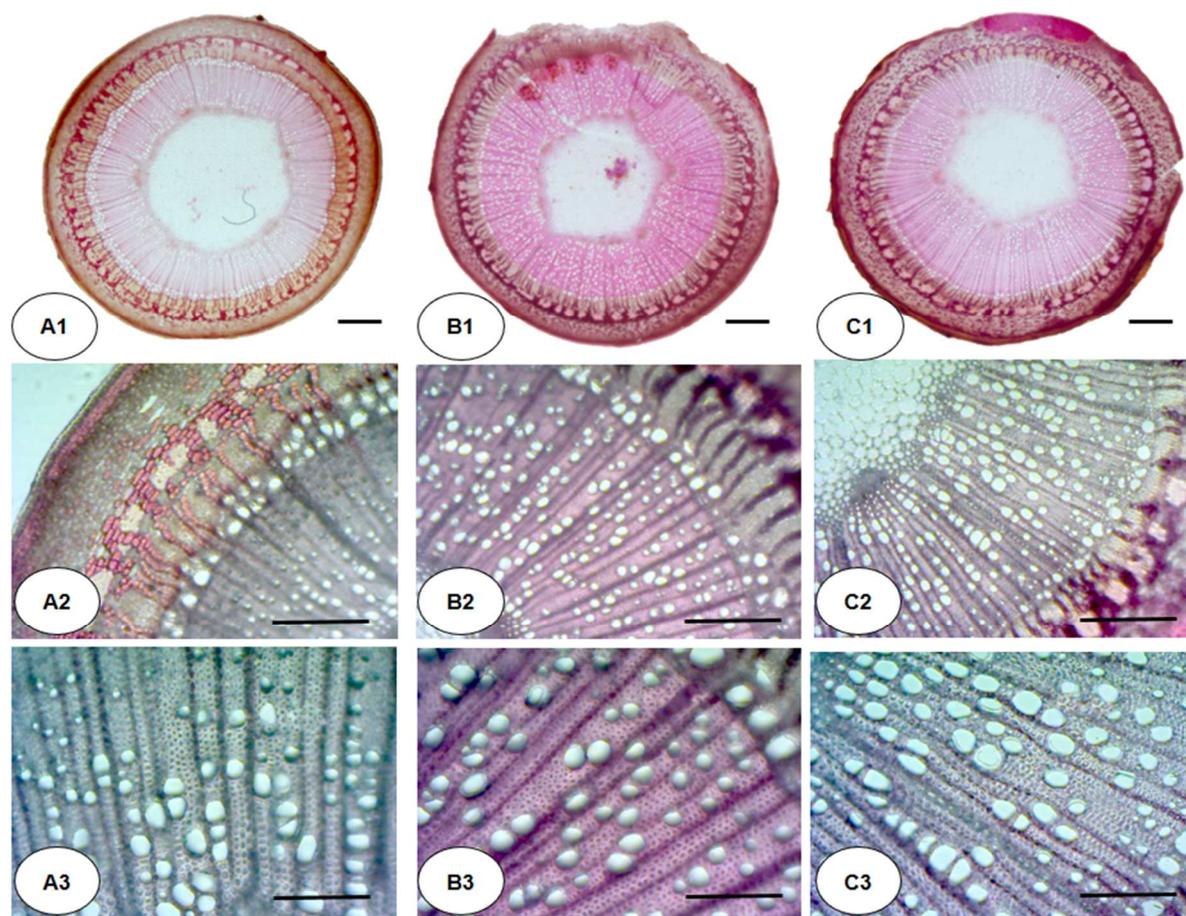


Figura 20 - Seções transversais de segmentos de ramos de pessegueiro 'BRS Rubimel' enxertados em diferentes cultivares de *Prunus*. As imagens 'A' correspondem a ramos enxertados em 'Capdeboscq', as imagens 'B' apresentam ramos enxertados em 'Flordaguard' e as imagens 'C' mostram ramos enxertados em 'Okinawa Roxo'. As imagens "1" (barra de escala = 500 μm), "2" (barra de escala = 100 μm), e "3" (barra de escala = 100 μm), representam os diferentes aumentos ópticos utilizados para a visualização dos cortes transversais: 10x, 40x e 100x.

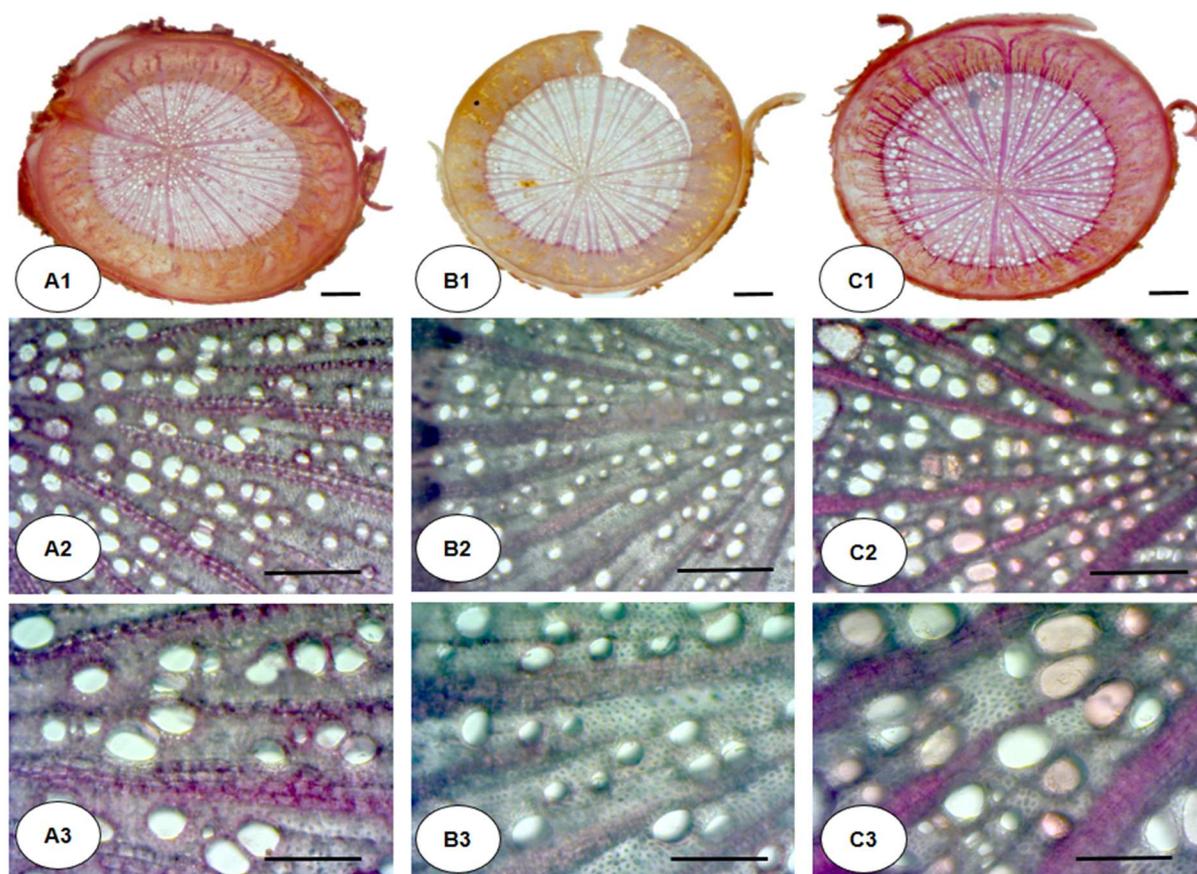


Figura 21 - Seções transversais de segmentos de raízes de diferentes cultivares de *Prunus*. As imagens 'A' mostram raízes de 'Capdeboscq', as imagens 'B' apresentam raízes de 'Flordaguard' e as imagens 'C' mostram raízes de 'Okinawa Roxo'. As imagens "1" (barra de escala = 500 μm), "2" (barra de escala = 100 μm), e "3" (barra de escala = 100 μm), representam os diferentes aumentos ópticos utilizados para a visualização dos cortes transversais: 10x, 40x e 100x.

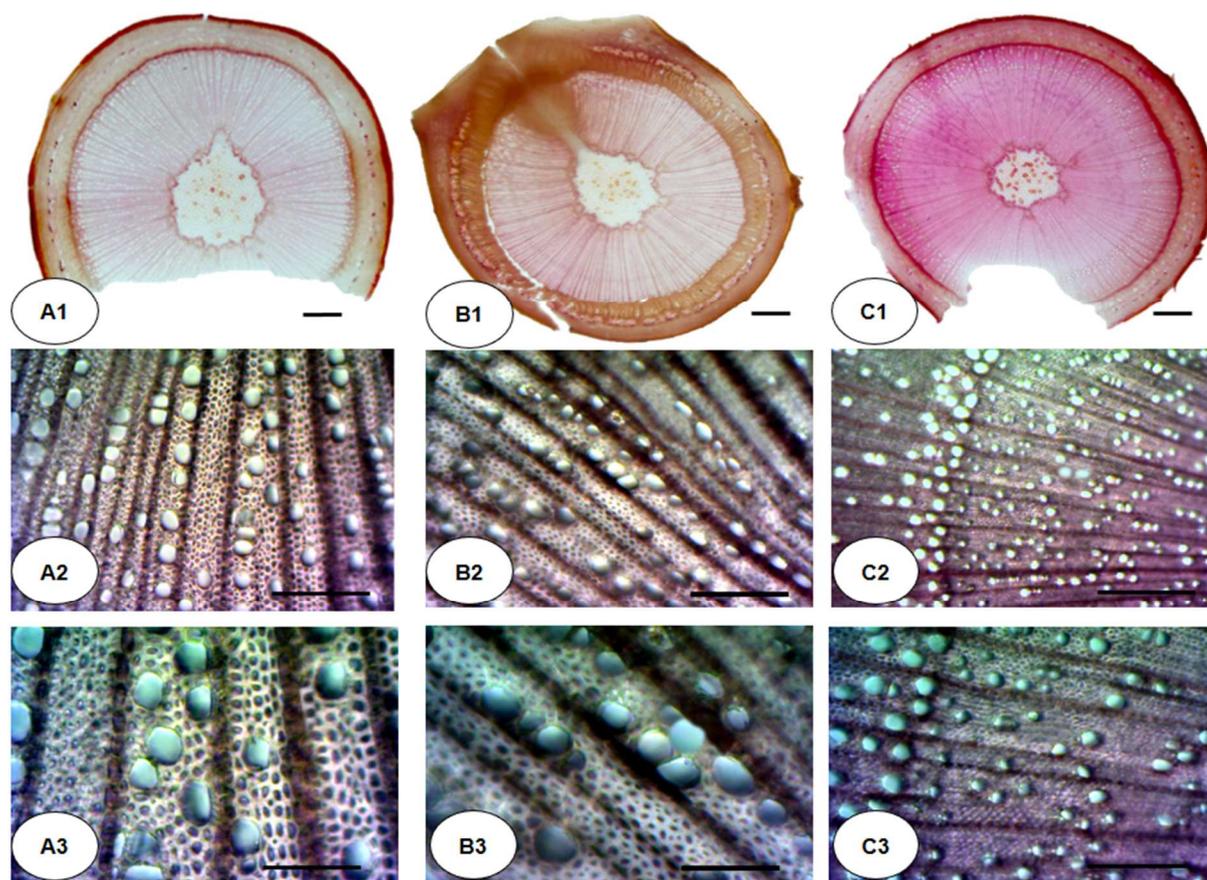


Figura 22 – Seções transversais de segmentos de ramos secundários da cultivar de ameixeira 'Reubennel' (*Prunus salicina* Lindl.). As imagens "A", "B", e "C", correspondem aos ramos enxertados em ameixeira 'Myrobalan 29C' (*P. cerasifera* Ehrh), pessegueiro 'Okinawa' (*P. persica* L. Batsch) e autoenraizadas, respectivamente. As imagens "1" (barra de escala = 500 μ m), "2" (barra de escala = 100 μ m), e "3" (barra de escala = 100 μ m), representam os diferentes aumentos ópticos utilizados para a visualização dos cortes transversais: 10x, 40x e 100x.

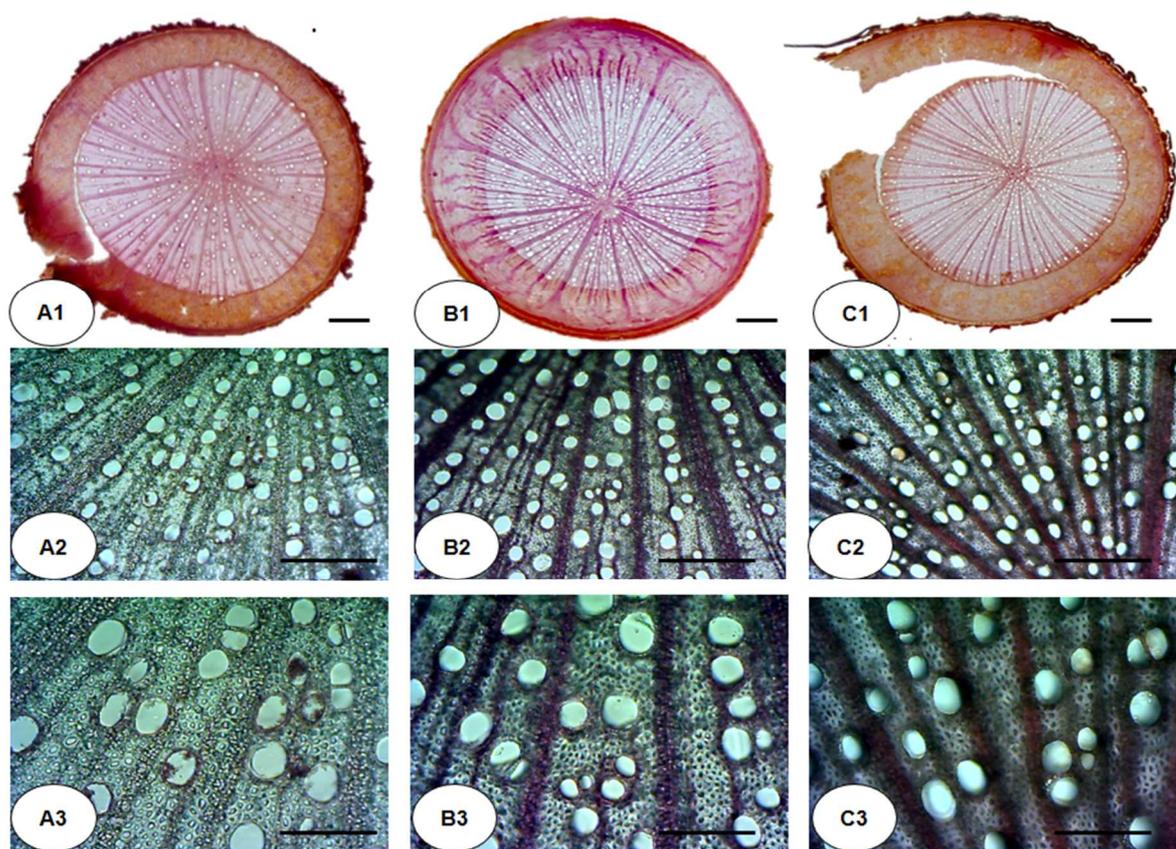


Figura 23 – Seções transversais de segmentos de raízes de diferentes cultivares de *Prunus*. As imagens "A", "B", e "C", correspondem às raízes de ameixeira 'Myrobalan 29C' (*Prunus cerasifera* Ehrh), pessegueiro 'Okinawa' (*Prunus persica*) e ameixeira 'Reubennel' (*Prunus salicina*), respectivamente. As imagens "1" (barra de escala = 500 μ m), "2" (barra de escala = 100 μ m), e "3" (barra de escala = 100 μ m), representam os diferentes aumentos ópticos utilizados para a visualização dos cortes transversais: 10x, 40x e 100x.