

Indicação de genótipos polinizadores para o cultivar de macieira ‘SCS443 Isadora’

Marcus Vinicius Kvitschal¹, Thyana Lays Brancher² e Rafaela Walesko Elias³

Resumo – Em função do mecanismo genético de autoincompatibilidade gametofítica presente na macieira, é primordial que um pomar possua genótipos polinizadores específicos para garantir a produção de frutos. Este estudo tem como objetivo avaliar diferentes genótipos polinizadores para o cultivar de macieira SCS443 Isadora. A verificação da compatibilidade genética foi realizada via genotipagem de alelos S por marcadores de DNA específicos. Também foram realizadas polinizações a campo em Caçador, SC, por duas safras consecutivas, a fim de verificar a eficiência de cada genótipo polinizador em ambiente de pomar. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis e cinco repetições de 25 inflorescências de duas flores cada, nas safras 2022/2023 e 2023/2024, respectivamente. Os cultivares SCS433 Felix 3, SCS435 Felix 5 e SCS417 Monalisa apresentam compatibilidade plena com ‘SCS443 Isadora’ e, embora ‘SCS425 Luiza’ seja semicompatível com ‘SCS443 Isadora’ por possuir um dos alelos em comum (S_5), todas as plantas polinizadoras testadas se mostraram eficientes na fecundação do gameta feminino das flores e são aptas para utilização como genótipo polinizador em pomares do cultivar SCS443 Isadora.

Termos para indexação: Alelos S; Autoincompatibilidade gametofítica; *Malus domestica* Borkh.; Marcadores de DNA; Polinização artificial.

Pollinating genotypes indication for the apple variety SCS443 Isadora

Abstract – Due to the genetic mechanism of gametophytic self-incompatibility present in apple trees, an orchard must have specific pollinating plants to ensure fruit production. This study aims to select pollinating plants for the apple cultivar SCS443 Isadora. Genetic compatibility between apple trees was verified by genotyping S alleles using specific DNA markers. Manual pollinations were also carried out in Caçador, SC, Brazil, for two consecutive seasons, to verify the efficiency of each pollinator in an orchard environment. The experimental design was randomized blocks, with six and five replicates of 25 inflorescences of two flowers each, in the 2022/2023 and 2023/2024 seasons, respectively. The varieties SCS433 Felix 3, SCS435 Felix 5 and SCS417 Monalisa are fully compatible with ‘SCS443 Isadora’, and although ‘SCS425 Luiza’ is semi-compatible with ‘SCS443 Isadora’ because it has one of the alleles in common (S_5), all the pollinating plants tested were efficient in fertilizing the female gamete of its flowers and are suitable for use as pollinators in orchards of the cultivar SCS443 Isadora.

Index terms: Alleles S; Gametophytic self-incompatibility; *Malus domestica* Borkh.; DNA markers; Artificial pollination.

Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.), apesar de apresentar flores hermafroditas, depende da polinização cruzada para a produção de frutos em escala comercial. Essa necessidade é atribuída à autoincompatibilidade gametofítica, um mecanismo genético controlado pelo loco S presente nas espécies do gênero *Malus* (Sassa, 2016). A presença de alelos S idênticos nos genitores impede a fertilização do

gameta feminino, enquanto a presença de um alelo em comum resulta em semicompatibilidade, com formação de frutos. A compatibilidade total, por sua vez, ocorre quando todos os alelos S são diferentes, maximizando a produção de sementes e frutos (Ahmad *et al.*, 2022; Matsumoto, 2014). A quantidade de frutos, sementes e sua distribuição nos carpelos são indicadores importantes da compatibilidade genética entre genótipos (Denardi e Stuker, 2008; Kvitschal *et al.*, 2013).

Considerando a importância da po-

linização cruzada, os pomares comerciais de macieira são compostos por cultivares produtores de frutos (copa) e por genótipos polinizadores. Além da compatibilidade genética, a escolha dos genótipos polinizadores leva em conta a coincidência das épocas de floração e as exigências edafoclimáticas, facilitando o manejo do pomar (Albuquerque Junior *et al.*, 2011; Brancher *et al.*, 2020a, 2020b, 2021; Kvitschal *et al.*, 2013).

A caracterização do genótipo do loco S por meio de marcadores moleculares permite a identificação prévia de genó-

Recebido em 30/09/2024. Aceito para publicação em 02/12/2024.

Editor: Luiz Augusto Martins Peruch

¹ Engenheiro-agrônomo, Dr., Pesquisador, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri/Estação Experimental de Caçador “José Oscar Kurtz”, Rua Abílio Franco, 1500, Bairro Bom Sucesso, CEP 89.501-032, Caçador, SC, fone (49) 3561-6837, e-mail: marcusvinicius@epagri.sc.gov.br

² Biotecnologista Industrial, Dra., Bolsista, Epagri/Estação Experimental de Caçador “José Oscar Kurtz”, Rua Abílio Franco, 1500, Bairro Bom Sucesso, CEP 89.501-032, Caçador, SC, e-mail: thyanabrancher@gmail.com

³ Estudante de Agronomia, Bolsista, Epagri/Estação Experimental de Caçador “José Oscar Kurtz”, Rua Abílio Franco, 1500, Bairro Bom Sucesso, CEP 89.501-032, Caçador, SC, e-mail: rafaelaelias@epagri.sc.gov.br

Doi: <https://doi.org/10.52945/rac.v37i3.1932>

tipos polinizadores compatíveis com os cultivares copa (Brancher *et al.*, 2020a, 2020b). Essa técnica é rápida, eficiente e independe das condições ambientais, sendo uma ferramenta valiosa para a seleção de genótipos polinizadores e o planejamento de novos cruzamentos em programas de melhoramento genético da macieira.

O cultivar SCS443 Isadora tem como principais atributos agrônômicos a resistência à mancha foliar de glomerella – MFG (*Colletotrichum* spp.), menor requerimento em frio comparado aos cultivares tradicionais Gala e Fuji, sintomas leves de sarna (*Venturia inaequalis*), oídio (*Podosphaera leucotricha*) e marssonina (*Marssonina mali*), maturação tardia dos frutos e ótima qualidade pós-colheita, destacando-se principalmente em armazenagem por longo período (Denardi *et al.*, 2023). Lançado em 2023 como um dos cultivares mais promissores para cultivo no sul do Brasil, ‘SCS443 Isadora’ necessita da indicação de genótipos polinizadores para cultivo comercial na região para que haja a possibilidade de se obter máxima produtividade.

Logo, o objetivo deste trabalho foi selecionar genótipos polinizadores para o cultivar de macieira SCS443 Isadora a partir da genotipagem dos alelos *S* via PCR, associada à realização de cruzamentos com testes a campo.

Material e métodos

Os genótipos candidatos testados na polinização do cultivar SCS443 Isadora foram os cultivares SCS417 Monalisa, SCS425 Luiza, SCS433 Felix 3 e SCS435 Felix 5. Como controle, foi realizada a autopolinização, cujo tratamento consistiu na utilização de pólen do próprio cultivar SCS443 Isadora. Os cultivares da série Felix foram desenvolvidos pela Epagri e consistem em uma série lançada exclusivamente para fins de polinização de outros cultivares comerciais. Todos os tratamentos utilizados na polinização das flores de ‘SCS443 Isadora’ foram escolhidos a partir de dados históricos de fenologia (entre início e final de floração) obtidos em Caçador, SC, durante as safras 2007/2008 a 2013/2014 (Figura 1), de forma a garantir coinci-

dência dos períodos de floração com ‘SCS443 Isadora’, associado à adequada produção e germinação de pólen em condições de laboratório.

Os cruzamentos-testes a campo foram realizados na Epagri - Estação Experimental de Caçador, em Caçador, SC, nos ciclos 2022/2023 e 2023/2024. O estágio fenológico em que as polinizações dirigidas foram realizadas foi em F (botão rosado), antes da antese. Duas flores por inflorescência foram selecionadas, emasculadas e polinizadas manualmente, tendo sido descartadas as flores excedentes. Subsequentemente, foi realizada a proteção das inflorescências com papel Kraft por ao menos 72 horas, para evitar contaminações com pólen exógeno. O tratamento-controle foi caracterizado pela autopolinização (utilizando pólen do próprio cultivar SCS443 Isadora) e proteção com papel Kraft.

As avaliações contemplaram o número total de frutos, a frutificação efetiva (%), a massa de frutos (g), o número de sementes por fruto, o número de lóculos sem sementes e o número de lóculos com sementes.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis e cinco repetições de 25 inflorescências de duas flores cada, nas safras 2022/2023 e 2023/2024, respectivamente. Utilizou-se esquema fatorial 5 x 2 para investigar o efeito da interação entre diferentes genótipos polinizadores (5 fontes de pólen) e anos (2 safras – 2022/2023 e 2023/2024). Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta (5 tratamentos x 2 anos), e os desdobramentos e comparações entre médias feitas pelo critério de Scott-Knott ($P < 0,05$).

A verificação da compatibilidade genética entre cada genótipo polinizador e ‘SCS443 Isadora’ foi realizada mediante genotipagem dos alelos no locus *S*, via técnica de PCR, utilizando marcadores de DNA específicos. O DNA de cada genótipo foi extraído a partir de folhas jovens e sadias coletadas aleatoriamente, conforme protocolo estabelecido por Revers *et al.* (2005), utilizando 0,1g de tecido vegetal macerado. A nomenclatura, sequência de nucleotídeos, temperatura de anelamento e tamanho

dos amplicons (pb) de cada *primer* utilizado, bem como detalhes das reações de PCR são reportados por Brancher *et al.* (2020a, 2020b). Nas reações de PCR utilizaram-se cultivares padrão que já possuem alelos *S* catalogados com intuito auxiliar na determinação de cada alelo *S* por comparação ao tamanho dos respectivos fragmentos amplificados esperados. Os cultivares padrão utilizados na análise genotípica foram: Fuji (S_1 e S_9 ; GenBank nº D50837 e D50836, respectivamente), Golden Delicious (S_2 e S_3 ; U12199 e U12200, respectivamente), Gloster (S_4 ; AF327223), Gala (S_5 ; U19791), Marubakaido [S_6 e S_{26} ; (Agapito-Tenfen *et al.*, 2015)], Idared (S_7 ; AB032246), McIntosh (S_{10} ; AB052683), Delicious (S_{19} ; AB035273), Alkmene (S_{22} ; AF327222), Mutsu (S_{20} ; AB019184), Granny Smith (S_{23} ; AF239809) e Braeburn (S_{24} ; AF016920). Não se utilizou cultivar padrão apenas para o alelo S_{16} (AF016919), uma vez que não há nenhum genótipo sabidamente portador desse alelo *S* disponível na Epagri. A nomenclatura dos alelos *S* utilizada neste trabalho foi proposta por Broothaerts, Van Nerum e Keulemans (2004). Os produtos da PCR foram separados por eletroforese em gel de agarose 3% utilizando marcador padrão de peso molecular de 50pb, tendo sido as amostras coradas com o fluorescente intercalante GelRed™ (Biotium, California, USA). A imagem do perfil de amplificação dos alelos *S* foi capturada em fotodocumentador Kodak Gel Logic 212 Pro (Carestream, New York, USA) equipado com transiluminador UV. Os alelos *S* foram considerados como presentes quando apresentaram fragmentos de tamanho coincidente tanto com o indicado na literatura quanto aos fragmentos amplificados nos cultivares padrão utilizados para cada alelo *S*.

Resultados e discussão

Conforme apresentado na Figura 1, todos os genótipos polinizadores testados (‘SCS417 Monalisa’, ‘SCS425 Luiza’, ‘SCS433 Felix 3’ e ‘SCS435 Felix 5’) apresentam coincidência no período de floração com o cultivar SCS443 Isadora.

Quanto aos experimentos de polinização realizados à campo, não se obser-

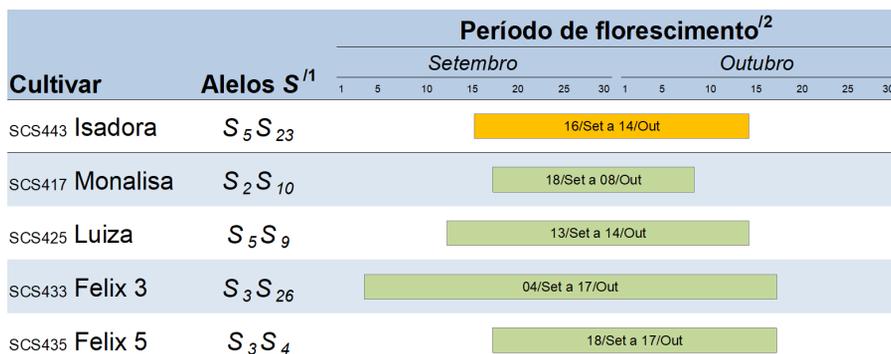


Figura 1. Período médio de florescimento dos genótipos de macieira em Caçador, região Meio-Oeste de Santa Catarina

¹ Genotipagem realizada por meio de marcadores de DNA específicos

Fonte: BRANCHER et al. (2020a, 2020b); BRANCHER et al. (2021); ² Dados médios de vários anos (2007/2008 a 2013/2014), coletados na Epagri/Estação Experimental de Caçador "José Oscar Kurtz", Caçador, SC

Figure 1. Average flowering period of apple tree genotypes in Caçador, Mid-West region of Santa Catarina State, Brazil

¹ Genotyping performed using specific DNA markers

Source: BRANCHER et al. (2020a, 2020b); BRANCHER et al. (2021)

² Average data from several years (2007/2008 a 2013/2014), collected at Epagri/Caçador Experimental Station "José Oscar Kurtz", Caçador, SC, Brazil

vou interação significativa entre a fonte de pólen utilizada e o ano agrícola (safra) para nenhuma das características, tendo sido, portanto, analisadas no seu efeito médio. Na média dos dois anos de experimentos de polinização a campo realizados (não houve efeito significativo do fator 'ano', somente dos tratamentos de polinização), o número de frutos produzidos pela 'SCS443 Isadora' utilizando os quatro genótipos polinizadores foi igualmente maior do que a au-

topolinização (Tabela 1). A presença de apenas alguns frutos de autopolinização no primeiro ano (2022/2023) pode ser resultante de contaminação cruzada durante a realização da polinização até a retirada do papel Kraft. Na literatura podem ser encontrados alguns relatos de ocorrência contaminação cruzada com pólen de genótipos indesejáveis em programas de melhoramento genético por hibridações e, por consequência, equívocos nos registros da genealogia

de novos cultivares lançados (Brancher et al., 2023; Sakurai; Brown; Weeden, 2000), o que dá suporte à hipótese da ocorrência de alguns poucos frutos nas autofecundações do primeiro ciclo dos cruzamentos-teste (2022/2023).

O mesmo comportamento se observou para a frutificação efetiva, em que não houve diferença entre os tratamentos utilizados como fonte de pólen, sendo que todos os genótipos polinizadores proporcionaram maior frutificação efetiva em comparação à autopolinização (Tabela 1).

Não houve diferença na massa dos frutos formados, independente do genótipo polinizador utilizado (Tabela 2). Da mesma maneira, não houve diferença no número de lóculos com e sem sementes na macieira 'SCS443 Isadora' entre as diferentes fontes de pólen testadas (Tabela 2). Contudo, o número de sementes por fruto formado, quando se utilizou 'SCS417 Monalisa' como genótipo polinizador, foi menor em comparação a 'SCS425 Luiza', 'SCS433 Felix 3' e 'SCS435 Felix 5' (Tabela 2), embora a quantidade média de sementes formadas nos frutos pela utilização de pólen de 'SCS417 Monalisa' tenha sido suficientemente alta para não acarretar problemas de deformação dos frutos. Conforme reportado por Denardi e Stuker (2008), maçãs com formato simétrico e desenvolvimento normal são afetadas pela formação ou não de

Tabela 1. Resultados da análise de variância conjunta para as variáveis número de frutos produzidos e frutificação efetiva geradas pela polinização da cultivar de macieira SCS443 Isadora com diferentes fontes de pólen nas safras 2022/2023 e 2023/2024 - Caçador, SC, 2024
Table 1. Results of the joint analysis of variance for total number of fruits and fruit set obtained by the 'SCS443 Isadora' pollination with different pollen sources in the 2022/2023 and 2023/2024 seasons - Caçador, SC, 2024

Cultivar polinizadora	Alelos S	Nº Frutos produzidos			Frutificação efetiva (%)		
		2022/23	2023/24	Média	2022/23	2023/24	Média
Autopolinização	S ₅ S ₂₃	1,17	0,00	0,64 b	5,8	0,0	3,18 b
SCS417 Monalisa	S ₂ S ₁₀	5,83	6,00	5,91 a	29,2	30,0	19,55 a
SCS425 Luiza	S ₅ S ₉	7,17	4,40	5,91 a	35,8	22,0	29,55 a
SCS433 Felix 3	S ₃ S ₂₆	5,17	8,20	6,55 a	25,8	41,0	29,55 a
SCS435 Felix 5	S ₃ S ₄	4,00	3,80	3,91 a	20,0	19,0	32,73 a
Média		4,67	5,60	4,58	23,33	22,40	22,91
C.V.(%)		-	-	58,25	-	-	58,25

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).

Means followed by the same letter in the column do not differ from each other, according to the Scott-Knott test (P>0.05).

Tabela 2. Massa média de frutos (g), número médio de sementes por fruto, número médio de lóculos carpelares com sementes e número médio de lóculos carpelares sem sementes nos frutos gerados pela polinização de flores de ‘SCS443 Isadora’ com diferentes fontes de pólen nas safras 2022/2023 e 2023/2024 - Caçador, 2024

Table 2. Averages for fruit weight (g), number of seeds per fruit, number of carpel locules with seeds and number of carpel locules without seeds in fruits generated by the pollination of ‘SCS443 Isadora’ with different pollen sources in the 2022/2023 and 2023/2024 seasons - Caçador, SC, Brazil, 2024

Cultivar polinizadora	Massa dos frutos (g)	Nº sementes por fruto	Nº lóculos SEM semente	Nº lóculos COM semente
SCS417 Monalisa	99,08 a	5,51 b	1,48 a	3,65 a
SCS425 Luiza	90,63 a	6,40 a	1,25 a	3,97 a
SCS433 Felix 3	93,26 a	6,72 a	1,15 a	4,27 a
SCS435 Felix 5	100,59 a	7,03 a	1,23 a	4,04 a
Média	95,89	6,42	1,27	3,98
C.V.(%)	13,43	18,18	49,42	17,18

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($P>0,05$).

Means followed by the same letter in the column do not differ from each other, according to the Scott-Knott test ($P>0.05$).

sementes em cada um dos cinco carpelos que formam as flores do gênero *Malus*. Dessa forma, todos os genótipos polinizadores avaliados proporcionam boa formação de sementes no cultivar SCS443 Isadora.

Quanto aos alelos *S* identificados nos genótipos avaliados, o cultivar SCS443 Isadora apresenta genótipo S_5S_{23} . Considerando os genótipos polinizadores testados, apenas ‘SCS425 Luiza’ (S_5S_9) se mostrou semicompatível, pois apresentou um dos alelos em comum com ‘SCS443 Isadora’, o alelo S_5 . Todos os demais genótipos polinizadores considerados nesse estudo são totalmente compatíveis com ‘SCS443 Isadora’ (Tabela 1). Brancher *et al.* (2020a, 2020b) já reportaram que, quando há compatibilidade entre os alelos *S*, o tubo polínico cresce normalmente até alcançar o óvulo, resultando em uma fecundação bem-sucedida. Isso maximiza a produção de frutos e a viabilidade das sementes (Garratt *et al.*, 2016; Pilati; Fontana; Angeli, 2020). Considerando as informações genéticas, todos os genótipos polinizadores testados apresentam compatibilidade para serem utilizados em pomares comerciais de ‘SCS443 Isadora’, sendo ao menos semicompatíveis.

Em tese, a formação de frutos e de sementes nos frutos seria maior entre genótipos completamente compatíveis

do que entre genótipos semicompatíveis, porém essa diferença não foi identificada na polinização artificial, como já identificado por Brancher *et al.* (2020b). Quando se trata do comportamento dos cultivares em condições de manejo comerciais, seja com polinização aberta, seja com polinização direcionada, há maior formação de frutos e sementes por fruto em cruzamentos totalmente compatíveis em comparação a cruzamentos entre genótipos semicompatíveis (Olhnuud *et al.*, 2022; Schneider *et al.*, 2001). Contudo, a utilização de cultivares semicompatíveis é possível, desde que se disponha no pomar de maior proporção de insetos polinizadores e de plantas do genótipo polinizador em comparação às proporções convencionalmente utilizadas em pomares comerciais que, via de regra, variam entre 12 e 20% de plantas do genótipo polinizador (Hoffmann *et al.*, 2004). Nesse contexto, a utilização dos cultivares SCS417 Monalisa e SCS425 Luiza em sistemas de filas alternadas com ‘SCS443 Isadora’ é uma prática sugerida, pois mesmo ‘SCS425 Luiza’ sendo semicompatível, é possível garantir grande quantidade de pólen para polinização no pomar e, portanto, altas taxas de frutificação efetiva sem a necessidade de inclusão de plantas de algum genótipo polinizador silvestre específico no pomar. Isso

pode maximizar o potencial produtivo da área, pois não há a necessidade de ocupação de área de pomar com plantas que não produzem frutos de qualidade comercial, como é o caso dos cultivares da série Felix. No entanto, como as épocas de maturação e colheita dos frutos de SCS417 Monalisa, SCS425 Luiza e SCS443 Isadora são diferentes, é importante que o produtor esteja bastante atento ao manejo fitossanitário do pomar, para evitar a colheita de maçãs dentro do período de carência dos produtos convencionalmente utilizados.

Conclusões

- O cultivar SCS443 Isadora não possui característica de autofertilidade, pois a autopolinização não gerou frutos nos experimentos de campo;
- Os cultivares SCS433 Felix 3 (S_3S_{26}), ‘SCS435 Felix 5’ (S_3S_4) e SCS417 Monalisa (S_2S_{10}) apresentam compatibilidade plena, enquanto que ‘SCS425 Luiza’ (S_5S_9) é semicompatível com ‘SCS443 Isadora’ (S_5S_{23}).
- Os cultivares copa SCS417 Monalisa e SCS425 Luiza, bem como os cultivares polinizadores SCS433 Felix 3 e SCS435 Felix 5, são indicados como genótipos polinizadores em pomares comerciais da macieira ‘SCS443 Isadora’.

Agradecimentos

À Epagri, ao CNPq (Projeto 404475/2016-7), à Capes, à Fapesc, à Udesc e à Finep, pelo fomento à pesquisa e pelas bolsas de estudo.

Referências

AGAPITO-TENFEN, S.Z.; DANTAS, A.C. DE M.; DENARDI, F.; NODARI, R.O. Identification of the Er1 resistance gene and RNase S-alleles in *Malus prunifolia* var. ringo rootstock. **Scientia Agricola**, v.72, n.1, p.62–68, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0210>

AHMAD, M.H.; RAO, M.J.; HU, J.; XU, Q.; LIU, C.; CAO, Z.; LARKIN, R.M.; DENG, X.; BOSCH, M.; CHAI, L. Systems and breakdown of self-incompatibility. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.41, n.3, p.209–239, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689.2022.2093085>

ALBUQUERQUE JUNIOR, C.L. DE; DENARDI, F.; DE DANTAS, A.C.M.; NODARI, R.O.; DE ALBUQUERQUE, C.L.; DENARDI, F.; DE MESQUITA DANTAS, A.C.; NODARI, R.O. The self-incompatible RNase S-alleles of Brazilian apple cultivars. **Euphytica**, v.181, n.2, p.277–284, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0431-0>

BRANCHER, T.L.; HAWERROTH, M.C.; KVITSCHAL, M.V.; MANENTI, D.C.; GUIDOLIN, A.F. Self-incompatibility alleles in important genotypes for apple breeding in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.20, n.4, e-28652041, 2020a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n4a54>

BRANCHER, T.L.; HAWERROTH, M.C.; KVITSCHAL, M.V.; GUIDOLIN, A.F.; DENARDI, F.; COUTO, M.; CARLESSO, C. Identification of pollinizers for apple 'SCS426 Venice'. **Bragantia**, v.80, e-0521, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200129>

BRANCHER, T.L.; HAWERROTH, M.C.; KVITSCHAL, M. V.; SCHUH, F.S.; VARGAS, K.C.; DENARDI, F.; GUIDOLIN, A.F. Indicação de genótipos polinizadores para os cultivares de macieira SCS425 Luiza e SCS427 Elenise. **Agropecuária Catarinense**, v.34, n.1, p.54–60, 2021. DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v34i1.1094>

BRANCHER, T.L.; KVITSCHAL, M.V.; BOSETTO, L.; SAIKI, F.A.; HAWERROTH, M.C.; GUIDOLIN, A.F.; Pedigree testing for the SCS425 Luiza apple cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.23, n.4, e-45232343, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n4a38>

BROOHAERTS, W.; VAN NERUM, I.; KEULEMANS, J. Update on and review of the incompatibility (S-) genotypes of apple cultivars. **HortScience**, v.39, n.5, p.943–947, 2004. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.5.943>

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; ARGENTA, L.C.; COUTO, M.; ARAÚJO, L. SCS443 ISADORA: late ripening apple cultivar with very high fruit storage ability. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.45, e-161, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452023161>

DENARDI, F.; STUKER, H. Eficiência de diferentes cultivares de macieira como polinizadoras da 'Castel Gala' e da 'Condessa'. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.21, p.79–83, 2008.

GARRATT, M.P.D.; BREEZE, T.D.; BOREUX, V.; FOUNTAIN, M.T.; MCKERCHAR, M.; WEBBER, S.M.; COSTON, D.J.; JENNER, N.; DEAN, R.; WESTBURY, D.B.; BIESMEIJER, J.C.; POTTS, S.G. Apple Pollination: Demand Depends on Variety and Supply Depends on Pollinator Identity. **PLOS ONE**, v.11, n.5, e-0153889, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153889>

HOFFMANN, A.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; BERNARDI, J.; ZANCAN, C.; CAMELATTO, D. Tratos culturais In: NACHTIGALL, G. R. (Ed.) *Maçã: produção*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p.78-91, 2004.

KVITSCHAL, M.V.; DENARDI, F.; SCHUH, F.S.; MANENTI, D.C. Identificação de polinizadoras para a cultivar de macieira Daiane. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.1, p.9–14, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100002>

MATSUMOTO, S. Apple pollination biology for stable and novel fruit production: Search system for apple cultivar combination showing incompatibility, semicompatibility, and full-compatibility based on the S-RNase allele database. **International Journal of Agronomy**, v.2014, p.1–9, 2014.

OLHNUUD, A.; LIU, Y.; MAKOWSKI, D.; TSCHARNTKE, T.; WESTPHAL, C.; WU, P.; WANG, M.; VAN DER WERF, W. Pollination deficits and contributions of pollinators in apple production: A global meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, v.59, n.12, p.2911–2921, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14279>

PILATI, L.; FONTANA, P.; ANGELI, G. Commercial Pollination of Apple Orchards: Val di Non Case Study. Em: **Modern Beekeeping - Bases for Sustainable Production**. [s.l.] IntechOpen, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90429>

REVERS, L.F.; LAMPE, V.S.; OLIVEIRA, P.R.D. DE; CAMARGO, U.A.; LIMA, J.C. DE. Uso prático de marcadores moleculares para seleção assistida no melhoramento de uvas de mesa apirênicas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p.104–108, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100029>

SAKURAI, K.; BROWN, S.K.; WEEDEN, N. Self-incompatibility alleles of apple cultivars and advanced selections. **Hortscience**, v.35, p.116–119, 2000. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.1.116>

SASSA, H. Molecular mechanism of the S-RNase-based gametophytic self-incompatibility in fruit trees of Rosaceae. **Breeding Science**, v.66, p.116–121, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1270/jsbbs.66.116>

SCHNEIDER, D.; STERN, R.; EISIKOWITZ, D.; GOLDWAY, M. Analysis of S-alleles by PCR for determination of compatibility in the 'Red Delicious' apple orchard. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.76, n.5, p.596–600, 2001.