



**FRANCISCO MICKAEL DE MEDEIROS CÂMARA**

**ROOTSTOCKS AND CULTIVARS IN VINEYARDS UNDER  
DOUBLE PRUNING**

**LAVRAS-MG**

**2020**

**FRANCISCO MICKAEL DE MEDEIROS CÂMARA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. Murillo de Albuquerque Regina  
Orientador

Prof. Dr. Rafael Pio  
Co-orientador

**LAVRAS-MG**  
**2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Câmara, Francisco Mickael de Medeiros.

Rootstocks and cultivars in vineyards under double pruning / Francisco  
Mickael de Medeiros Câmara. - 2020.

149 p.

Orientador(a): Murillo de Albuquerque Regina.

Coorientador(a): Rafael Pio.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Qualidade da Uva. 2. Vinhos de Inverno. 3. Diversificação. I. Regina,  
Murillo de Albuquerque. II. Pio, Rafael. III. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

**FRANCISCO MICKAEL DE MEDEIROS CÂMARA**

**ROOTSTOCKS AND CULTIVARS IN VINEYARDS UNDER DOUBLE PRUNING**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 24 de abril de 2020.

Dr. Rafael Pio	UFLA
Dr. Sérgio Ruffo Roberto	UEL
Dr. Paulo Sérgio de Souza	IFSULDEMINAS
Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori	UFLA

Dr. Murillo de Albuquerque Regina  
Orientador

Prof. Dr. Rafael Pio  
Co-orientador

**LAVRAS – MG**  
**2020**

*À Deus, pela sua infinita misericórdia, amor e proteção.*

*Ao meu Pai José Nilson Câmara, a minha mãe, Maria Vanusa de Medeiros Câmara e a minha irmã Maria Mabel de Medeiros Câmara pelo amor incondicional dado a mim, pelo incentivo e dedicação, que me ajudou a fazer as melhores escolhas e sempre me guiaram para o caminho da honestidade e respeito ao próximo.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por sua paixão e pelo dom da vida, ao qual me permitiu chegar até aqui. Sem ELE não chegaria onde cheguei, nem teria vencido todas as dificuldades.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por conceber tal oportunidade e contribuir sempre com meus estudos. Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da UFLA, pelo excelente apoio e contribuição.

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, pelo espaço e equipamento cedidos para realizar as avaliações.

À Vinícola Casa Geraldo, pela parceria e infraestrutura cedida para realização dos experimentos.

Agradeço ao meu orientador pesquisador Dr. Murillo de Albuquerque Regina, que antes de tudo é um precioso amigo, obrigado pelos ensinamentos sobre vitivinicultura, pela paciência, pelo apoio e disponibilidade em contribuir na minha vida profissional.

À pesquisadora Dra. Cláudia Rita de Souza, por todos os ensinamentos sobre ecofisiologia da videira, pelas sugestões, correções, dicas e conselhos, obrigado pela contribuição não só na pesquisa como também na minha vida profissional.

À enóloga Isabela Peregrino por contribuir com os ensinamentos sobre enologia e técnicas de produção e degustação de vinho.

À pesquisadora Dra. Renata Vieira da Mota, por compartilhar de seus vastos conhecimentos sobre análises químicas da uva, além de contribuições para a pesquisa. Além de toda a contribuição em outros aspectos profissionais e pessoais.

Ao técnico em Agropecuária Daniel José Rodrigues, por contribuir com os ensinamentos práticos em videira no campo, sem sua contribuição esse trabalho teria sido mais árduo.

A minha noiva Danielle, pela amizade, amor, cuidados e pela contribuição nos mais belos gestos de companheirismo, você me trouxe força em muitos momentos que pensei em desistir. A família da Danielle, minha segunda família.

A Camila Pinheiro por toda contribuição, apoio e dias dispendidos no laboratório para as análises de qualidade de baga.

Ao pessoal da EPAMIG de Caldas, Pedrão, Seu Benedito Ladislau, Zezé, Alexandra e Marilda, que contribuíram com auxílio nas atividades do campo.

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

## **EPIGRAFE**

*“É preciso estar sempre embriagado. Para não sentirem o fardo incrível do tempo, que verga e inclina para a terra, é preciso que se embriaguem sem descanso. Com quê? Com vinho, poesia, ou virtude, a escolher. Mas embriaguem-se.”*

*Charles Pierre Baudelaire*



## RESUMO

Sob o manejo da dupla poda, a maior parte do vinho produzido é elaborado a partir de duas variedades, Syrah para a produção de vinho tinto e Sauvignon Blanc para a elaboração de vinho branco. Isso se deve a essas videiras serem as mais bem adaptadas a esta técnica. Nesse sentido, foram realizados dois experimentos nas safras 2018 e 2019, com o objetivo de avaliar variedades e porta-enxertos sob dupla poda, permitindo maior diversificação dos rótulos dos vinhos de inverno. O primeiro consistiu em determinar o efeito de oito porta-enxertos nos parâmetros agrônômicos e ecofisiológicos das videiras Merlot, Cabernet Sauvignon e Syrah e o segundo em avaliar o potencial produtivo e qualitativo de algumas variedades tintas e brancas em dois porta-enxertos cultivados durante o outono-inverno no sul de Minas Gerais sob manejo de dupla poda. A produção e a qualidade das uvas das videiras Cabernet Sauvignon e Merlot cultivadas na estação outono-inverno podem ser melhoradas usando porta-enxertos de vigor elevado. A adoção de IAC 766, RUPESTRIS, SO4, GRAVESAC e KOBBER aumentou a produtividade sem prejudicar a qualidade da uva para todas as variedades. Em relação à Syrah, 101-14 e 1103P apresentaram uma baixa qualidade da uva e a IAC 572 não aumentou a produção, nesse sentido esses porta-enxertos podem ser considerados menos adequados. Sob o manejo de dupla poda Grenache, Marselan, Mourvèdre, Tempranillo, Touriga Nacional, Petit Verdot e Syrah foram as melhores variedades para a produção de vinho tinto e Marsanne, Muscat Petit Grain, Vermentino e Viognier para vinhos brancos, considerando vigor, produção e qualidade da uva em duas safras. Em geral, o vigor do porta-enxerto IAC 766 não compromete a qualidade da uva e pode ser usado para aumentar a produção, principalmente para Mourvèdre, Petit Verdot, Touriga Nacional e Viognier. A poda em esporão não é adequada para a Carménère sob o manejo de dupla poda. Com os dois experimentos, é possível melhorar a produção de vinhos de inverno pela diversificação, permitindo que os vinicultores ofereçam vinhos de alta qualidade para atender a vários tipos de demandas do mercado.

**Palavras-chave:** Qualidade da uva. Vigor vegetativo. Vinhos de inverno. Diversificação.

## ABSTRACT

Under double pruning management, most of the wine produced is elaborated from two varieties, Syrah for red wine and Sauvignon Blanc for white wine production, mainly due to the fact that these vines were the best adapted to this technique. In this sense, two experiments were carried out in the 2018 and 2019 harvests, with the objective of evaluating varieties and rootstocks under double pruning, allowing greater diversification of winter wine labels. The first consisted in determining the effect of eight rootstocks on the agronomic and ecophysiological parameters of Merlot, Cabernet Sauvignon and Syrah vines and the second in assessing the productive and qualitative potential of some red and white varieties in two rootstocks grown during autumn-winter in southern Minas Gerais under double pruning management. The production and quality of grapes from the Cabernet Sauvignon and Merlot vines grown in the autumn-winter season can be improved using high vigor rootstocks. The adoption of IAC 766, RUPESTRIS, SO4, GRAVESAC and KOBER increased yield without affecting grape quality for all varieties. In relation to Syrah, 101-14 and 1103P showed a low grape quality and IAC 572 did not increase production. In that sense, these rootstocks can be considered less suitable. Under double pruning management, Grenache, Marselan, Mourvèdre, Tempranillo, Touriga Nacional, Petit Verdot and Syrah were the best varieties for the production of red wine and Marsanne, Muscat Petit Grain, Vermentino and Viognier for white wines, considering vigor, production and grape quality in two harvests. In general, the vigor of the IAC 766 rootstock does not compromise grape quality and can be used to increase production, mainly for Mourvèdre, Petit Verdot, Touriga Nacional and Viognier. The spur pruning technique was not adequate for Carménère under double pruning. With both experiments, it is possible to improve winter wine production through diversification, allowing winemakers to offer high quality wines to meet various types of market demands.

**Keywords:** Grape quality. Vegetative vigor. Winter wines. Diversification.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

Figure 1 - Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of Merlot grafted onto eight rootstocks during the 2019 winter season. ....	72
Figure 2 - Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of Cabernet Sauvignon grafted onto eight rootstocks during the 2019 winter season. ....	73
Figure 3 - Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of Syrah grafted onto eight rootstocks during the 2019 winter season. ....	74
Figure 4 - Total phenolics (A) and anthocyanins (B) of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grapes onto eight rootstocks during the 2019 season.....	82
Figure 5 - Principal components, biplot and clustering analysis of eight rootstocks to Cabernet Sauvignon (A and B), Merlot (C and D) and Syrah (E and F). ....	85

### ARTIGO 2

Figure 1 - Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of eleven varieties grafted onto 1103 P during the 2019 winter season. ....	115
Figure 2 - Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of eight varieties grafted onto IAC 766 during the 2019 winter season. ....	116

Figure 3 - Total phenolics (A) and anthocyanins (B) of red varieties onto 1103 P and IAC 766 rootstocks during the 2019 season. ....	122
Figure 4 - Principal components, biplot and clustering analysis of red (A and B) and white varieties (C and D) grafted onto 1103 P and IAC 766 rootstocks .....	125

## **LISTA DE TABELAS**

### **ARTIGO 1**

Table 1 - Vigor parameters of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks .....	70
Table 2 - Chlorophyll index of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks.....	76
Table 3 - Yield parameters of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grapes, grafted onto eight rootstocks. ....	77
Table 4 - Ravaz index (fruit/winter pruning weight ratio) of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks. ....	79
Table 5 - Physicochemical parameters of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grapes, grafted onto eight rootstocks. ....	80
Table 6 - Pearson correlation between yield and total phenolics for Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks. ....	83

### **ARTIGO 2**

Table 1 - Vigor parameters of twelve varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.....	112
Table 2 - Chlorophyll index of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.....	117
Table 3 - Yield parameters of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.....	118

Table 4 - Physical parameters of berries of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons. ....	119
Table 5 - Berry composition of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.....	120
Table 6 - Ravaz index (fruit/winter pruning weight ratio) of eleven varieties onto 1103 P and IAC 766 rootstocks during the 2019 winter season. ....	123

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>16</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Panorama da produção, importação e consumo de vinhos finos no Brasil 18</b>	
<b>2.2</b>	<b>Manejo da dupla poda e vinhos de inverno: histórico e situação atual .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Importância porta-enxertos na vitivinicultura .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Alterações agronômicas e ecofisiológicas da videira decorrentes do uso de porta-enxertos na vitivinicultura.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Porta-enxertos em vinhedos de dupla poda .....</b>	<b>32</b>
<b>3.</b>	<b>Importância das cultivares na vitivinicultura.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Cultivares tintas.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Cabernet Sauvignon .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Carménère.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Grenache .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Marselan.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Merlot.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Mourvèdre.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Petit Verdot.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.8</b>	<b>Syrah .....</b>	<b>39</b>
<b>3.7</b>	<b>Tempranillo.....</b>	<b>40</b>
<b>3.8</b>	<b>Touriga Nacional .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Cultivares brancas .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Marsanne .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Muscat Petit Grain Blanc .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Vermentino.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Viognier .....</b>	<b>43</b>
<b>4.</b>	<b>Composição química da uva .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Compostos fenólicos.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Antocianinas.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Taninos.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS .....</b>	<b>62</b>
	<b>ARTIGO 1 - Rootstocks on vine performance of Merlot, Cabernet Sauvignon and Syrah during autumn-winter .....</b>	<b>62</b>
	<b>ARTIGO 2 - Grape varieties for winter wine production.....</b>	<b>105</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>149</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

Desde que foi desenvolvido o manejo da dupla poda nos vinhedos, o Sudeste brasileiro tem ganhado destaque no cenário nacional de vinhos finos de qualidade, atraindo mercados e cruzando novas fronteiras. A dupla poda tem o objetivo de transferir a maturação da uva do verão chuvoso com altas temperaturas durante o dia e a noite, para as estações mais secas do outono-inverno com maior amplitude térmica. Em regiões subtropicais, as condições climáticas do verão, com altos índices de precipitação, comprometem a sanidade, a síntese e o acúmulo de açúcar e compostos fenólicos nas uvas, dando origem a vinhos de baixa graduação alcoólica, sem estrutura, com pouca expressão varietal e sem potencial de envelhecimento. Por outro lado, as uvas colhidas durante o inverno são mais sadias, apresentam um bom equilíbrio entre açúcar e acidez, e são ricas em taninos e antocianinas, compostos que conferem cor, corpo e longevidade ao vinho.

Atualmente, os vinhos de inverno, elaborados com uvas *Vitis vinifera* provenientes da colheita durante o período de inverno, alcançaram notoriedade pela sua alta qualidade, reconhecida em concursos nacionais e internacionais. No entanto, sob o manejo de dupla poda, apenas a uva Syrah, para vinho tinto, e Sauvignon Blanc, para vinho branco, foram as mais bem adaptadas, mantendo toda a produção de vinhos de inverno concentrada praticamente nestas duas variedades. Outras variedades tradicionais bastante apreciadas pelos consumidores de vinho no Brasil e no mundo, como Cabernet Sauvignon e Merlot sob porta-enxertos de médio vigor não apresentaram desenvolvimento vegetativo e produtivo satisfatórios quando foram submetidas a dupla poda. Uma das formas de melhorar o desempenho dessas variedades clássicas seria a utilização de porta-enxertos que possam conferir o vigor necessário para suportar os dois ciclos de crescimento.

Os porta-enxertos, de uso obrigatório na viticultura como forma de combate à filoxera, afídeo que danifica o sistema radicular das videiras europeias, tornaram-se importante ferramenta no manejo dos vinhedos, visto que as relações hídricas, assimilação



de carbono, desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade da uva podem variar em função de diferentes combinações de enxertia. Neste sentido, é imprescindível a realização de estudos que avaliem a complexa interação entre porta-enxerto e variedade produtora, visando aumentar o volume e a qualidade da produção dos vinhedos submetidos à dupla poda.

Muito importante, além de estudar os porta-enxertos para as variedades copas mencionadas anteriormente, a introdução de novas variedades de uvas tintas e brancas, ainda não testadas em Minas Gerais, baseia-se em variedades mundialmente cultivadas, com aptidão para vinhos finos jovens e de guarda, vinhos rosés, vinhos de colheita tardia, além de muitos deles serem usados em cortes mundialmente famosos como o vinho GSM, um blend clássico francês de Grenache, Syrah e Mourvèdre, podendo assim oferecer alternativas ao vinicultor para atender a demanda dos consumidores pela maior diversificação de rótulos. No entanto o manejo de dupla poda exige da planta vigor suficiente para suportar os dois ciclos de crescimento, sendo assim deve-se favorecer a adaptação dessas novas variedades a dupla poda e a utilização de porta-enxertos que possam conferir o vigor torna-se um meio prático para auxiliar esse manejo.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivos: i) avaliar o desempenho ecofisiológico e agrônômico das videiras Merlot, Cabernet Sauvignon e Syrah enxertadas em oito porta-enxertos capazes de conferir vigor baixo, moderado ou elevado à cultivar copa; ii) avaliar o potencial produtivo e qualitativo de novas variedades de uvas ainda não cultivadas sob o manejo de dupla poda.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Panorama da produção, importação e consumo de vinhos finos no Brasil**

De acordo com a legislação brasileira, o vinho é uma bebida fermentada de uvas, com graduação alcoólica de 8,6 a 16° GL (Gay Lussac), à temperatura de 20°C, e pode ser classificado em vinho fino, vinho nobre e de mesa comum (BRASIL, 2004; BRASIL, 2018). O vinho fino e nobre são elaborado somente com videiras europeias (*Vitis vinifera*), que apresentam um conjunto completo e harmônico de características organolépticas próprias; o vinho de mesa comum é elaborado a partir uvas americanas (*Vitis labrusca*, *Vitis bourquina*) e híbridas, de sabor intenso e frutado com presença do aroma foxado, característico dessas cultivares. Diferente dos demais países, onde os vinhos finos são elaborados e consumidos em maior volume, o vinho de mesa comum representa em torno de 80% dos vinhos nacionais, tornando o mercado dos vinhos brasileiros peculiar. Apesar da tendência mundial de redução de consumo de vinhos em termos quantitativos e um aumento pelo consumo de vinhos de melhor qualidade, o consumo de vinho no Brasil tem apresentado crescimento acentuado nas duas últimas décadas (Almeida, 2015).

O Brasil é um país continental e sua diversidade climática permitiu o desenvolvimento de diferentes regiões produtoras de vinhos, cada uma com sua particularidade, gerando vinhos e espumantes de alta qualidade. Historicamente os primeiros registros vitivinícolas brasileiros são do século XVI com a introdução da videira na época do descobrimento do País pelos portugueses, entretanto o maior desenvolvimento desse setor surgiu na região Sul durante o final do século XIX com a vinda de imigrantes italianos, que desenvolveram a primeira região produtora de vinhos, encontrando nas terras altas das serras do sul local propício para o cultivo de vinhedos (Tonietto e Falcade, 2018). A região apresenta baixas temperaturas durante o inverno e verão quente e chuvoso, o que propicia

um clima ótimo a produção de vinhos jovens e principalmente espumantes.

Outra região brasileira que produz vinhos é o Vale do Submédio do São Francisco localizado entre dois estados, Pernambuco, onde começou a ser uma atividade socioeconômica importante em meados dos anos 1980, e na Bahia a partir dos anos 2000. Em relação a produção, até 2013 elaboravam-se nessa região apenas vinhos finos; somente nos últimos 5 anos que os vinhos comuns de mesa começaram a representar um volume expressivo. Nas condições de clima quente e seco, com baixa pluviosidade, a principal característica é que ocorrem duas podas e duas colheitas anuais, e a data da poda e da colheita das uvas é definida pelo produtor, em função das condições climáticas (evitando-se os períodos chuvosos), das demandas do mercado, da capacidade de estocagem e vinificação, dos tipos e estilos de vinho a serem elaborados.

Na região Nordeste, atualmente elabora-se cerca de 4 milhões de litros de vinhos finos por ano, contando com uma área de vinhedos de aproximadamente 400 hectares. Desta produção, cerca de 70% do volume são de espumantes (2 milhões e 800 mil litros de vinhos), dos quais cerca de 50% (1 milhão e 400 mil litros) são moscatéis, enquanto que os outros 50% são espumantes finos bruts ou *démi-secs*, podendo ser brancos ou rosados. Além destes, cerca de 29% dos vinhos são tintos, entre vinhos jovens e de guarda, secos ou suaves, com apenas 1% de vinhos brancos, entre secos e suaves (Pereira et al., 2018).

Nos estados da região Sudeste brasileira, a produção de uvas para vinhos finos concentra-se em regiões de clima subtropical de altitude (Mello, 2016). Os vinhos finos são elaborados com uvas amadurecidas durante o outono e colhidas no inverno, dando origem aos denominados “vinhos de colheita de inverno” ou “vinhos de inverno”. A alteração da época de colheita foi possível devido a técnica de dupla poda desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, que permite transferir a época de maturação das uvas para um período de melhores condições climáticas (Regina et al., 2011a). Atualmente, estes vinhos têm ganhado destaque no cenário nacional de vinhos finos devido

a sua alta qualidade.

Atualmente, a área de produção vitivinícola no Brasil soma 79,1 mil hectares, com mais de 1,1 mil vinícolas espalhadas pelo país, a maioria instalada em pequenas propriedades (média de 2 hectares de vinhedos por família). O país se consolidou como o quinto maior produtor da bebida no Hemisfério Sul e certamente é um dos mercados que cresce mais rapidamente no globo (IBRAVIN, 2019).

Levantamentos da União Brasileira de Vitivinicultura – UVIBRA, 2019, detalham a produção de vinho na região Sul, e os dados de 2018 mostram que apesar de um grande volume 257.082.856 de litros, dentre os quais 38.707.220 de litros são de vinhos finos, houve uma retração na produção de vinhos finos comparado ao ano anterior (44.537.870 de litros), numa ordem de 13%. Essa queda está associada principalmente às condições climáticas desfavoráveis enfrentadas pelos vitivinicultores nos últimos anos. Além disso, o consumo de vinhos finos no mesmo período caiu de 15.589.144 para 14.682.980 de litros, em torno de 6%, os espumantes em torno de 3%, de 11.907.055 para 11.540.188 de litros, porém com aumento do consumo de vinhos espumantes moscatéis, próximo aos 17%, de 5.497.476 para 6.409.939 de litros.

As importações de vinhos também acompanharam o decréscimo entre os anos de 2017 e 2018. O valor total de vinhos finos importados caiu 18%, de 134.163.009 para 109.978.060 litros, sendo a maioria das importações provenientes de países como Chile, Argentina, Portugal e Itália. Já os vinhos espumantes, na sua maior parte trazidos da França, Itália e Espanha, tiveram uma redução drástica na importação de 27.485.327 para 9.165.991 litros, em torno de 67%. Essa retração está ligada ao momento econômico que vive o Brasil, que tem influência direta nas importações desses produtos (UVIBRA, 2019).

Apesar desse decréscimo na produção de vinho no Sul do País, a área cultivada com videiras no Brasil vem crescendo. No estado do Rio Grande do Sul, que concentra mais de 60% da área vitícola nacional, ocorreu incremento de 0,61% na área cultivada com videiras,

atingindo 50.044 ha. No Vale do São Francisco, localizado na Região Nordeste do país, ocorreu incremento na área com videiras de 4,83% em Pernambuco e o maior aumento ocorreu no Sudeste, onde os estados de maior importância, São Paulo e Minas Gerais, tiveram suas áreas ampliadas em 1,74% e 6,43%, respectivamente.

## **2.2 Manejo da dupla poda e vinhos de inverno: histórico e situação atual**

Nas tradicionais regiões produtoras de uvas das regiões do Sul e Sudeste do Brasil, a videira é comumente podada em agosto, a maturação inicia-se em dezembro, e a colheita é escalonada entre janeiro e fevereiro, em função da precocidade da variedade. Porém, nesse ciclo as temperaturas elevadas associadas ao alto índice pluviométrico, durante o período de vegetação, produção e maturação das bagas, induzem a um desenvolvimento vegetativo vigoroso, levando o crescimento dos ramos a competir com os frutos pelo acúmulo dos carboidratos gerados pela atividade fotossintética e impedindo a maturação completa das uvas, notadamente da maturação fenólica, importante para elaboração de vinhos encorpados e de guarda, além de aumentar a incidência de doenças fúngicas (Guerra, 2002).

Nesse contexto, foi desenvolvido o manejo da dupla poda. Essa técnica de poda consiste numa primeira poda de formação dos ramos realizada em agosto, seguida da eliminação dos cachos no período da baga com tamanho chumbinho ou de ervilha. Os ramos estarão maduros a partir de janeiro, quando uma nova poda é realizada, seguida de aplicação de cianamida hidrogenada na concentração de 5%, para estimular a brotação. As temperaturas médias ambientais do verão, aliadas à existência de água em abundância no solo permitem o relançamento de um novo ciclo vegetativo da videira, em que a maturação e colheita coincidem com os meses de maio a julho, época em que as condições são ideais à maturação e colheita das uvas para elaboração de vinhos de qualidade (Amorim et al., 2005; Favero et al., 2008; Regina et al., 2011b).

Os primeiros experimentos buscando explorar esses princípios foram instalados no ano de 2001, em Três Corações, e os resultados permitiram validar que videiras da cultivar Syrah, podadas em janeiro manifestam um novo ciclo de vegetação e produção normais, com índices de brotação, fertilidade das gemas, maturação e sanidade nitidamente superiores àqueles observados para essa mesma cultivar durante o verão (Amorim et al., 2005; Favero et al., 2008).

O conceito da dupla poda da videira é recente e permitiu um grande avanço qualitativo dos vinhos do sudeste brasileiro, surpreendendo consumidores e especialistas pela alta qualidade e o potencial reconhecido em diversos concursos nacionais e internacionais da área enológica (Brant et al., 2018). A dupla poda, ao transferir o período de maturação da uva de uma estação com dia e noite quentes e alta pluviosidade (verão) para uma estação seca e com elevada amplitude térmica, com temperaturas amenas durante o dia e noites frias (outono-inverno), favorece o acúmulo de açúcares e a síntese de compostos fenólicos nas bagas quando comparadas ao ciclo de verão (Mota et al., 2010; Favero et al., 2011).

O vinho de inverno é uma denominação dada ao vinho produzido a partir de uvas (*Vitis vinifera*) colhidas durante o inverno, em vinhedos submetidos ao regime de dupla poda. Atualmente, a maior produção está concentrada majoritariamente no Sudeste brasileiro, principalmente nos municípios dos estados de Minas Gerais e São Paulo. De acordo com Brant et al. (2018), atualmente, os vinhedos sob o manejo de dupla poda, ocupam uma área próxima de 400 hectares, com produção total em torno de 1,6 mil toneladas anuais, entretanto existem novas áreas em implantação. Os vinhedos sob dupla poda encontram-se implantados e distribuídos em diversas cidades nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Outros municípios, como Baependi (Minas Gerais), Patrocínio (Minas Gerais), Ribeirão Branco (São Paulo) e Ribeirão Preto (São Paulo), implantaram vinhedos recentemente, e viticultores já estabelecidos na região devem expandir sua área de produção nos próximos anos (Brant et al., 2018).

Alguns vinhedos estão sendo implantados nas regiões de altitude do Centro-Oeste e Nordeste, como nos estados da Bahia e Goiás para produção de vinhos finos de inverno. Nessas regiões, assim como na maior parte do Sudeste, as chuvas encerram-se a partir de abril e as temperaturas do ar nesse período permitem a ocorrência de um novo ciclo da videira (Amorim et al., 2005; Tonietto et al., 2006). Atualmente existem diversos produtores de vinhos de inverno, com destaque à Estrada Real (Três Corações - MG), Maria Maria (Três Pontas - MG), Casa Geraldo (Andradas – MG), Stella Valentino (Andradas – MG), Villa Mosconi (Andradas – MG), Guaspari (Espírito Santo do Pinhal – SP), Casa Verrone (Itobi - SP) e Villa Santa Maria (São Bento do Sapucaí – SP). Nos últimos anos os vinhos de inverno têm ganhado bastante destaque, reconhecidamente através de diversas premiações em concursos nacionais e internacionais.

Em 2016 foi criada a Associação Nacional de Produtores de Vinhos de Inverno (ANPROVIN) com o objetivo principal de valorização do produto e criação de uma marca coletiva “Vinhos de Inverno” que servirá como base a uma futura Indicação de Procedência (IP). Pretende-se buscar a identidade regional para os vinhos produzidos no Sudeste do país, valorizar o terroir e oferecer aos consumidores vinho de alta qualidade além de contribuir para a vitivinicultura brasileira (Brant et al., 2018).

O setor vitivinícola do Sudeste, entretanto, sofre com alguns entraves produtivos e na diversificação da oferta de vinhos. Das variedades testadas inicialmente, as que mais se adaptaram a esta técnica foram a Syrah, cultivar tinta e a Sauvignon Blanc, cultivar branca, que apresentaram dados de produção e qualidade compatíveis com a produção comercial de vinhos finos, e superiores àqueles verificados para a mesma cultivar em ciclo de verão (Regina et al., 2009).

O sucesso da adaptabilidade da cultivar Syrah ao manejo da dupla poda deve-se ao seu elevado vigor e fertilidade das gemas (Fregoni, 1999), comparado a Merlot e Cabernet Sauvignon que apesar de serem relativamente vigorosas (Orlando et al., 2008; Plantgrape,

2019), sob condições de dupla poda apresentam produtividade aquém do ideal, provavelmente afetadas pelas condições de baixa temperatura no outono-inverno. A baixa fixação de frutos pode resultar de variações de temperatura, nutrição, estresse hídrico e Cabernet Sauvignon e Merlot são cultivares conhecidas por serem suscetíveis a baixo pegamento de frutos em climas frios (Collins e Dry, 2009; Dry et al., 2010; Kidman et al., 2013). Uma forma de induzir maior vigor reprodutivo durante o outono-inverno nessas variedades pode ser a enxertia sobre porta-enxertos vigorosos.

### **2.3 Importância dos porta-enxertos na vitivinicultura**

Atualmente todas as variedades de *Vitis vinifera* são enxertadas em espécies do gênero *Vitis* de origem americana, tolerantes ou resistentes à filoxera (*Daktulosphaira vitifoliae*), afídeo responsável pela devastação dos vinhedos europeus em meados do século XIX e posterior disseminação para outras regiões vitícolas do mundo. O ataque às raízes da espécie *Vitis vinifera*, causa o apodrecimento do sistema radicular, devido a incidência de patógenos secundários no local da picada, ocasionando a morte das plantas (Granett et al., 2001). Desde o surgimento e disseminação desta praga, a enxertia da videira não é obrigatória apenas em regiões não filoxerantes como Chile (Gale, 2003) e algumas regiões da Austrália (Whiting, 2012). Grande parte dos porta-enxertos americanos usados para produção de vinhos finos são híbridos oriundos de três espécies (*Vitis riparia*, *Vitis rupestris* e *Vitis berlandieri*), e a hibridação tornou-se necessária para contornar diversos problemas que surgiram com o advento do uso de porta-enxertos, como adaptação a diferentes tipos de clima e solo (Jackson, 2008), embora também sejam usadas variedades de uma única espécie como Riparia Gloire (*Vitis riparia*) e Rupestris du lot (*Vitis rupestris*) (Ollat et al., 2016).

A *Vitis riparia* apresenta um ciclo vegetativo curto, adaptado a condições de pouca luminosidade e clima frio, é tolerante à filoxera e resistente a algumas doenças fúngicas,



apresenta sensibilidade a solos calcários e essa espécie não apresenta sistema radicular profundo, por crescer naturalmente em ambientes com água abundante, consequentemente sendo suscetível à seca, (Cousins, 2005; Dry, 2007; Keller, 2010). As suas estacas enraízam facilmente e têm bom pegamento na enxertia; confere boa produtividade e antecipação da maturação às variedades copa. “Riparia Glorie de Montpellier” é o porta-enxerto mais importante dessa espécie (Dry, 2007; Jackson, 2008).

A *Vitis rupestris* é uma espécie que apresenta tolerância moderada a solos calcários e tem hábito arbustivo, raízes profundas, mas é pouco tolerante à seca em solos rasos (Dry, 2007; Keller, 2010). Seu ciclo vegetativo é longo e as estacas enraízam com facilidade, além de conferirem bom pegamento na enxertia. Várias seleções de *V. rupestris* são usadas diretamente como porta-enxertos; sendo “Rupestris du lot” e “St. George” as variedades mais importantes (Dry, 2007). A *Vitis berlandieri* é natural do centro do estado do Texas e leste do México, crescendo em colinas de calcário, o que a torna uma das poucas espécies americanas com boa tolerância a solos calcários (Keller, 2010), apresenta um longo ciclo vegetativo e é muito resistente à filoxera (Dry, 2007). Não há seleções diretas de porta-enxertos de *V. berlandieri* e suas estacas são muito difíceis de enraizar (Cousins, 2005).

A hibridação simples entre essas três espécies desenvolveu a maioria dos porta-enxertos utilizado na viticultura atual sendo alguns desses: 3309 C, 101-14 Mgt, Scharzmann e 3306 C (*Vitis riparia x Vitis rupestris*), SO4, Teleki 5C, Kober 5BB e o 420A Mgt (*Vitis berlandieri x Vitis riparia*) e 99 Richter, 110 Richter, 140 Ruggeri e o Paulsen 1103 (*Vitis berlandieri x Vitis rupestris*), (Dry, 2007).

Além do combate a filoxera os porta-enxertos também passaram a ser usados como defesa das plantas contra outros patógenos como nematoides e cochonilhas (Whiting, 2003; Wallis et al., 2013), para aumentar a produtividade sob condições ambientais adversas, como baixa disponibilidade hídrica (Serra et al., 2013), acidez (Alvarenga et al., 2002), salinidade ou má nutrição (Habran et al., 2016). Os porta-enxertos também se tornaram uma ferramenta

poderosa para manipular o crescimento e frutificação da videira visto que podem alterar as relações hídricas (Souza et al., 2009), vigor vegetativo (Keller et al., 2001), produtividade e qualidade das bagas (Nuzzo e Mathews, 2006).

Os efeitos do porta-enxerto sobre a composição das bagas e, conseqüentemente sobre a qualidade dos vinhos, são decorrentes do impacto sobre o vigor da planta e exposição dos cachos à luz solar (Keller, 2010). Na vitivinicultura tradicional, voltada à elaboração de vinhos finos, busca-se porta-enxertos menos vigorosos que favorecem o equilíbrio entre área foliar e frutos (Dry e Loveys, 1998). Videiras muito vigorosas, com excesso de área foliar, tendem a produzir cachos com elevada acidez e baixa concentração de açúcares, além de favorecerem a incidência de míldio e podridões dos cachos, devido ao aumento da umidade e sombreamento no interior do dossel vegetativo (Jakson e Lombard, 1993). Além disso, o aumento do auto sombreamento das folhas, devido ao elevado vigor, pode produzir uvas com alta concentração de potássio no mosto, responsável pela redução da relação tartarato/malato que acarreta aumento do pH e instabilidade no mosto e vinhos, favorecendo a oxidação, atividade microbiana e redução da intensidade de cor (Mpelasoka et al., 2008).

Deve-se considerar ainda que as alterações resultantes do porta-enxerto podem variar entre as diferentes regiões produtoras, pois dependem da complexa interação com a variedade copa e as condições edafoclimáticas de cultivo. Fatores como características genéticas da cultivar e porta-enxerto, propriedades físico-química do solo e condições climáticas podem induzir diferentes respostas em relação ao vigor, rendimento da videira, composição da uva e conseqüentemente do vinho e seus atributos sensoriais. Sendo assim, nem sempre a mesma combinação de enxertia terá os mesmos resultados em regiões distintas. Para exemplificar, enquanto o porta-enxerto 41B tem sido o mais indicado para uva Pinot Noir nos solos calcários de Champagne (Duteurtre, 2010), nos solos pedregosos dos vinhedos suíços do cantão do Valais, a mesma combinação Pinot Noir/41B apresenta reduzido vigor e alta sensibilidade à seca (Spring et al., 2016). Outro exemplo a ser destacado é o efeito do porta-

enxerto 101-14 Mg na produção da uva Cabernet Sauvignon, onde em vinhedos chineses a produção foi acima de 3 kg planta<sup>-1</sup>, (Wang, 2019), enquanto que sob dupla poda no Sudeste Brasileiro apresentou baixa produção (0,6 kg planta<sup>-1</sup>), (Souza et al., 2015).

### **2.3.1 Alterações agronômicas e ecofisiológicas da videira decorrentes do uso de porta-enxertos**

Na videira, como em qualquer outra planta enxertada, as funções metabólicas estão divididas entre dois genótipos diferentes. Assim, a área foliar do enxerto assegura a produção de fotoassimilados e o sistema radicular do porta-enxerto é responsável pela absorção de água e nutrientes. Os porta-enxertos não alteram as características geneticamente determinadas das uvas como cor e flavor, mas podem, indiretamente, alterar componentes como açúcares, acidez, pH e compostos fenólicos, pelos efeitos diretos sobre o vigor e produção (Keller et al., 2010).

De forma geral, os porta-enxertos influenciam o desenvolvimento da variedade copa, principalmente em função do número e tamanho de raízes e de radículas, anatomia de vasos condutores, distribuição e/ou eficiência aparente na captação e transporte de água que impactam no desenvolvimento da copa (Bordin et al., 2003; Tramontini, et al., 2012; Santarosa et al. 2016). Estima-se que apenas 40% do sistema radicular de culturas perenes esteja em contato com água no solo, portanto, videiras com maior densidade de raízes podem ser mais eficientes na extração da água disponível no solo (Atkinson, 1980; Archer e Strauss, 1985; Archer, 1986). Vários estudos mostram o impacto dos porta-enxertos no potencial hídrico foliar ( $\Psi_{folha}$ ) das videiras, variável ecofisiológica utilizada para avaliar estado hídrico das plantas (Scholander et al., 1965).

Em trabalho realizado com a cultivar Cabernet Sauvignon enxertada sobre dois porta-enxertos, Koundouras et al. (2008) avaliaram a adaptação destes em relação à disponibilidade

de água no solo na região central da Grécia. O crescimento dos ramos e a área foliar foram afetados pelos porta-enxertos, tendo o SO4 proporcionado maior hidratação da planta (-0,95 MPa) em relação ao 1103 Paulsen (-1,01 MPa), sendo superior em todos os níveis de irrigação avaliados. Essa situação foi considerada uma estratégia para manter o nível de água e as trocas gasosas das folhas. Alsina et al. (2011) avaliaram as relações hídricas na cultivar Merlot enxertada nos porta-enxertos 1103P e 101-14 Mgt. Os autores observaram que pode haver diferença na capacidade de absorção de umidade do solo pelo porta-enxerto em diferentes épocas do ano.

O estado hídrico do solo e conseqüentemente da planta influenciam na capacidade fotossintética das folhas (Williams et al., 1994), principalmente em função do fechamento estomático resultando na redução da produção de carboidratos (Prior et al., 1992; Zhu, 2001). O uso de porta-enxertos com capacidade de manter o balanço hídrico se torna fundamental, respondendo à baixa disponibilidade hídrica através de alterações na anatomia, em padrões de crescimento e através de substâncias químicas e físicas sinalizadoras relacionadas à regulação estomática. Essas características reduzem impactos sobre o acúmulo de açúcares nas bagas e o armazenamento de reservas pelas videiras (Ulas, Güler e Candemir, 2014). Koundouras et al. (2008) verificaram redução da fotossíntese de Cabernet Sauvignon em função de déficits de irrigação. Os autores observaram, aos 215 dias de avaliação, que a taxa fotossintética no porta-enxerto SO4 foi próximo a  $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  enquanto no 1103 Paulsen o valor foi próximo a  $4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , resultado de um menor potencial hídrico do caule e maior fechamento estomático decorrente de um porta-enxerto menos vigoroso. Na cultivar 'Fantasy Seedless', Somkuwar et al. (2015) verificaram que os porta-enxertos de médio vigor como SO4 e 110 Richter apresentaram valores de taxa fotossintética superiores aos porta-enxertos menos vigorosos Salt Creek, 1613 C e 41B.

Além da captação de água, a absorção de nutrientes pode ter um impacto significativo no vigor da videira, acúmulo de açúcares, rendimento produtivo, entre outros aspectos (Serra

et al., 2013). Dentre os nutrientes absorvidos pelas videiras, o nitrogênio (N) tem o maior impacto. Alta absorção de N aumenta o desenvolvimento da parte aérea causando auto-sombreamento, afetando a fotossíntese e reduzindo o acúmulo de açúcar nas bagas (Crippen e Morrison, 1986; Dokoozlian, 1990). Videiras de Cabernet Sauvignon e Sauvignon Blanc submetidas a diferentes níveis de N aplicados foram influenciadas pela interação enxerto/porta-enxerto, onde maior absorção e área foliar foram superiores quando enxertadas em 110 Richter principalmente quando a teor do nutriente foi limitado (Helwi et al., 2015).

Excesso de vigor vegetativo contribui também para o aumento da sensibilidade a doenças fúngicas, como a podridão cinzenta causada pelo fungo *Botrytis cinerea* (Bell e Henschke, 2005). Pode acarretar também o sombreamento das gemas latentes com menor fertilidade no ciclo subsequente (Perez e Kliewer, 1990; Sanchez e Dokoozlian, 2005; Vasconcelos et al., 2009).

O maior sombreamento dos cachos reduz a degradação de ácidos orgânicos, principalmente do ácido málico (Kliewer, 1961; Kliewer, 1968; Lakso e Kliewer, 1978). Além disso, outros componentes de qualidade podem ser afetados. Em vinhedos com copas densas, as cascas das bagas sombreadas apresentam concentrações mais baixas de flavonol e proantocianidinas em comparação com as bagas totalmente expostas (Koyama et al., 2012).

A combinação de luz e temperatura é necessária à síntese de antocianinas, proantocianidinas e taninos na casca das bagas (Downey et al., 2004; Tarara et al., 2008). Alguns autores relatam que o sombreamento tem pouco efeito no amadurecimento das frutas e no acúmulo de açúcar, mas aumenta o pH e a acidez titulável do mosto (Ristic et al., 2007; Matus et al., 2009) o que pode ocasionar vinhos desbalanceados, com pouca cor e com pouca capacidade de envelhecimento.

Além disso, o nitrogênio (N) também influencia a síntese de metabólitos primários, como os açúcares e ácidos orgânicos (Maigre, 2002; Rodriguez-Lovelle e Gaudillere, 2002), assim como os metabólitos secundários, como aminoácidos, fenólicos totais, flavonóides e

compostos aromáticos, como tióis voláteis e seus precursores (Choné et al., 2006; Lacroux et al., 2008; Soubeyrand et al., 2014).

Deve-se mencionar que o N e o potássio (K) apresentam interação sinérgica (Rietra et al., 2015), ou seja, quanto maior a absorção de N maior é a absorção de K. O papel do K é fundamental na formação de açúcar e amido nas videiras (Mpelasoka et al., 2003), porém seu acúmulo nas bagas e um aumento do seu teor no mosto leva a formação de bitartarato de potássio no vinho, diminuindo a acidez da bebida, aumentando o pH e acelerando a oxidação dos vinhos com o passar do tempo (Mpelasoka et al., 2003; Davis et al., 2006). O efeito do K no vinho torna-se fator preponderante no manejo de adubação, principalmente quando o vinhedo está enxertado sobre porta-enxertos com maior capacidade de absorção de K como o 101-14 Mgt (Kondur et al., 2010).

Diversos estudos são apresentados na literatura mostrando o efeito dos porta-enxertos no aumento da produtividade em videiras. Kidman et al. (2013) avaliaram o desenvolvimento reprodutivo de videiras de Merlot e Cabernet Sauvignon em pé-franco e enxertadas em 4 porta-enxertos. Merlot enxertado em Ramsey e Teleki 5C teve a massa de baga significativamente maior do que ambas as videiras em pé franco e 1103 Paulsen. Além disso, o peso do cacho da Merlot foi significativamente menor para pé franco do que Teleki 5C, Ramsey e Schwarzmann. Para Cabernet Sauvignon não houve diferença entre os tratamentos. Nuzzo e Matthews (2006) verificaram que a cultivar Cabernet Sauvignon apresentou maior produção por planta sobre o porta-enxerto 1103 Paulsen quando comparado aos porta-enxertos Teleki 5C, 110 Richter e 140 Ruggieri.

De fato, os porta-enxertos influenciam a produção das plantas, porém é necessário destacar que na viticultura voltada à obtenção de vinhos finos, a qualidade da uva é mais importante do que a produção e a escolha do porta-enxerto tem uma importância particular em razão da sua influência direta sobre o vigor, produção e qualidade das uvas (Pouget e Delas, 1989). O efeito da produção sobre a qualidade foi observado em videiras de Cabernet

Sauvignon sobre diferentes porta-enxertos. Neste estudo, cachos considerados de menor qualidade foram obtidos a partir das videiras mais produtivas, enxertadas sobre 1103 Paulsen, 99 Richter, 110 Richter e Dogridge (Miele e Rizzon, 2017).

Entretanto, Souza et al. (2015), verificaram que Cabernet Sauvignon, cultivada em regime de dupla poda, sob os porta-enxertos Kober 5BB, SO4, 1045 Paulsen e IAC 766 (porta-enxertos de médio a alto vigor) apresentou produção superior aos porta-enxertos 1103 Paulsen e 101-14 Mgt. Porém, o aumento do vigor das videiras não impactou negativamente os teores de antocianinas e compostos fenólicos. Em geral, neste caso, como estes porta-enxertos não apresentaram diferenças significativas na qualidade, a escolha do porta-enxerto pode basear-se principalmente na produtividade.

Dias et al. (2017) verificaram variação na composição do vinho em experimento conduzido com Syrah sob manejo de dupla poda. Os porta-enxertos IAC766, Rupestris du Lot e Kober 5BB aumentaram a produção das videiras sem prejuízo na qualidade da uva. Os dois porta-enxertos mais produtivos e vigorosos (Rupestris du Lot e IAC766) também induziram composição fenólica suficiente e equilíbrio no balanço acidez/teor alcoólico. Miele e Rizzon, (2019 a e b) não verificaram diferenças na maioria dos componentes físico-químicos do mosto e do vinho de Cabernet Sauvignon enxertada em 15 porta-enxertos, apenas sobre o teor de álcool, acidez total e cinzas. A avaliação sensorial destes vinhos não detectou diferença dos porta-enxertos em nenhuma variável relacionada às características sensoriais.

O bom desenvolvimento da videira sob determinadas condições edafoclimáticas é resultado da interação entre copa e porta-enxerto e é necessário salientar que a copa também exerce efeito no desenvolvimento do sistema radicular do porta-enxerto, uma vez que o suprimento energético das raízes vem da translocação de fotoassimilados e de hormônio de indução de crescimento produzidos na parte aérea. Tandonnet et al. (2010) concluíram que o desenvolvimento radicular, incluindo o comprimento e a estrutura do sistema radicular dos

genótipos de porta-enxertos, é fortemente influenciado pelo genótipo da copa.

### **2.3.2 Porta-enxertos em vinhedos sob dupla poda**

O primeiro estudo com porta-enxertos sob dupla poda foi realizado por Dias et al. (2012), que avaliaram o desempenho da videira Syrah sobre três porta-enxertos no sul de Minas Gerais. Os autores verificaram diferença em relação ao vigor entre os tratamentos, com menor produção de biomassa nas videiras sobre o porta-enxerto 1103 Paulsen, comparadas ao Richter 110 e SO4. Entretanto, o '1103 Paulsen' induziu melhor equilíbrio entre vigor e produção, favorecendo a qualidade da uva. Posteriormente, dois trabalhos avaliaram, em vinhedos sob dupla poda, o desempenho da Cabernet Sauvignon (Souza et al. 2015) e Syrah (Dias et al., 2017) em uma gama maior de porta-enxertos.

Estes estudos indicam que porta-enxertos mais vigorosos podem ser uma alternativa ao tradicional 1103Paulsen para o manejo da dupla poda. De acordo com Souza et al. (2015), apesar do porta-enxerto não ter afetado o estado hídrico e trocas gasosas da videira Cabernet Sauvignon, submetida a dupla poda em uma região de alta altitude (1.100 m), as maiores produções foram observadas nas videiras enxertadas sobre Kober 5BB, 1045 Paulsen, SO4 e IAC 766, sem impacto negativo sobre pH, sólidos solúveis, acidez e compostos fenólicos. Dias et al. (2017) também avaliaram o desenvolvimento e produção de videira Syrah sobre oito porta-enxertos em regime de dupla poda, no Sul de Minas. Os autores verificaram que, nas duas safras avaliadas, as videiras enxertadas sobre IAC 766 e Rupestris Du Lot apresentaram o maior vigor vegetativo sem prejuízo à composição química das bagas e do vinho Syrah.

Esses estudos demonstram que porta-enxertos tropicais, desenvolvidos para uva de mesa por Santos Neto em 1958 (Souza e Martins, 2002), como o IAC 766 Campinas (Riparia do traviu x *Vitis caribaea*) tem se mostrado uma boa opção para suportar melhor os dois



ciclos de crescimento, aumentando a produção das videiras Cabernet Sauvignon e também da Syrah sob manejo de dupla poda. Apesar de ser considerado um porta-enxerto extremamente vigoroso, sob as condições de baixas temperaturas e umidade do solo durante o outono-inverno, o IAC 766 não teve impacto negativo na composição das bagas. Além disso, para vinhedos sob dupla poda, as plantas necessitam de uma maior eficiência no acúmulo de reservas para suportar dois ciclos de crescimento por ano.

O emprego de porta-enxertos mais vigorosos, portanto, pode ser uma boa estratégia para viabilizar o cultivo de variedades que não tem apresentado rendimento satisfatório em vinhedos sob a dupla poda, como a Merlot e Cabernet Sauvignon enxertadas em 1103 P. Diante da complexa interação entre copa e porta-enxerto, condições edafoclimáticas e manejo, os estudos regionais sobre adaptação de porta-enxertos são de extrema importância para a vitivinicultura, visando melhorar o desempenho agrônomico e enológico das cultivares produtoras, de acordo as particularidades de solo e clima dos vinhedos, em especial aqueles sob dupla poda.

### **3. Importância das cultivares na vitivinicultura**

O Brasil pertence ao chamado novo mundo vitivinícola, juntamente com Chile, Argentina, Estados Unidos, África do Sul, Austrália, cuja base de produção de vinhos finos são variedades originadas dos tradicionais países produtores de vinhos da região mediterrânea. Em geral são variedades cosmopolitas, cujos vinhos gozam de renome internacional como vinhos varietais. Todavia, existem também variedades cuja adaptação e qualidade dos vinhos a que dão origem se destacaram em determinadas condições específicas dos novos países vitivinícolas, tornando-se variedades emblemáticas.

Alguns exemplos são a Syrah na Austrália, a Carménère no Chile, a Tannat no Uruguai, a Malbec na Argentina e a Merlot e o Riesling Itálico no Sul do Brasil (CAMARGO

et al., 2016). Na região Sudeste, onde o desenvolvimento e a produção de vinhos finos é relativamente recente, foram avaliadas poucas variedades de videira, com melhor adaptabilidade para Syrah e Sauvignon Blanc, em vinhedos sob dupla poda (Regina et al., 2011), gerando pouca oferta para atender os diferentes interesses dos consumidores.

A percepção sensorial do vinho é extremamente complexa pois, além do grande número de compostos aromáticos como terpenos, ésteres, metoxipirazinas e aldeídos que conferem aromas e sabores distintos, como florais, frutados, pimenta e amadeirados ao vinho, existe também outras características como o sabor do vinho que pode ser descrito como doce, azedo, salgado e amargo, resultado da presença de compostos de açúcar, poliol, sal, polifenol e compostos flavonóides, além de glicerol, taninos, polissacarídeos e manoproteínas que contribuem para a estrutura e viscosidade, antocianinas responsáveis pela cor e etanol que proporciona o efeito de aquecimento da boca (Bloem et al., 2007; Gonzalez et al., 2007; Bloem et al., 2008; Obreque-Slier et al., 2010; Butzke e Park, 2011; Styger et al., 2014).

Todos esses compostos variam entre as variedades de videiras, como por exemplo algumas mais tânicas como a Tannat e Syrah (González-Nevez e Ferrer, 2012) outra menos como a Pinot Noir e a Gamay (Kemp et al., 2011), cada uma contendo uma particularidade na sua composição permitindo a diversificação dos vinhos produzidos e ofertados. Além disso, cada variedade apresenta descritores aromáticos variando em tipo de aroma (frutados, herbáceos, especiarias, florais, entre outros) e intensidade aromática.

Alguns exemplos são aromas de frutas tropicais como manga, maracujá e abacaxi, aromas herbáceos de grama cortada em vinhos de Sauvignon Blanc; aroma vegetal de pimentão verde, especiarias como pimenta preta e aromas frutados como morango e framboesa em Cabernet Franc (Benkwitz et al. 2012; Winefolly, 2019a; Winefolly, 2019b). Isso mantém uma diversidade de aromas que varia entre os diversos vinhos, permitindo que o consumidor opte por aquele vinho mais adequado ao seu perfil de degustação. Sendo assim, o estudo de adaptação de novas cultivares ao manejo de dupla poda contribuirá para

diversificar os vinhos de colheita de inverno, uma vez que com mais variedades disponíveis, vinhos com diferentes perfis poderão ser ofertados pelos vitivinicultores.

### **3.1 Cultivares tintas**

#### **3.2.1 Cabernet Sauvignon**

A videira Cabernet Sauvignon e o vinho produzido, seja varietal ou em assemblage destaca-se entre os viticultores (Jacobs et al., 2016). Originária de Bordeaux, região da França, a Cabernet Sauvignon, fenologicamente tem brotamento e maturação tardios, com vigor e produtividade mediana (Rizzon e Miele, 2002). Atualmente, é a segunda cultivar vinífera tinta mais cultivada na Serra Gaúcha, sendo superada apenas pela Merlot, tendo produzido em 2017 em torno de 7,2 mil toneladas de uvas (Mello e Machado, 2019). É uma variedade muito dependente das condições edafoclimáticas e das estratégias de tecnologia e manejo usadas pelos viticultores (Bail et al., 2008). Pesquisa realizada por Jackson (2008) mostrou que este genótipo é o mais conhecido e mais estudado na Europa porque fornece vinhos de potencial superior e intenso em aromas, semelhantes às groselhas negras, quando as uvas são produzidas sob condições edafoclimáticas favoráveis. Apresenta baixo desempenho agrônômico em vinhedos sob dupla poda, com rendimento, geralmente, inferior a 4 t ha<sup>-1</sup> (Regina et al., 2011; Souza et al., 2015). Os vinhos de inverno produzido com essa variedade são encorpados e apresentam aromas com notas vegetais de pimentão, de frutas negras como a amora preta, e especiarias como a pimenta preta e pimenta branca (Manfroi et al., 2010).

#### **3.1.2 Carménère**

A videira Carménère foi importada de Bordeaux, França, para o Chile Central em

meados do século XIX, antes da devastação das videiras europeias devido a filoxera (Granett, 2004). No entanto, até meados da década de 90, foi confundida com Merlot e Cabernet Franc, que têm características ampelográficas semelhantes. Chile e sul da Itália são as únicas duas regiões do mundo que atualmente têm plantações significativas de Carménère. Essa variedade de maturação tardia se adapta bem a climas secos (Pszczolkowski, 2004). Apresenta cachos pequenos e bagas de tamanho moderado, com taninos razoavelmente ricos, às vezes com algum amargor, mas muitas vezes sem acidez (Plantgrape, 2019). A variedade Carménère produz vinhos complexos, marcados com aromas herbáceos e “verdes”. Os resultados indicam que as metoxipirazinas estão presentes em altas concentrações nessa variedade, provavelmente responsáveis pelo forte caráter vegetativo encontrado em seus vinhos (Belancic e Agostin, 2007).

### **3.1.3 Grenache**

A Grenache ou Garnacha é originalmente espanhola e foi introduzida na França na Idade Média. Esta variedade é muito vigorosa e deve ser submetida a poda curta. Adapta-se melhor a solos ligeiramente ácidos, de cascalho ou pedregosos (seixos), com baixo teor em cálcio. Exibe facilmente sintomas de deficiência de magnésio, é muito sensível ao míldio e à necrose das nervuras, podridão cinzenta e traça da videira. Por outro lado, não é muito sensível a ácaros. Os cachos de Grenache são de tamanho moderado a grande com bagas de tamanho moderado. Há um potencial muito alto de acúmulo de açúcar, mas a cor diminui à medida que os rendimentos aumentam. A acidez é geralmente baixa. A Grenache produz vinhos doces naturais e vinhos envelhecidos muito estruturados e aromáticos, desde que sejam plantados em terroirs de qualidade. O rendimento deve ser perfeitamente manejado para obter a cor apropriada. A casta Grenache é bastante utilizada em cortes com outras uvas, sendo encontrada em excelentes e maravilhosos rótulos com a casta Tempranillo na região

de Rioja e com a uva Syrah, na Austrália (Mistral, 2019; Plantgrape, 2019).

#### **3.1.4 Marselan**

Marselan é uma uva tinta obtida pelo cruzamento das cultivares ‘Grenache’ e ‘Cabernet Sauvignon’ realizado no Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), França em 1961 no Domaine de Vassal – INRA, próximo a cidade de Marseillan. Este cruzamento teve como objetivo gerar uma cultivar de bagas grandes, para aumentar a produção de vinhos. Porém o resultado apresentou cachos grandes e bagas muito pequenas (1,3g em média), o que na época era desinteressante. Com o passar do tempo, devido à mecanização das culturas, a busca de melhores clones capazes de se adaptar a condições climáticas diferenciadas, e a procura crescente do consumidor por vinhos de qualidade e com cor intensa, fez com que a ‘Marselan’ retornasse ao cenário da viticultura. Esta é uma casta relativamente insensível aos patógenos, adaptada às condições da cultura na França, com um rendimento médio, e produção de um vinho característico de excelente qualidade, pois o tamanho reduzido das bagas aumenta a proporção de cascas na vinificação e a concentração de compostos polifenólicos no vinho, resultando em um vinho de coloração intensa, com boa estrutura tânica e aromas que remetem a frutas negras e especiarias (INRA, 2019). Algumas vinícolas no sul do Brasil já produzem vinho com essa variedade, sendo elas a Casa Valduga, Viapiana, Salton e Casa Perini.

#### **3.1.5 Merlot**

Merlot é uma cultivar originária da região de Bordeaux, França, uma das responsáveis pela notoriedade dos vinhos de Saint-Émilion e Pomerol. É uma das cultivares mais plantadas no Brasil, e juntamente com outras cultivares de *Vitis vinifera*, marcou o início da

produção de vinhos finos varietais brasileiros na década de 1970. Atualmente, é a vinífera tinta mais cultivada no Brasil. Em 2017 atingiu produção em torno de 8,3 mil toneladas (Mello e Machado, 2019). O vinho tinto elaborado com a uva Merlot distingue-se pelo matiz, em que geralmente predomina o vermelho-violáceo, e pelo aroma frutado, com notas de frutas vermelhas (Rizzon e Miele, 2009). Gustativamente, ele impressiona pelo equilíbrio e maciez (Rizzon e Miele, 2003). Sob o manejo da dupla poda esta variedade apresenta alternância de produção, brotação desuniforme e baixa fertilidade de gemas. Seus vinhos de inverno apresentam médio corpo com aromas de frutas negras.

### **3.1.6 Mourvèdre**

A uva Mourvèdre, ou Monastrell, é uma variedade tinta amplamente cultivada em diversas áreas do Mediterrâneo ocidental durante séculos. Acredita-se que a Mourvèdre tenha se originado na Espanha e, nos dias de hoje, é cultivada em toda a Península Ibérica, no sul da França, na Austrália e na Califórnia. A Mourvèdre se adapta melhor em regiões com climas secos e quentes. É uma variedade de videira delicada, exigente e deve ser manejada com poda curta. Esta variedade, por vezes, demonstra níveis alternados de fertilidade e parece bem adaptada aos solos calcários profundos para permitir um fornecimento limitado, mas regular de água. O principal fator limitante para o crescimento desta variedade de ciclo tardio inclui o fato de que as temperaturas no momento da maturação da uva devem ser muito altas (especialmente temperaturas mínimas) para permitir um amadurecimento adequado e um acúmulo suficiente de açúcar nas bagas. A variedade apresenta bagas pequenas e de espessura média, combinação ideal para dar origem a vinhos com cor intensa e altos níveis de taninos. Os aromas da uva Mourvèdre são complexos e muito distintivos, assim como os seus taninos. Estas características tornam a variedade um potente ingrediente de mistura, principalmente com Syrah e Grenache (Mistral, 2019; Plantgrape, 2019).

### 3.1.7 Petit Verdot

A Petit Verdot é uma variedade originalmente do sudoeste da França, e apresenta-se como uma videira fértil e bastante produtiva. Produz brotos tenros, frágeis na base, bastante longos, com crescimento horizontal que necessita de sistema de condução. Está bem adaptada a solos com bastante cascalho. Esta variedade apresenta sensibilidade ao oídio e ácaros. Os cachos são de tamanho médio e as bagas são pequenas. As uvas de Petit Verdot, quando maduras, podem produzir vinhos muito estruturados com boa intensidade de cor e taninos. Estes vinhos de qualidade com potencial de envelhecimento, quando misturados, podem proporcionar corpo, cor e vivacidade aos blends. Sob condições climáticas favoráveis, a Petit Verdot pode produzir uvas ricas em açúcar, mantendo alta acidez (Plantgrape, 2019). Por esta característica, a variedade se adaptou bem no Nordeste sendo bastante cultivada no Vale do São Francisco, por permitir acidez elevada em condições tropicais (Pereira et al., 2007). Os aromas têm mais presença floral com notas de frutas maduras (Mistral, 2019).

### 3.1.8 Syrah

A Syrah, também conhecida como Shiraz, é uma das variedades de viníferas tintas que mais se adaptou às condições do Nordeste e Sudeste brasileiro, sendo também cultivada com boa adaptação na Austrália, Estados Unidos, África do Sul, Itália e Grécia. Ela é originária do Vale do rio do Rhône, na França, sendo a principal cultivar das denominações de origem Cotes Rôtie, Hermitage e Tain Hermitage (Camargo, 1994). Trata-se de uma cultivar muito vigorosa, com produção que varia entre 6 a 12 t ha<sup>-1</sup> em vinhedos conduzidos em espaldeira, respondendo muito bem a dupla poda (Favero 2008; Favero 2011), o que a tornou modelo nos estudos de manejo de vinhedos de ciclo de inverno. Origina vinhos de inverno de coloração intensa, bem encorpados, finos e complexos, aptos ao envelhecimento,

com presença de taninos maduros, revelando intensidade aromática com notas de frutas vermelhas como ameixa, framboesa, mirtilo e especiarias.

### **3.1.9 Tempranillo**

Tempranillo é uma variedade tinta, originária da região de La Rioja, no Norte da Espanha, e cultivada em todo o país. É usada em cortes com Carignan, contribuindo para os melhores vinhos de sua região de origem. Também é comum na Argentina e, em menor escala, em Portugal, especialmente nas regiões do Alentejo, onde é conhecida como Aragonez e no Vale do Douro, denominada Tinta Roriz. Tempranillo também é muito cultivada na Austrália. Não se adaptou bem ao clima da Califórnia, o que foi atribuído a sua baixa tolerância ao calor. É uma planta vigorosa e produtiva, mas bastante susceptível a algumas doenças fúngicas da videira, como oídio, míldio e podridões. Também não é tolerante a seca. Tempranillo apresenta ciclo precoce e atinge alto conteúdo de açúcares. Os vinhos elaborados com essa variedade são bem equilibrados e aromáticos, de acidez mediana e cor estável, podendo ser consumidos jovens ou envelhecidos (Professional Friends of Wine, 2009). Foi introduzida no Brasil em 2000, para ser cultivada na região de fronteira do Rio Grande do Sul, e as primeiras uvas foram colhidas em 2003. Em 2012, foram elaboradas 284 t dessa uva no Rio Grande do Sul (Mello e Machado, 2019). Vem sendo testada para a elaboração de vinhos varietais. Em ensaios realizados no Vale do São Francisco, destacou-se pela produção, açúcar, acidez e antocianinas (Camargo, 2007).

### **3.1.10 Touriga Nacional**

Originária da região do Dão, em Portugal, esta casta é a mais célebre uva portuguesa da atualidade. A Touriga Nacional também é bastante comum no Douro, onde aparece em



vinhas velhas. É uma variedade com vigor moderado e pode ser manejada com poda longa. Deve-se evitar o plantio dessa variedade em solos muito superficiais. A Touriga Nacional não é particularmente sensível a doenças fúngicas. Os cachos são pequenos, com hastes bastante compridas. As bagas são de tamanho pequeno a moderado. Esta variedade pode produzir vinhos de excelente qualidade, complexos, aromáticos, encorpados, estruturados, com intensidade de cor e capazes de envelhecer, sendo bastante utilizada na elaboração de vinhos elegantes e com elevada complexidade (Mistral, 2019; Plantgrape, 2019).

## **3.2 Cultivares brancas**

### **3.2.1 Marsanne**

Marsanne é uma variedade branca provavelmente originária da região norte do Rhône e vem ganhando popularidade, devido a sua boa produtividade (ROBINSON, 1996). Esta variedade é vigorosa, fértil e produtiva e deve ser podada curta, preferencialmente em terroirs não muito férteis e pedregosos. Marsanne produz longos ramos que requerem um cuidadoso e suficiente sistema de condução. Esta variedade é bastante rústica, ciclo curto com brotação tardia e está bem adaptada para áreas de condição climáticas mais frias. Ela é sensível ao míldio, ácaros e podridão cinzenta. (Plantgrape, 2019). Ao lado da uva Roussane, a casta Marsanne é a uva responsável pelos grandiosos Hermitage brancos do norte do Rhône. Os vinhos brancos elaborados com a Marsanne são opulentos e encorpados, com pouca acidez, mas capazes de envelhecer por muitos anos. Os melhores exemplos são vinhos brancos bastante complexos, com coloração amarelo intensa, encorpado, além de aromas de amêndoas, aromas florais e amendoados, cheios e marcantes no palato (Robinson, 1996; Mistral, 2019).

### **3.2.2 Muscat Petit Grain Blanc**

Esta variedade parece ser originalmente da Grécia. É uma variedade de vigor moderado com crescimento ereto ou semi-ereto, devendo ser conduzida com poda curta. É particularmente adaptada aos terroirs de calcário e sensível ao oídio, podridão cinzenta, himenópteros e ácaros. Os cachos são pequenos e as bagas de tamanho moderado. Esta variedade pode produzir vinho branco seco, vinho doce natural e vinho espumante. Da mesma forma, pode ser usado em “blends” (com uma pequena percentagem) para fornecer nuances aromáticas em vinhos neutros. A Muscat Petit Grain Blanc tem um alto potencial de açúcar com um bom equilíbrio de acidez e um sabor intenso, poderoso e delicado (Plantgrape, 2019).

### **3.2.3 Vermentino**

A Vermentino é uma uva branca amplamente cultivada em diversas regiões vinícolas ao redor do Mediterrâneo, no noroeste da Itália, sul da França e nas ilhas vizinhas de Sardenha e Córsega (Mistral, 2019). Esta variedade parece ser originalmente da Itália. A Vermentino é bastante produtiva e vigorosa e deve ser conduzida com poda curta. Um sistema de condução cuidadoso é preferível para manter a vegetação. Esta variedade adapta-se bem a áreas quentes e a terroirs secos e não muito férteis. É uma variedade que se apresenta pouco sensível à podridão cinzenta, moderadamente sensível à podridão ácida e bastante sensível ao oídio. Independentemente de onde for sua origem a Vermentino gera grandes rótulos, dos mais delicados e refrescantes, muitas vezes apresentando notas frutadas como de pera e maçã, aos mais complexos e com estrutura, ricamente aromáticos, que podem desenvolver toques de frutas maduras, amêndoas, hortelã, tomilho, erva-doce e flores brancas com nuances minerais (Winepedia, 2019).

### 3.2.4 Viognier

Bastante aromática, a casta Viognier é característica do Norte do Rhône, onde produz vinhos brancos deliciosos e de grande charme, como os famosos Condrieu (MISTRAL, 2019). Essa variedade é cultivada com um método de poda moderadamente longo e com alta densidade de plantio. Tradicionalmente cultivada em regiões de solos ácidos, esta variedade está bem adaptada a solos suficientemente profundos (mas não muito férteis) para evitar o risco de seca. Viognier não é particularmente sensível a doenças e não é sensível demais à podridão cinzenta (PLANTGRAPE, 2019). Os vinhos elaborados com a casta Viognier costumam revelar uma cor amarelo intensa, alto teor alcoólico e aromas sedutores, associados a damasco, pêsego e flores. A Viognier também é usada em pequena quantidade em cortes com a uva Syrah, conferindo maior delicadeza aos vinhos tintos da região (Mistral, 2019).

## 4. Composição química da uva

A uva apresenta diversos compostos químicos que influenciam a qualidade dos vinhos, seja no teor alcoólico, cor, e principalmente aromas e sabor da bebida. Após o início da maturação, ocorrem importantes mudanças na composição das bagas, com o acúmulo de carboidratos simples, a redução nos teores de ácidos orgânicos (principalmente do ácido málico), mudança de cor da película principalmente pela formação de pigmentos avermelhados (antocianinas) nas uvas tintas e a biossíntese de compostos fenólicos, como os taninos, ácidos hidroxicinâmicos e outros precursores, além de diversos compostos aromáticos, como terpenos, norisoprenoides e precursores de aromas (compostos glicosilados não voláteis) (Fregoni, 1999; Conde et al., 2007; Ali et al., 2010; Keller, 2010; Flamini et al., 2013; Kuhn et al., 2013; Teixeira et al., 2013; Robinson et al., 2014; Gonzáles-

Barreiro et al., 2015).

A uva madura *Vitis vinifera* apresenta uma das maiores concentrações de açúcares em comparação com outras frutas. Os açúcares fermentáveis (glicose e frutose) são transformados em álcool durante a fermentação e também apresentam funções importantes nas propriedades sensoriais da uva e como fontes de precursores para a síntese de ácidos orgânicos, compostos fenólicos e aromáticos durante a maturação (Conde et al., 2007; Dai et al., 2011; Kuhn et al., 2013; Borghezán, 2017).

Os ácidos orgânicos, além de outros compostos como minerais, vitaminas e os lipídeos, atuam de forma determinante no equilíbrio gustativo e aromático da uva e principalmente, do vinho. Os ácidos tartárico e málico representam cerca de 90% dos ácidos orgânicos presentes nos vacúolos, ambos acumulados nas bagas durante a primeira fase de crescimento. Outros ácidos como o cítrico, succínico, láctico e acético também são encontrados em menores concentrações nas bagas maduras (Cosme et al., 2016). Durante o período de maturação, o acúmulo de potássio nas bagas resulta na formação de sais de tartarato e sais de malato, contribuindo para a redução da acidez e aumento do pH.

Embora similares, os ácidos tartárico e málico são sintetizados e degradados por processos bioquímicos distintos (Conde et al., 2007; Dai et al., 2011). Temperaturas mais amenas diminuem a degradação do ácido málico, resultando em maior acidez do mosto. Próximo à colheita, os teores de ácido tartárico geralmente são maiores que os valores de ácido málico (Bobeica et al., 2015; Cosme et al., 2016). O ácido tartárico é responsável pelo sabor do vinho, contribuindo para a estabilidade biológica e longevidade, enquanto o málico confere um sabor imaturo à fruta e paladar agressivo ao vinho (Conde et al., 2007), sendo corrigido através da fermentação malolática (Borghezán, 2017).

O acompanhamento da evolução nos teores de açúcares e de ácidos orgânicos na polpa das bagas (maturação tecnológica) é um dos indicadores mais utilizados para estabelecer a data de colheita da uva (Fregoni, 1999; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Keller,

2010). Porém, estas análises podem não expressar o ótimo ponto de maturação, sendo a avaliação dos compostos fenólicos também utilizada para definir com maior precisão o momento de colheita (Conde et al., 2007; Guerra, 2012).

#### **4.1 Compostos fenólicos**

Os compostos fenólicos são componentes da uva e apresentam funções importantes na adaptação das plantas, principalmente associados às condições climáticas, e são responsáveis pela coloração, aromas e sabor da uva, afetando a cor, a estrutura (aporte de taninos), características sensoriais, gustativas e a adstringência dos vinhos (Conde et al., 2007; Teixeira et al., 2013). São também importantes na conservação dos vinhos em função da sua ação bactericida e são considerados elementos essenciais no envelhecimento dos mesmos (Lee e Jaworski, 1987).

Os compostos fenólicos podem ser divididos em dois grupos, os flavonóides, que são os mais abundantes na uva, e os não flavonoides. As antocianinas, as proantocianidinas (flavan-3-óis ou taninos condensados) e os flavonóis são os principais exemplos de compostos flavonóides. Os principais compostos não flavonóides são os estilbenos e os ácidos fenólicos (hidroxicinâmicos e hidroxibenzóicos) (Teixeira et al., 2013).

Os polifenóis mais importantes para o vinho são pertencentes a classe das antocianinas e flavan-3-óis (taninos). São encontrados preferencialmente na película das bagas (taninos e antocianinas) e nas sementes (taninos), apresentando grande variação na composição durante o desenvolvimento das bagas sendo transferidos ao vinho durante a etapa de maceração (Adams, 2006; Conde et al., 2007; Kennedy, 2008; Ali et al., 2010; Guerra, 2012). Diferentes compostos fenólicos também estão presentes na polpa das uvas, porém com menor importância enológica (Teixeira et al., 2013).

#### 4.1.1 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos naturais que pertencem ao grupo de metabólitos secundários vegetais conhecidos como flavonóides. Algumas das principais funções das antocianinas nos vegetais são a atração de agentes polinizadores e dispersores de sementes e a proteção a diversos tecidos da planta durante as etapas de seu ciclo de vida (Eibond et al, 2004). Nas uvas constituem os pigmentos vermelhos, localizados em sua grande maioria nas cascas, podendo também ser encontrado na polpa de cultivares tintureiras. Existem cinco antocianinas presentes na uva: cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina, com esta última em maior concentração (Ribéreau-Gayon et al, 2006; Guerra, 2012; Teixeira et al., 2013).

Essas estruturas podem sofrer interferência de diversos fatores como temperatura, pH e possíveis ligações com outras substâncias químicas, proporcionando diferentes colorações às antocianinas. A temperatura apresenta importância sobre a síntese de antocianinas, sendo que em regiões frias, a concentração é menor, enquanto vinhedos cultivados até 35 °C e com grande amplitude térmica, apresentam condições mais favoráveis, originando vinhos com mais cor (Ribéreau-Gayon et al., 2006). A radiação solar é o fator que mais impacta a formação de antocianinas, sendo a concentração destes compostos favorecida pelo aumento da exposição à luz, principalmente em resposta à radiação UV (Teixeira et al., 2013).

O pH é o fator que tem mais influência na coloração das antocianinas, visto que, em função de sua acidez ou alcalinidade, as antocianinas podem apresentar diferentes estruturas (Lee et al., 2005). Com o aumento do pH ocorre nas antocianinas a protonação do cátion flavílio e, conseqüentemente, diminuição do número de ligações duplas conjugadas, que são responsáveis pelo aumento nos máximos de absorção destas substâncias. Em meio ácido, com pH próximo a 1, as antocianinas apresentam coloração na região visível do vermelho (cátion flavílio) e em pH menos ácido, com valores acima que 4,5, as antocianinas apresentam uma coloração vermelha bem menos intensa, próxima ao incolor (Bordignon

Júnior et al., 2009).

A quantidade e a composição das antocianinas presentes nas uvas variam com a variedade, vigor das plantas, maturidade, condições edafoclimáticas. As condições de fermentação e envelhecimento do vinho como temperatura, teor alcoólico e a adição de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) afetam a concentração das antocianinas no vinho, contribuindo com a caracterização organoléptica do vinho devido às interações com outros compostos fenólicos e proteínas (Torres, 2002).

#### **4.1.2 Taninos**

Os taninos são a classe mais abundante de compostos fenólicos solúveis encontrados na uva, localizando-se nas camadas hipodérmicas das películas e no tegumento das sementes (Ristic e Iland, 2005; Adams, 2006). O termo tanino se refere a uma denominação genérica. Em viticultura e enologia, tanino é designado para as substâncias flavan-3-óis, flavonóis e flavanonas que tem a propriedade de reagir fortemente com proteínas e que contribuem para a estabilização dos vinhos (Guerra, 2012).

Apresentam ação fotoprotetora a radiação UV (Flamini et al., 2013) e estão localizados nos vacúolos e na parede celular (Teixeira et al., 2013). Os taninos das películas possuem estrutura complexa e variação nos níveis de polimerização. Durante a maturação, as propriedades coloidais tendem a diminuir, resultando em menor agressividade e adstringência (Ribéreau-Gayon et al, 2006).

Os teores de compostos fenólicos variam com a variedade, estágio de maturação, vigor vegetativo, práticas de manejo e fatores climáticos, como a luz e a temperatura (Obreque-Slier et al., 2010; Flamini et al., 2013). Após o início da maturação da uva, o teor de compostos fenólicos das películas aumenta, enquanto os teores de taninos nas sementes vão diminuindo (Adams, 2006; Obreque-Slier et al., 2010). Pesquisas demonstram que os teores de polifenóis e, de modo especial de taninos, estão diretamente relacionados com as

condições climáticas (Adams, 2006; Conde et al., 2007; Kuhn et al., 2013; Teixeira et al., 2013).



## REFERÊNCIAS

ADAMS, D. O. Phenolics and ripening in grape berries. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.57, p.249-256, 2006.

ALI, K. *et al.* Metabolic constituents of grapevine and grape-derived products. **Phytochemistry Reviews**, v.9, p.357-378, 2010.

ALMEIDA, A. N.; BRAGAGNOLO, C.; CHAGAS, A. L. S. A Demanda por vinho no Brasil: elasticidades no consumo das famílias e determinantes da importação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.53, p.433-454, 2015.

ALSINA, M. M. *et al.* Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. **Journal of Experimental Botany**, v.62, p.99-109, 2011.

ALVARENGA, A. A. *et al.* Avaliação de cultivares porta-enxertos de videira para o sul de Minas Gerais. In: REGINA, M. A. (Coord.). **Viticultura e enologia: atualizando conceitos**. Caldas: EPAMIG-FECD, 2002. p.243-256.

AMORIM, D. A.; FAVERO, A. C.; REGINA, M. de A. Produção extemporânea da videira, cultivar Syrah, nas condições do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.327-331. 2005.

ARCHER, E. **Effect of plant spacing on root distribution and some qualitative parameters of vines**. In: Proc. 6th Australian Wine Ind. Tech. Conf., Adelaide, Australia. 1986. T. Lee (Ed.) p. 8-55.

ARCHER, E.; STRAUSS, H. C. Effect of plant density on root distribution of three-year-old grafted 99 Richter grapevines. **South African Journal for Enology and Viticulture**, v.6, p.25-30, 1985.

ATKINSON, D. The distribution and effectiveness of roots of tree crops. **Horticultural Reviews**. v.2, p.424-90, 1980.

BAIL, S. *et al.* Characterization of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v.108, p.1122-1132, 2008.

BELANCIC, A.; AGOSIN, E. Methoxypyrazines in Grapes and Wines of *Vitis vinifera* cv. Carménère. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.58, p.462-469, 2007.

BELL S. J.; HENSCHKE P. A. Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.11, p.242-295, 2005.

BENKWITZ, F. *et al.* Identifying the chemical composition related to the distinct aroma characteristics of New Zealand Sauvignon blanc wines. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.63, p.62-72, 2012.

BLOEM, A. *et al.* Vanillin production from simple phenols by wine-associated lactic acid bacteria. **Letters in Applied Microbiology**, v.44, p.62-67, 2007.

BLOEM, A.; LONVAUD-FUNEL, A.; REVEL, G. Hydrolysis of glycosidically bound flavor compound from oak wood by *Oenococcus oeni*. **Food Microbiology**, v.25, p.99-104, 2008.

BOBEICA, N. *et al.* Differential responses of sugar, organic acids and anthocyanins to source-sink modulation in Cabernet Sauvignon and Sangiovese grapevines. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.1-14, 2015

BORDIGNON JÚNIOR, C. *et al.* Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.183-188, 2009.

BORDIN, I. *et al.* Arquitetura e dimensão do sistema radicular de sete porta-enxertos de videira no norte do estado do paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.526-527, 2003.

BORGHEZAN, M. Formação e maturação da uva e os efeitos sobre os vinhos: revisão. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v.32, p.126-141, 2017.

BRANT, L. A. C.; FIGUEIREDO, G. M.; MOTA, R. V. Winter wines of the Brazilian southeastern. **Territoires du vin**, 9, 2018. Disponível em: <http://preo.u-bourgogne.fr/territoiresdvin/idex.p-hp?id=1615>. Acesso em 11 de jun de 2019.

BRASIL. Instrução Normativa nº 48, de 31 de Agosto de 2018. Diário Oficial da União. Edição 174, Seção 1, p.7. 2018.

BRASIL. Lei nº 10.970, de 12 de Novembro de 2004. Diário Oficial da União. Seção 1, p.1, 2004.

BUTZKE, C.; PARK, S. K. Impact of fermentation rate changes on potential hydrogen sulfide concentrations in wine. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.21, p. 519-524, 2011.

CAMARGO, U. A. *et al.* **Introdução e avaliação de novas cultivares para vinho no vale do São Francisco**. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE PESQUISA: a produção de vinhos em regiões tropicais. 2004, Recife e Petrolina. Anais... Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. p.103-109.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. S. **Cultivares de videira para processamento**. Embrapa Uva e Vinho, 2016. (INFOTEC-E). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152922/1/Manual-3-Capitulo-2.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2019.

CAMARGO, U. A. **Uvas do Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA/CNPUV, 1994. 90p. (Documento 9).

CHONÉ, X. *et al.* Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*). Vegetative development, must and wine composition (example of a Medoc top estate vineyard, Saint Julien area, Bordeaux, 1997). **South African Journal of Enology and Viticulture**, v.22, p.8-15, 2001.

CONDE, C. *et al.* Biochemical changes throughout grape berry development and bfruit and wine quality. **Food**, v.1, p.1-22, 2007.

COLLINS, C.; DRY, P. R. Response of fruitset and other yield components to shoot topping and 2-chlorethyltrimethyl-ammonium chloride application. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v15, p.256-267, 2009.

COSME, F. *et al.* Grape and wine metabolites: biotechnological approaches to improve wine quality. In: **Grape and wine biotechnology**. p.187-224. Morata A., Loira I. (eds.), INTECH, Rijeka/Croacia. 2016.

COUSINS, P. **Evolution, genetics, and breeding: Viticultural applications of the origins of our rootstocks**. In: 2005 Rootstock Symposium, 2005, Osage Beach, MO, USA. Proceedings... Mountain Grove, MO: MVEC, 2005. p.1-8.

CRIPPEN, D. D.; MORRISON, J. C. The effects of sun exposure on the compositional development of Cabernet Sauvignon berries. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.37, p.235-242, 1986.

DAI, Z. W. *et al.* Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry weight and composition: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.62, p.413-425, 2011.

DIAS, F. A. N. *et al.* Videira 'Syrah' sobre diferentes porta-enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.208-215, 2012.

DIAS, F. A. N. *et al.* Rootstock on vine performance and wine quality of 'Syrah' under double pruning management. **Scientia Agricola**, v.74, p.134-141, 2017.

DOKOOZLIAN, N. K. Light quantity and light quality within *Vitis vinifera* L. grapevine canopies and their relative influence on berry growth and composition. **Ph.D. Dissertation**, University of California, Davis. 1990.

DOWNEY, M. O.; HARVEY, J. S.; ROBINSON, S. P. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.10, p.55-73, 2004.

DRY, N. Grapevine Rootstocks: Selection and management for south Australian vineyard. Adelaide: **Lythrum Press**, 2007. 85 p.

DRY, P. R. *et al.* Classification of reproductive performance of ten winegrape varieties. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.47-55, 2010.

DRY, P. R., LOVEYS, B. R. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.4, p.140-148, 1998.

DUTEURTRE, B. **Le Champagne**: de la tradition à l Science. Lavoisier tec & Doc, Paris, France. 365p.

EIBOND, L. S.; REYNERTSON, K. A.; LUO, X. D.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E.J. Anthocyanin antioxidants from edible fruits. **Food Chemistry**, v.84 p.23-28, 2004.

FAVERO, A. C. Viabilidade de produção da videira 'Syrah', em ciclo de outono inverno, na região sul de Minas Gerais. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007. (**Dissertação de mestrado**). 2007. 124p.

FAVERO, A. C. *et al.* Double-pruning of 'Syrah' grapevines: a management strategy to harvest wine grapes during the winter in the Brazilian Southeast. **Vitis**, v.50, p.151-158, 2011.

FLAMINI, R. *et al.* Advanced knowledge of three important classes of grape phenolics: anthocyanins, stilbenes and flavonols. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, p.19651-19669, 2013.

FREGONI, M. Viticultura di qualità. Lungodige Galtorossa: **Informatore Agrário**, 1999. 705p.

GALE, G. **Saving the vine from phylloxera**: A never-ending battle. In M. Sandler & R. Pindler (Eds.), 2003.

GONZÁLEZ-BARREIRO, C. *et al.* Wine aroma compounds in grapes: A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.55, p.202-218, 2015.

GONZÁLEZ-NEVES, G.; FERRER, G. G. M. Differentiation of Tannat, Cabernet Sauvignon and Merlotgrapes from Uruguay according to their general composition and polyphenolic potential. **Comunicata Scientiae**, v.3, p.41-49, 2012.

GONZALEZ, S. *et al.* Enological characterization of natural hybrids from *Saccharomyces cerevisiae* and *S. kudriavzevii*. **International Journal of Food Microbiology**, v.116, p.233-244, 2007.

GRANETT, J.; WALKER, M. A.; KOCSIS, L. Biology and management of grape phylloxera. **Annual Review of Entomology**, v.46, p.387-412, 2001.

GUERRA, C. C. **Maturação da uva e condução da vinificação para a elaboração de vinhos finos**. In: REGINA, M.A. (Coord.). Viticultura e enologia: atualizando conceitos. Caldas: EPAMIG/FECD, 2002. p.179-192.

GUERRA, C. C. Polifenóis da uva e do vinho. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, v.4, p.90-100, 2012.

HABRAN, A. *et al.* Rootstocks/scion/nitrogen interactions affect secondary metabolism in the grape berry. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1-11, 2016.

HELWI, P. *et al.* Effect of vine nitrogen status, grapevine variety and rootstock on the levels of berry S-glutathionylated and S-cysteinylated precursors of 3-sulfanylhexas-1-ol. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, v.49, p. 253-265, 2015.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Disponível em: <<http://www7.inra.fr/in-ternet/Directions?DIC/ACTUALITES/DOSSIERS/qualite-aliments/vin-cepage-marselan.htm>>. Acesso em: 26 de jun de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO – IBRAVIN. Panorama geral. Disponível em: <https://www.ibraevin.org.br/Panorama-Geral>. Acesso: 11 de jun de 2019.

JACKSON, R. S. **Grape species and varieties**. In: JACKSON, R.S. *Wine science: principles and applications*. 3rd ed. Amsterdam; Boston: Elsevier, 2008. p.15-49.

JACOBS, S. A. *et al.* Microbiological characterization of grapes in the Campanha region of Rio Grande do Sul, Brazil reveals non-Saccharomyces autochthonous yeasts with oenological potential. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.10, p.286-294, 2016.

KELLER, M.M.; KUMMER, M.; VASCONCELOS, M.C. Soil nitrogen utilization for growth and gas exchange by grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.7, p.2-11, 2001.

KELLER, M. **The science of grapevines: anatomy and physiology**, 1st ed. Burlington, MA, USA: Elsevier Academic Press, 2010. 377 p.

KEMP, B. S.; HARRISON, R.; HIDER, R. N. Effect of protein-tannin ratio and tannin concentration on the bovine serum albumin (bsa)-based precipitation method for red wine tannin concentration. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.45, p.39-46, 2011.

KENNEDY, A. A grape and wine phenolics: observation and recent findings. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.35, p.107-120, 2008.

KIDMAN, C. M. *et al.* Reproductive performance of Cabernet Sauvignon and Merlot (*Vitis vinifera* L.) is affected when grafted to rootstocks. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.19, p.409-421, 2013.

KONDUR, S. *et al.* Accumulation of potassium in grapevine rootstocks (*Vitis*) as affected by dry matter partitioning, root traits and transpiration. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.273-282, 2010.

KOUNDOURAS, S. *et al.* Rootstock effects on the adaptive strategies of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) under contrasting water status: leaf physiological and structural responses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.128, p.86-96, 2008.

KOYAMA, K. *et al.* Light quality affects flavonoid biosynthesis in young berries of Cabernet Sauvignon grape. **Phytochemistry**, v.78, p.54-64, 2012.

KUHN, N. *et al.* Berry ripening: recently heard through the grapevine. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p.4543-4559, 2013.

LACROUX, F. *et al.* Effect of foliar nitrogen and Sulphur application on aromatic expression of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.42, p.125-132, 2008.

LEE, C. Y.; JAWORSKI, A. Phenolic Compounds in White Grapes Grown in New York. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.38, p.277-281, 1987.

LEE, J.; DURST, R. W.; WROLSTAD, R. E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. **Journal AOAC International**, v.88, n.5, p.1269-1278, 2005.

LEEUWEN, A. V. *et al.* Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.43, p.121-134, 2009.

MAIGRE, D. Comportement du Pinot noir en presence d'enherbement permanent et influence de la fumure azotée. 2. Résultats analytiques et organoleptiques. **Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture**, v.34, p.239-244, 2002.

MANFROI, V. *et al.* Aplicação de taninos enológicos na elaboração de vinho Cabernet Sauvignon e seus efeitos sobre a qualidade sensorial. **Ciência Rural**, v.40, p.175-181, 2010.

MATUS, J. T. *et al.* Post-veraison sunlight exposure induces MYB-mediated transcriptional regulation of anthocyanin and flavonol synthesis in berry skins of *Vitis vinifera*. **Journal of Experimental Botany**, v.60, p.853-867, 2009.

MELLO, L. M. R. de; MACHADO, C. A. E. **Banco de dados de uva, vinho e derivados**. Disponível em: <<http://vitibrasil.cnpuv.embrapa.br/>>. Acesso em: 26 de jun de 2019.

MELLO, L. M. R. de. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2016**. Comunicado Técnico 199, Embrapa Uva e Vinho. 7p.

MIELE, A.; RIZZON, L. A.; GIOVANNINI, E. Efeito do porta-enxerto no teor de nutrientes em tecidos da videira 'Cabernet Sauvignon'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, p.1141-1149, 2009.

MIELE, A.; RIZZON, L. A. Rootstock-scion interaction: 2. Effect on the composition of cabernet sauvignon grape must. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39, p.1-9, 2017.

MIELE, A.; RIZZON, L. A. Rootstock-scion interaction: 3. Effect on the composition of Cabernet Sauvignon wine. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.41, p.1-9, 2017.

MIELE, A.; RIZZON, L. A. Rootstock-scion interaction: 4. Effect on the sensory characteristics of Cabernet Sauvignon wine. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.41, p.1-7, 2017.

MISTRAL. **Tipos de uva**. Disponível em: <https://www.mistral.com.br/tipo-de-uvas>. Acesso em 26 de jun de 2019.

MOTA, R. V. da. *et al.* Composição físico-química de uvas para vinho em ciclos de verão e inverno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.1127-1137. 2010.

MPELASOKA, B. S. *et al.* A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.9, n.3, p.154-168, 2003.

NUZZO, V.; MATHEWS, M. A. Response of fruit growth and ripening to crop level in dry-farmed Cabernet sauvignon on four rootstocks. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.57, p.314-324, 2006.



OBREQUE-SLIER, E.; PEÑA-NEIRA, A.; LOPEZ-SOLIS, R. Enhancement of both salivary protein-enological tannin interactions and astringency perception by ethanol. **Journal agricultural and food chemistry**, v.58, p.3729-3735, 2010.

OLLAT, N. *et al.* **Rootstocks as a component of adaptation to environment**. In: GEROS H, CHAVES MM, MEDRANO H, DELROT S (eds). Grapevine in a changing environment: a molecular and ecophysiological perspective, 1st edn. Wiley, New York, p.68-108, 2016.

ORLANDO, T. das G. S.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; SANTOS, A. O.; HERNADES, J. L. Comportamento das cultivares Cabernet Sauvignon e Syrah em diferentes porta-enxertos. **Ciência & Agrotecnologia**, v.32, p.749-755, 2008.

PEREIRA, E. P. *et al.* Vinhos Tropicais do Semiárido do Brasil: Desvendando o Potencial Vitivinícola desta Nova Fronteira Geográfica do Vinho. **Territoires du vin**, 9, 2018. Disponível em: <https://preo.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/index.php?id=1658>. Acesso em 11 de nov de 2019.

PEREIRA, G. E. *et al.* **Caractérisation de vins rouges tropicaux produits au Nord-Est du Brésil**. In: GERMAN VITICULTURE CONGRESS WINE IN MOTION, 59°, 2007, Stuttgart. Proceedings... Stuttgart, 2007.

PEREZ, J.; KLIEWER, W. M. Effect of Shading on Bud Necrosis and Bud Fruitfulness of Thompson Seedless Grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.41, p.168-175, 1990.

PLANTGRAPE. **Catalogue of vines grown in France**. Disponível em: <http://plantgrape.plantnet-project.org>. Acesso em 17 de jun de 2019.

PRIOR, L. D. *et al.* Sodium chloride and soil texture interactions in irrigated field grown sultana grapevines. II. Plant mineral content, growth and physiology. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.43, p.1067-1083, 1992.

PROFESSIONAL FRIENDS OF WINE. **Varietal profiles**. Disponível em: [http://www.winepro-s.org/wine101/grape\\_profiles/varietals.htm](http://www.winepro-s.org/wine101/grape_profiles/varietals.htm). Acesso em 26 de jun de 2019.

PSZCZOLKOWSKI, T. P. La invención del cv. Carménère (*Vitis Vinifera* L.) en Chile, desde la mirada de uno de sus actores. **UniVersum**, v.19, p.150-165, 2004.

REGINA, M. A. *et al.* Implantação e manejo do vinhedo para produção de vinhos de qualidade. **Informe Agropecuário** (Belo Horizonte), v.27, p.16-31, 2006.

REGINA, M. de A.; MOTA, R. V. da.; AMORIM, D. A. Vinhos finos: novos horizontes em Minas Gerais. In: EPAMIG [Edição especial], *Informe Agropecuário: 35 anos de pesquisa*, Belo horizonte, v.30, p.159-167. 2009.

REGINA, M. A. *et al.* Caracterização físico-química de uvas viníferas cultivadas em regime de dupla-poda no nordeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, v.3, p.84-92, 2011a.

REGINA, M. de A. *et al.* Viticulture for fine wines in Brazilian Southeast. **Acta Horticulturae**, v.910, n.113-120. 2011b.

RIBÉREAU-GAYON, P. *et al.* Red winemaking. In: **Handbook of enology**. v.1. The microbiology of wine and vinifications 2<sup>nd</sup> ed. 2006. 512p.

RIETRA, R. P. J. J. *et al.* Effects of nutrient antagonism and synergism on fertilizer use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.48, p.1895-1920, 2015.

RISTIC, R. *et al.* Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.13, p.53-65, 2007.

RISTIC, R.; ILAND, P. G. Relationships between seed and berry development of *Vitis vinifera* L. cv Shiraz: developmental changes in seed morphology and phenolic composition **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.11, p.1-16, 2005.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Cabernet Sauvignon para elaboração de vinho tinto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, p.192-198, 2002.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Merlot para elaboração de vinho tinto. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimento**, v.23, p.156-161, 2003.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Características analíticas de vinhos Merlot da Serra Gaúcha. **Ciência Rural**, v.39, p.1913-1916, 2009.

ROBINSON, A. L. *et al.* Origin of grape and wine aroma. Part 1. Chemical components and viticultural impacts. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.65, p.1-24, 2014.

ROBINSON, J. **Guide to Wine Grapes**: A unique A-Z reference to grape varieties and the wines they produce. Nova York: Oxford, 1996. 231 p.

RODRIGUEZ-LOVELLE, B.; GAUDILLÈRE, J. P. Carbon and nitrogen partitioning in either fruiting or non-fruiting grapevines: effects of nitrogen limitation before and after veraison. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.8, p.86-94, 2002.

SANTAROSA, E. *et al.* Alterações anatômicas do sistema vascular em porta-enxertos de videira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.320-329, 2016.

SERRA, I. *et al.* Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.20, p.1-14, 2014.

SOMKUWAR, R. G. *et al.* Influence of different rootstocks on growth, photosynthesis, biochemical composition, and nutrient contents in 'fantasy seedless' grapes. **International Journal of Fruit Science**, v.15, p.1-16, 2015.

SOUBEYRAND, E. *et al.* Nitrogen supply affects anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in grapevine cv. Cabernet-Sauvignon berries. **Phytochemistry**, v.103, p.38-49, 2014.

SOUZA, C. R. *et al.* Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, p.436-446, 2009.

SOUZA, C. R. de. *et al.* Cabernet Sauvignon grapevine grafted onto rootstocks during the autumn-winter season in southeastern Brazilian. **Scientia Agricola**, Piracicaba v.72, p.138-146, 2015.

SOUZA, J. S. I. **Uvas para o Brasil**. Piracicaba. FEALQ. 1996. 791p.

SPRING, J-L. *et al.* Influence du porte-greffe sur le comportement du Pinot noir dans les conditions du Valais central. **Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture**, v.48, p.112-122, 2016.

STYGER, G.; PRIOR, B.; BAUER, F. F. Wine flavor and aroma. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v.38, p.1145-1159, 2011.

TANDONNET, J. P. *et al.* Scion genotype controls biomass allocation and root development in grafted grapevine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.290-300, 2010.

TARARA, J. M. *et al.* Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.59, p.235-247, 2008.

TEIXEIRA, A. *et al.* Berry phenolics of grapevine under challenging environments. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, p.18711-18739, 2013.

TONIETTO, J.; FALCADE, I. Indicações Geográficas de Vinhos do Brasil: A Estruturação e a Valorização da Produção nos Territórios do Vinho. **Territoires du vin**, 9, 2018. Disponível em: <https://preo.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/index.php?id=1570>. Acesso em 11 de nov de 2019.

TONIETTO, J.; VIANELLO, R. L.; REGINA, M. de A. Caracterização macroclimática e potencial enológico de diferentes regiões com vocação vitícola em Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.27, p.32- 55, 2006.

TORRES, A. G. Avaliação de compostos fenólicos em vinhos tintos brasileiros Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc e Merlot. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais 2002. (**Dissertação de Mestrado**), 2002. 104p.

TRAMONTINI, S. *et al.* Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grapeberry development. **Plant and Soil**, v.368, p.215–230, 2012.

ULAS, S.; GÜLER, A.; CANDEMIR, A. Effect of Rootstocks on Different Physiological Parameters in Some Grape Cultivars. **Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences**, special issue, p.1097-1100, 2014.

UNIÃO BRASILEIRA DE VITIVINICULTURA – UVIBRA. **Comercialização de vinhos e derivados elaborados no RS de 2012 a 2018 - mercado interno e externo**. Disponível em: [http://www.uvibra.com.br/pdf/comercializacao2012a2018\\_dez.pdf](http://www.uvibra.com.br/pdf/comercializacao2012a2018_dez.pdf). Acesso 11 de jun de 2019.

UNIÃO BRASILEIRA DE VITIVINICULTURA – UVIBRA. **Importação de vinhos e espumantes, levantamento de 2012 a 2018**. Disponível em:

[http://www.uvibra.com.br/pdf/import-\\_vinhos\\_espumantes\\_2012\\_dez2018.pdf](http://www.uvibra.com.br/pdf/import-_vinhos_espumantes_2012_dez2018.pdf). Acesso 11 de jun de 2019.

VASCONCELOS, M. C. The flowering process of *Vitis vinifera*: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.60, p.411-425, 2009.

WALLIS, C. M.; WALLINGFORD, A. K.; CHEN, J. Grapevine rootstock effects on scion sap phenolic levels, resistance to *Xylella fastidiosa* infection, and progression of Pierce's disease. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.1-29, 2013.

WANG, Y. *et al.* Rootstock-mediated effects on cabernet sauvignon performance: vine growth, berry ripening, flavonoids, and aromatic profiles. **International Journal of Molecular Science**, v.20, p.401-417, 2019.

WHITING, J. Rootstock breeding and associated R&D in the viticulture and wine industry. **Wine & Viticulture Journal**, v.6, p.52-54, 2012.

WHITING, J. R. **Selection of Grapevine Rootstocks and Clones for Greater Victoria**. Melbourne, VIC: Dept. of Primary Industries. 2003. 36p.

WILLIAMS, L. E., DOKOOZLIAN, N. K.; WAMPLE, R. **Grape**. In: B. Shaffer and P.C. Anderson (eds.). Handbook of environmental physiology of fruit crops. CRC Press, Orlando, p.85-133, 1994.

WINEFOLLY. **Cabernet Franc**. 2019a. Disponível em: <https://winefolly.com/tutorial/flavor-profiles-of-white-wines/>. Acesso em 30 de dez de 2019.

WINEFOLLY. **Flavor Profiles of White Wines (Infographic)**. 2019b. Disponível em: <https://winefolly.com/tutorial/flavor-profiles-of-white-wines/>. Acesso em 30 de dez de 2019.

WINEPEDIA. **Série uvas: Vermentino**. Disponível em: <https://www.wine.com.br/wineped-i-a/so-mmelier-wine/serie-uvas-vermentino/>. Acesso em 26 de jun de 2019.

ZART, M. *et al.* Starch, growth, and development in cuttings of rootstock 'Paulsen 1103' from plants infested with ground pearl. **Ciência Rural**, v.46, n.10, p.1707-1713, 2016.

ZHU, J. K. Cell signalling under salt, water and cold stresses. **Current Opinion in Plant Biology**, v.4, p.401-406, 2001.

## SEGUNDA PARTE

### ARTIGO 1 - **Rootstocks on vine performance of Merlot, Cabernet Sauvignon and Syrah during the autumn-winter season**

Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Scientia Agricola

**ABSTRACT:** Under double pruning management, the production of high-quality wines in the Brazilian Southeast has considerably increased. However, some classic varieties such as Merlot and Cabernet Sauvignon did not adapt to this new pruning method, mainly due to low yield. The aim of this study was to determine the effect of eight rootstocks on the agronomic and ecophysiological responses of Merlot, Cabernet Sauvignon and Syrah grapevines grown during the autumn-winter season in the South of Minas Gerais under double pruning management. The treatments were evaluated during 2018 and 2019 seasons, in a 3x8 factorial arrangement, with 3 varieties and 8 rootstocks and 10 replicates, totaling 240 plants. The yield and grape quality of Cabernet Sauvignon and Merlot grapevines were improved under high vigorous rootstocks. The adoption of IAC 766, RUPESTRIS, SO4, GRAVESAC and KOBER increased yield, with no impairment on grape quality for all varieties. Regarding Syrah, 101-14 and 1103P presented grapes with low quality parameters and IAC 572 showed low yield. In this context, these rootstocks can be considered less suited.

**Keywords:** vegetative vigor, grape quality, double pruning management

## INTRODUCTION

Double pruning has improved grape quality by changing the harvest period from warm and wet summer to dry and mild winter (Favero et al., 2011). To harvest wine grapes during winter (June/July) in subtropical areas, the first pruning is done in August to perform the vegetative cycle where all clusters are removed at green pea berry size and, in January, the vines are spur pruned again to induce the winter harvest (Regina et al., 2011). The low rainfall and high thermal amplitude of autumn-winter seasons are favorable to sugar accumulation and synthesis of phenolic compounds in berries when compared to traditional management (Mota et al., 2010; Favero et al., 2011). Due to this new vineyard management, the quality of fine wine (from *Vitis vinifera* L. cultivars) could be significantly improved and Southeastern Brazil has become a new wine producing region (Bem et al., 2015).

However, two growing cycles demand a lot of energy from vines and a search for rootstocks that yield the necessary vigor to support two annual pruning seasons is necessary, mainly for cultivation of varieties with medium to low vigor. Cabernet Sauvignon and Merlot have shown low yield during the autumn-winter season under subtropical conditions, as compared to Syrah and Sauvignon Blanc (Regina et al. 2011). A low performance of Cabernet Sauvignon and Merlot may be correlated with a poor fruit set caused by low temperatures in cool regions (Dry et al., 2010; Kidman et al., 2013). In fact, when Cabernet Sauvignon and Merlot were submitted to double pruning management under warmer tropical

conditions of Northern Minas Gerais, they showed the same productive potential observed in Syrah (Mota et al., 2011).

Grafting is widely used in viticulture and it makes a significant contribution to scion performance under many cultivation conditions. Several studies have shown the rootstock effect on vigor (Jones et al., 2009; Kidman et al., 2013), grape (Satisha et al., 2010; Chou and Li, 2014; Dias et al., 2017) and wine quality (Köse et al., 2014; Miele and Rizzon, 2017; Wang et al., 2019) in vineyards under traditional management with only one annual pruning. However, there are few rootstock studies under double pruning management and most of them were focused on Syrah (Dias et al. 2012; Dias et al., 2017) and Cabernet Sauvignon performance under high altitudes (Souza et al., 2015a).

There is a need for more information concerning scion-rootstock combination under double pruning practices. Moreover, there is still no information about the rootstock effect on Merlot performance under double pruning management. Over the past 10 years, Syrah and Sauvignon Blanc have been the main cultivars used to make winter wines, since they have shown the best behavior in double pruned vineyards grafted onto medium vigor rootstocks. Vigorous rootstock could be a useful strategy to improve the yield of Merlot and Cabernet Sauvignon, contributing to increase grape variability for winter wine production in the Brazilian southeast.



In this regard, this research aimed to evaluate the effect of eight rootstocks on the agronomical and ecophysiological responses of Merlot, Cabernet Sauvignon and Syrah grapevines grown during autumn-winter in subtropical areas in Brazil.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Location, plant material and experimental design**

The experimental site was located in a commercial vineyard, in Andradas, at Casa Geraldo winery, in the South of the State of Minas Gerais, Brazil (22°05'28" S, 46°33'50" W, 913 m above sea level). The vineyard was set in November of 2015 and the experiment was carried out during 2018 and 2019 seasons.

Merlot, Cabernet Sauvignon and Syrah were grafted onto eight rootstocks from different origins and within a variable range of vigor: High vigor - IAC 766 (Ripária do Traviú x *Vitis caribaea*) and IAC 572 (*Vitis caribaea* x 101-14 Mgt). Medium to high vigor - 1103 Paulsen (1103 P, *Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*), Selection Oppenheim 4 (SO4, *Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*) and Rupestri du Lot (RUPDULOT, *Vitis rupestris*). Medium vigor - Gravesac (161-49 (*Vitis riparia* x *Vitis berlandieri*) x 3309 (*Vitis riparia* x *Vitis rupestris*)) and Kober 5BB (KOBBER, *Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*) and low vigor - 101-14 Mgt (101-14, *Vitis riparia* x *Vitis rupestris*). Plants were trained in vertical shoot position, north-south orientated, harrowed with three wire strands, spaced 2.50 m x 1.00 m. The

treatments consisted of a 3x8 factorial arrangement, with three grape varieties and eight rootstocks with 10 replicates, totaling 240 plants.

The double pruning management was applied according to the methodology described by Favero et al. (2011). The first pruning was done in August to induce the vegetative cycle, where all clusters were removed at green pea stage. The purpose was not to harvest in the summer season, but to have the inflorescence primordia differentiated into latent buds. The second pruning (yield pruning) was done in January, in lignified shoots to induce the reproductive cycle. In both cycles, the buds were sprayed after pruning with hydrogen cyanamide (Dormex®) at 5 % to stimulate and standardize the budburst. Pest control sprays and vineyard management were applied in accordance with conventional vineyard practices.

### **Agronomical and ecophysiological evaluations**

During the vegetative and productive cycles, agronomical and ecophysiological parameters were evaluated to characterize vine performance. The effects of rootstocks on vegetative and reproductive vigor were estimated by pruning weight and bud fruitfulness evaluations. The pruning weight (fresh weight of pruned shoots) was measured in August (winter pruning weight), after the productive cycle, and in January (summer pruning weight), after the vegetative cycle, in six plants per treatment. The vine balance was evaluated by the Ravaz index (yield/winter pruning weight ratio) using six plants per treatment. Bud

fruitfulness was calculated during full bloom by dividing the number of inflorescences by the number of branches, using four plants for each treatment.

During the 2019 season at the ripening period, the vine water status was measured by stem water potential ( $\Psi_{\text{stem}}$ ), using the pressure chamber method (Scholander et al. 1965), using a 3115-chamber model (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA). For  $\Psi_{\text{stem}}$  measurements, four leaves per treatment (one leaf per vine) were sampled in the middle part of the shoots, which were properly packed in plastic sheet and aluminum foil to avoid transpiration for at least 1 hour before measurements (Choné et al., 2011).

Photosynthesis, transpiration and stomatal conductance rates were measured at 10 a.m. along with  $\Psi_{\text{stem}}$  measurements, using a Li-6800 infra-red gas analyzer (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA). For this evaluation, 4 plants were selected and 1 adult leaf per plant, healthy, completely exposed to sunlight and located in the middle portion of productive shoots (with clusters). Leaf chlorophyll analysis was performed during two stages (fruit set and ripening period), using an atLEAF handheld chlorophyll meter. The measurements were done in 3 leaves per plant (4 plants per treatment). Except for leaf chlorophyll, all ecophysiological parameters were measured at three dates during the productive cycle, April, May and June, and one measurement in the post-harvest period, in August.

### **Yield components and fruit composition**

At harvest, the number and weight of bunches per vine were measured. Berry weight was calculated from four replicates of 150 berries per treatment. Chemical analyses (soluble solids, pH and titratable acidity) were performed on the juice of pressed berries (four replicates of 100 berries per treatment) collected at harvest. Soluble solids (°Brix) were determined using a portable digital refractometer (PAL 1 model, ATAGO). The pH of undiluted juice of each sample was determined using a Micronal pH meter B474 calibrated with standards 4.0 and 7.0 and titratable acidity was determined by titration with 0.1 M NaOH to a phenolphthalein end point at pH 8.2 and expressed as g L<sup>-1</sup> of tartaric acid.

Phenolic maturation was determined using four replicates of 60 berries per treatment. The skin was removed, dried at room temperature, weighed, crushed with liquid nitrogen and stored at -80°C until analysis. For the determination of phenolic compounds, 150 mg samples of the crushed skin were homogenized in a Ultra Turrax homogenizer (IKA T-18 basic) in acidified methanol solution (1% HCl). The samples were kept overnight at 7°C in the dark, centrifuged at 8.000 rpm for 15 minutes until total removal of pigments. The supernatant was transferred to 50 mL volumetric flasks. Anthocyanins in berry skins was determined by the pH differential method (Giusti and Wrolstad, 2001) and total phenolics were determined by the Folin-Ciocalteu method based on a standard curve of gallic acid (Amerine and Ough, 1980).

### **Statistical analyses**

The statistical analyses were performed using the SISVAR software. A two-way ANOVA was carried out comparing all variables, as well as possible interactions among treatments by the Scott-Knott test ( $p < 0.05$ ) for rootstocks and the Tukey test ( $p < 0.05$ ) for varieties. The R software was used for principal component analysis (PCA) and clustering analysis (CA) was performed for all variables, except for ecophysiological parameters, using the Factoextra package, and Pearson correlation, using the ExpDes.pt package.

### **RESULTS**

The vegetative vigor of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah was affected by rootstocks during both seasons, as shown by values of pruning weight and bud fruitfulness (Table 1). There was an interaction among treatments for pruning weight. In general, during both seasons, the summer and winter pruning weight were higher for all varieties when grafted in IAC 766 and RUPESTRIS, ranging from 0.4 to 0.8 kg. In addition, GRAVESAC for Cabernet Sauvignon and Merlot and IAC 572 for Syrah also showed higher results.

During 2018, Syrah presented higher bud fruitfulness (mean of 1.45), 29% and 39% higher than Cabernet Sauvignon and Merlot, respectively. In 2019, differences among varieties were not observed. Rootstock combinations presented bud fruitfulness values higher than 1, for Syrah and Cabernet Sauvignon in the 2018 season and for all varieties in 2019. The bud fruitfulness of all varieties was higher when grafted onto IAC 766, RUPESTRIS,

GRAVESAC, SO4 and KOBER in both years, with values higher than 1 and it was reduced when grafted onto 1103P (Table 1).

KOBER, 101-14 and 1103 P combinations with Merlot contributed to increase bud fruitfulness in the 2019 season, while RUPESTRIS, 101-14 and 1103 P combinations with Cabernet Sauvignon showed a bud fruitfulness increase from 2018 to 2019. Rootstock combinations with Syrah showed bud fruitfulness reduction between seasons, except for IAC 572. However, the combination of IAC 572 with Cabernet Sauvignon showed low bud fruitfulness in both seasons (Table 1).

Table 1. Vigor parameters of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks.

Rootstocks	Summer Pruning Weight (kg per vine)						Winter Pruning Weight (kg per vine)					
	2018			2019			2018			2019		
	SY <sup>1</sup>	CS <sup>2</sup>	MT <sup>3</sup>	SY	CS	MT	SY	CS	MT	SY	CS	MT
IAC 766	0.53Ab*	0.81Aa	0.70Aab	0.75Aa	0.77Aa	0.78Aa	0.55Ba	0.43Ab	0.42Ab	0.62Aa	0.50Aab	0.47Ab
RUPESTRIS	0.33Ba	0.36Ca	0.31Ba	0.76Aa	0.84Aa	0.64Aa	0.48Ba	0.37Bb	0.38Aab	0.68Aa	0.53Ab	0.46Ab
GRAVESAC	0.38Ab	0.70Aa	0.23Bb	0.68Aa	0.74Aa	0.31Bb	0.46Ba	0.35Ba	0.17Bc	0.51Ba	0.54Aa	0.33Bb
101-14	0.30Bab	0.46Ca	0.17Bb	0.67Aa	0.61Aa	0.20Bb	0.38Ca	0.31Ca	0.16Bb	0.41Ba	0.40Ba	0.26Bb
IAC 572	0.42Aab	0.61Ba	0.27Bb	0.98Aa	0.70Aa	0.54Aa	0.69Aa	0.46Ab	0.21Bc	0.61Aa	0.40Bb	0.29Bb
1103 P	0.25Ba	0.42Ca	0.26Ba	0.70Aa	0.45Bb	0.36Bb	0.34Ca	0.23Cb	0.13Bb	0.45Ba	0.28Bb	0.23Bb
SO4	0.27Bb	0.57Ba	0.24Bb	0.70Aa	0.56Bb	0.32Bc	0.30Ca	0.31Ca	0.13Bb	0.36Ba	0.50Aa	0.26Bb
KOBER	0.37Aab	0.41Ca	0.21Bb	0.67Aa	0.51Ba	0.24Bb	0.30Ca	0.27Ca	0.09Bb	0.41Ba	0.35Bab	0.25Bb
CV(%)	34.71			50.18			24.22			21.98		

Rootstocks	Bud Fruitfulness					
	2018 <sup>n.s</sup>			2019 <sup>n.s</sup>		
	SY a	CS b	MT b	SY	CS	MT
IAC 766	1.70 A	1.41 A	1.20 A	1.08 A	1.15 A	1.12 A
RUPESTRIS	1.30 A	0.86 A	1.26 A	1.13 A	1.54 A	1.05 A
GRAVESAC	1.49 A	1.27 A	1.05 A	1.07 A	1.23 A	1.29 A

101-14	1.28 B	0.76 B	0.62 B	1.18 A	1.40 A	1.06 A
IAC 572	1.42 A	1.03 A	0.79 A	1.46 B	0.55 B	0.82 B
1103 P	1.26 B	0.59 B	0.55 B	0.99 B	1.15 B	0.84 B
SO4	1.51 A	1.02 A	1.03 A	1.35 A	1.08 A	1.30 A
KOBER	1.69 A	1.35 A	0.64 A	1.24 A	1.13 A	1.23 A
CV(%)		26.34			22.22	

\*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among varieties, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. <sup>n.s</sup>= non-significant interaction. <sup>1</sup>= Syrah. <sup>2</sup>=Cabernet Sauvignon. <sup>3</sup>=Merlot.

In the 2019 season, there was a downward trend among dates for  $\Psi_{\text{stem}}$ , stomatal conductance, photosynthesis and transpiration in all varieties (Figures 1, 2 and 3). The reduction in  $\Psi_{\text{stem}}$  was probably due to the decrease in rainfall from April to July, as usually occurs in the South of Minas Gerais (Favero et al., 2011). Although this reduction was expected, caused by environmental conditions (low rainfall and temperature) and senescence, some rootstocks improved the water status and photosynthetic rate.

Merlot grafted onto rootstocks IAC 766, IAC 572 and RUPESTRIS presented the best  $\Psi_{\text{stem}}$  (between -0.3 and -0.4 MPa), as compared to other rootstocks (around -0.5 MPa) (Figure 1A). Cabernet Sauvignon grafted onto rootstocks IAC 766, IAC 572 and SO4 presented the highest values of  $\Psi_{\text{stem}}$ , ranging from -0.25 to -0.45 MPa, whereas the most negative value (-0.6 MPa) was found in RUPESTRIS at postharvest measurement (Figure

2A). For Syrah vines, GRAVESAC, IAC 766 and IAC 572 induced the highest values (-0.3 to -0.4 MPa) (Figure 3A).

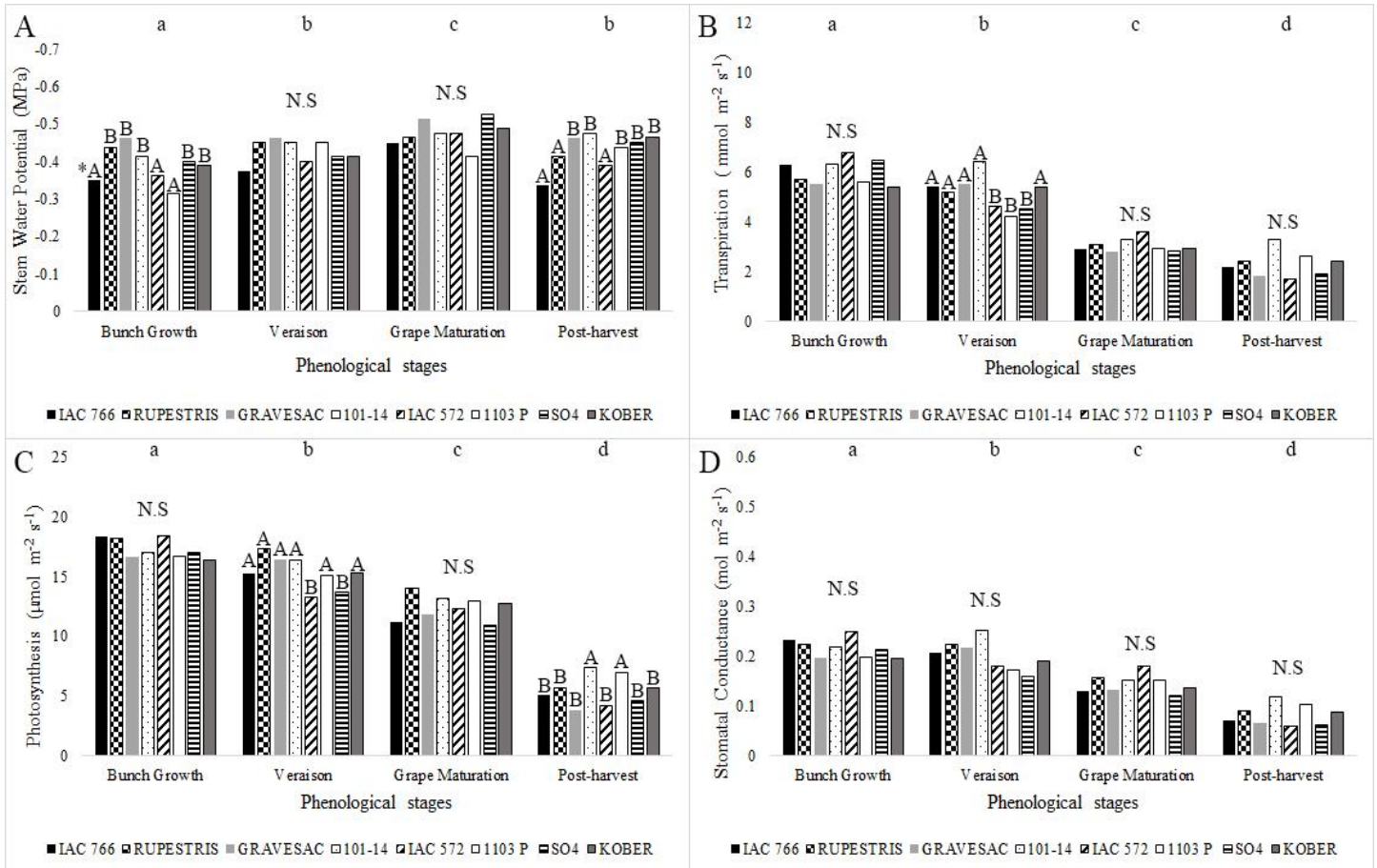


Figure 1. Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of Merlot grafted onto eight rootstocks during the 2019 winter season. \*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among phenological stages, are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. N.S.= not significant.



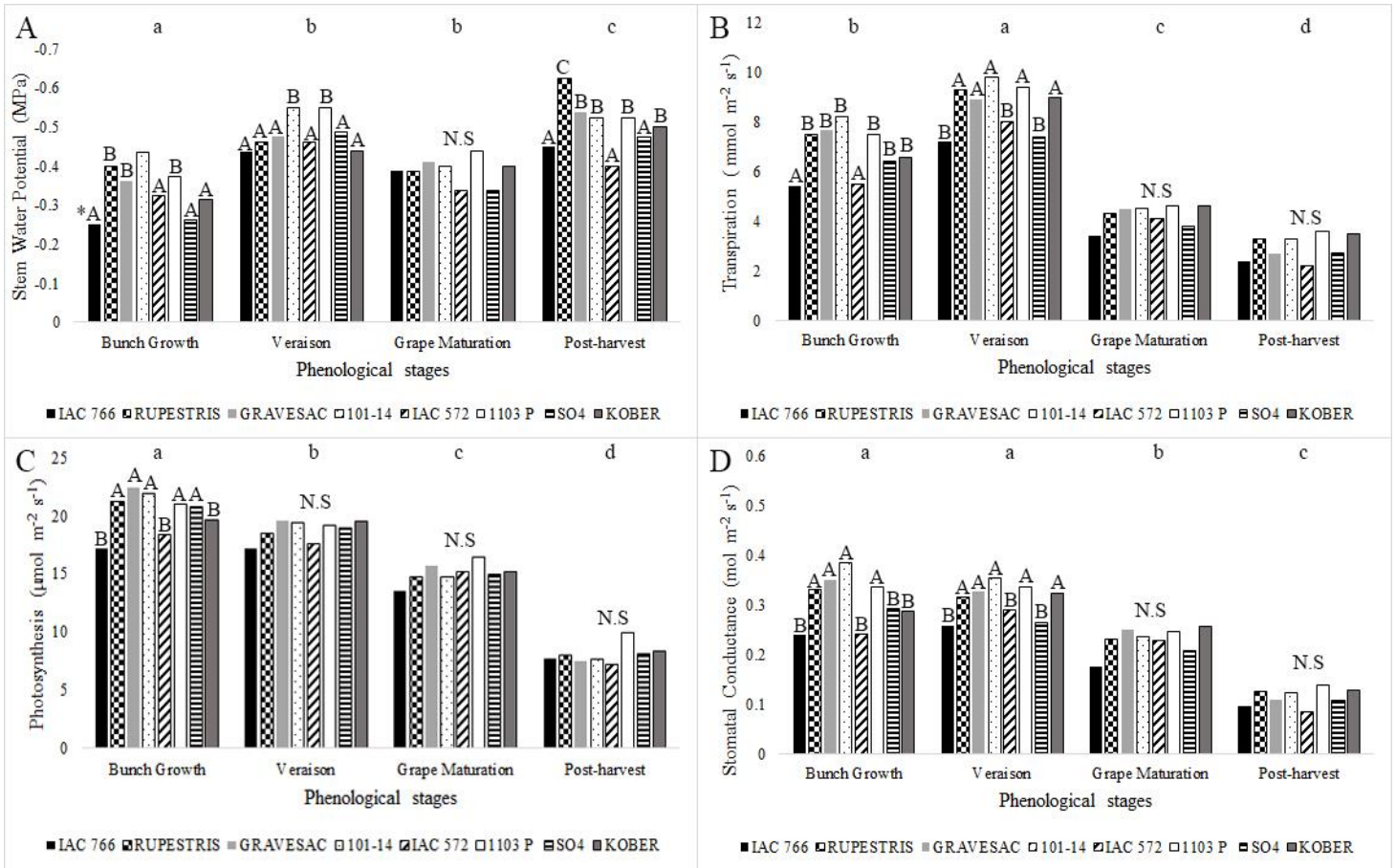


Figure 2. Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of Cabernet Sauvignon grafted onto eight rootstocks during the 2019 winter season, respectively. \*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among phenological stages, are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. N.S.= not significant.

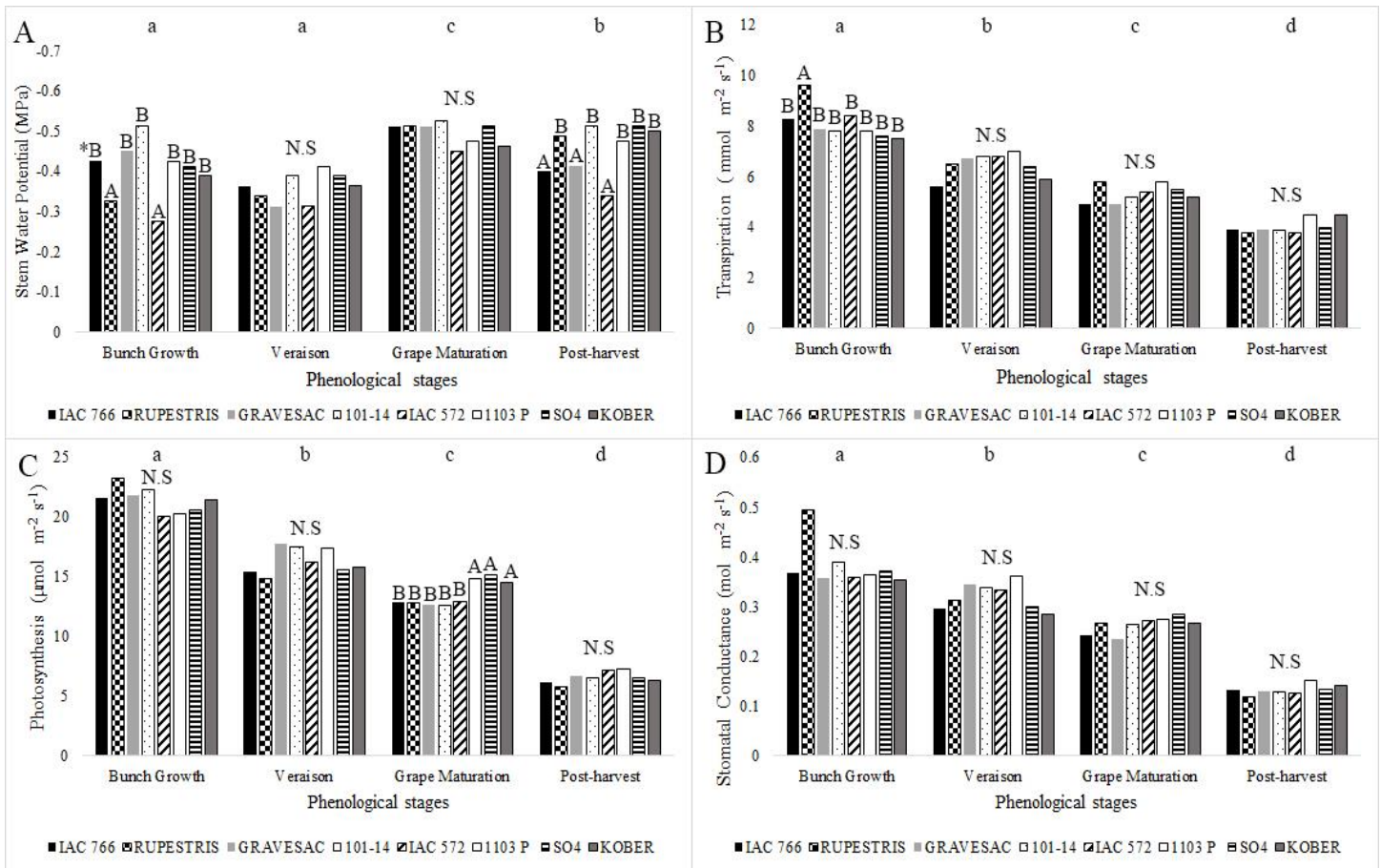


Figure 3. Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of Syrah grafted onto eight rootstocks during the 2019 winter season, respectively. \*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among phenological stages, are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. N.S.= not significant.

In general, transpiration, photosynthesis and stomatal conductance did not show statistical differences among rootstocks in most evaluated dates. However, regarding

photosynthesis, in the first measurement, rootstocks presented differences only for Cabernet Sauvignon, with the lowest values 17.19, 18.36 and 20.78  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  for IAC 766, IAC 572 and KOBBER, respectively (Figure 2C). The photosynthesis of Merlot grafted onto IAC 572 and SO4 was reduced from veraison to post-harvest, decreasing to values of 4.14 and 4.58  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectively (Figure 1C). Although differences were found only in the grape maturation period for Syrah, the average photosynthesis decreased from 21.4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  at bunch growth to 13.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  during grape maturation and 6.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  at post-harvest, a drop of 37 and 60%, respectively (Figure 3C).

During the 2018 season, the first production year, plant expression related to chlorophyll index varied among varieties. IAC 766 showed better results for Syrah, RUPESTRIS for Cabernet Sauvignon, while Merlot, when grafted onto GRAVESAC, 101-14 and 1103 P showed the highest values. During March 2019, the same tendency was verified for Syrah and Cabernet Sauvignon. However, Merlot IAC 766, RUPESTRIS and GRAVESAC yielded higher values of chlorophyll index ( $>49$ ). In general, the chlorophyll index in May was reduced by rootstocks 101-14, IAC 572 and KOBBER during both seasons. (Table 2).

Table 2. Chlorophyll index of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks.

Rootstocks	Chlorophyll Index (March)						Chlorophyll Index (May)		
	2018			2019			2019 <sup>n.s</sup>		
	SY <sup>1</sup>	CS <sup>2</sup>	MT <sup>3</sup>	SY	CS	MT	SY	CS	MT
IAC 766	50.62Aa*	44.00Bb	41.75Bb	53.82Aa	49.74Ab	49.64Ab	47.49B	52.98A	52.68A
RUPESTRIS	44.71Bb	49.76Aa	42.64Bb	53.46Aa	49.27Ab	49.07Ab	50.47A	50.75A	51.96A
GRAVESAC	45.21Ba	44.68Ba	44.84Aa	51.54Aa	51.21Aa	50.26Aa	52.90A	52.31A	52.18A
101-14	43.50Ca	45.01Ba	46.26Aa	50.16Ba	46.61Bb	46.7Bb	49.18B	49.78B	50.99B
IAC 572	46.65Ba	41.37Bb	38.51Cb	49.29Ba	40.03Cc	45.1Bb	48.97B	49.88B	49.28B
1103 P	42.10Ca	45.47Ba	45.7Aa	47.28Ca	46.21Ba	45.78Ba	49.99A	51.78A	52.43A
SO4	41.61Ca	44.20Ba	34.72Db	45.99Ca	46.59Ba	46.19Ba	52.23A	51.33A	48.52B
KOBER	39.75Cb	44.35Ba	40.43Cab	48.96Ba	45.83Ba	48.38Ba	49.69B	45.94B	52.34A
CV(%)	5.56			4.09			4.73		

\*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among varieties, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. <sup>n.s</sup>= non-significant interaction. <sup>1</sup>= Syrah. <sup>2</sup>=Cabernet Sauvignon. <sup>3</sup>=Merlot.

The yield components were affected by rootstocks between seasons, mostly caused by the age of vines. Syrah was the most productive, presenting a higher number and heavier bunches than Cabernet Sauvignon, and more numerous than Merlot. In 2018, IAC 766 increased cluster number per plant for all cultivars (Table 3). In 2019, differences among rootstocks were found only for Cabernet Sauvignon with RUPESTRIS, GRAVESAC, 101-14, SO4 and KOBER, presenting the highest values (> 14 bunches per vine) (Table 3).

Table 3. Yield parameters of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks.

Rootstocks	Cluster Number						Cluster Weight (g)					
	2018 <sup>n.s</sup>			2019			2018			2019		
	<sup>1</sup> SY a	<sup>2</sup> CS b	<sup>3</sup> MT c	SY	CS	MT	SY	CS	MT	SY	CS	MT
IAC 766	24 A*	13 A	8 A	20 Aa	11 Bb	14 Ab	114.6Aa	110.7Aa	112.1Aa	125.9Ca	89.5Ab	113.6Ca
RUPESTRIS	18 B	7 B	8 A	23 Aa	17 Ab	11 Ac	115.1Aa	108.7Aa	115.7Aa	119.6Ca	73.2Bb	112.6Ca
GRAVESAC	20 A	6 B	6 A	23 Aa	14 Ab	11 Ab	123.2Aa	112.9Aa	126.0Aa	147.8Ba	95.4Ac	124.1Cb
101-14	21 A	7 B	2 B	21 Aa	18 Aa	11 Ab	99.6Aa	93.6Aa	72.1Ba	140.0Ca	81.2Bb	119.5Ca
IAC 572	18 B	7 B	4 B	18 Aa	7 Bb	9 Ab	96.6Aa	70.4Ba	80.5Ba	121.7Ca	55.6Cb	111.3Ca
1103 P	17 B	5 B	4 B	23 Aa	10 Bb	10 Ab	111.0Aa	74.3Bb	79.9Bb	128.4Ca	79.1Bb	123.0Ca
SO4	18 B	6 B	3 B	22 Aa	14 Ab	11 Ab	114.6Aa	65.5Bb	80.9Bb	155.0Ba	106.4Ab	163.0Aa
KOBER	15 B	7 B	3 B	20 Aa	15 Ab	13 Ab	102.7Aab	110.9Aa	78.6Bb	178.1Aa	87.7Ac	142.0Bb
CV(%)	38.56			28.92			24.94			16.35		
Yield (kg per vine)												
Rootstocks	2018 <sup>n.s</sup>			2019								
	SY a	CS b	MT c	SY	CS	MT						
IAC 766	2.56 A	1.44 A	0.84 A	2.41Ca	1.04Ab	1.58Ab						
RUPESTRIS	2.08 B	0.69 B	0.96 A	2.73Ba	1.27Ab	1.28Ab						
GRAVESAC	2.44 A	0.67 B	0.68 A	3.42Aa	1.41Ab	1.38Ab						
101-14	2.14 B	0.63 B	0.18 B	2.97Ba	1.49Ab	1.35Ab						
IAC 572	1.87 B	0.52 B	0.40 B	2.13Ca	0.36Bb	1.01Ab						
1103 P	1.93 B	0.39 B	0.39 B	2,93Ba	0.81Bb	1.20Ab						
SO4	2.03 B	0.47 B	0.24 B	3.49Aa	1.49Ab	1.83Ab						
KOBER	1.59 B	0.77 B	0.23 B	3.58Aa	1.28Ab	1.79Ab						
CV(%)	43.61			32.50								

\*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among varieties, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. <sup>n.s</sup>= non-significant interaction. <sup>1</sup>= Syrah. <sup>2</sup>=Cabernet Sauvignon. <sup>3</sup>=Merlot.

During both seasons, all Syrah/rootstock combinations presented higher cluster weight than the average found for Syrah grape in Australia (96 g) (Walker et al., 2019). Most Cabernet Sauvignon treatments presented an average two-year cluster weight lower than the values found by Muniz et al., (2015) (average of 100 g), in the South region of Brazil, except for IAC 766, RUPESTRIS and KOBBER. Merlot grafted onto SO4 presented the highest cluster weight (163g), while other rootstocks presented similar cluster weight to those found by Kidman et al. (2013) in Australia and Rizzon and Miele (2003), in the Southern region of Brazil, with an average of 120g (Table 3).

Syrah grafted onto IAC 766 showed a similar yield during both seasons (2.5 kg per vine). However, IAC 766 induced the highest yield only in 2018, followed by GRAVESAC. The yield of Syrah grafted onto KOBBER, SO4 and GRAVESAC increased between seasons, from 2 to 3.5 kg per vine. In the 2018 season, Cabernet Sauvignon and Merlot onto IAC 766 and RUPESTRIS presented a yield of 1.44 and 0.96 kg per vine, respectively. In 2019, statistical differences among rootstocks was not found. Nonetheless, SO4, 101-14 and GRAVESAC for Cabernet Sauvignon (around 1.5 kg per vine) and SO4, KOBBER (around 1.8 kg per vine) and IAC 766 (around 1.6 kg per vine) resulted in the highest yield for Merlot (Table 3).

Overall, Syrah presented a higher Ravaz index ( $6.42 \text{ kg kg}^{-1}$ ), compared to Cabernet Sauvignon ( $2.81 \text{ kg kg}^{-1}$ ) and Merlot ( $5.17 \text{ kg kg}^{-1}$ ). The Ravaz index was higher for KOBBER ( $3.74, 8.11, 8.52 \text{ kg kg}^{-1}$ ), SO4 ( $3.09, 7.38, 10.50 \text{ kg kg}^{-1}$ ) and 101-14 ( $4.37, 6.62, 7.44 \text{ kg kg}^{-1}$ ).

<sup>1</sup>), in combination with Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah, respectively. Lower Ravaz indexes were found in IAC 572 combinations, followed by Rupestris and IAC 766 for all varieties (Table 4).

Table 4. Ravaz index (fruit/winter pruning weight ratio) of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks.

Rootstocks	Ravaz index (kg kg <sup>-1</sup> )		
	2019 <sup>n.s</sup>		
	Syrah a	Cabernet Sauvignon c	Merlot b
IAC 766	4.23 C*	2.28 C	3.37 C
RUPESTRIS	3.91 C	2.49 C	2.33 C
GRAVESAC	6.95 B	2.67 B	4.05 B
101-14	7.44 A	4.37 A	6.62 A
IAC 572	3.83 C	1.03 C	3.37 C
1103 P	5.99 B	2.76 B	6.15 B
SO4	10.50 A	3.09 A	7.38 A
KOBER	8.52 A	3.74 A	8.11 A
CV(%)	53.62		

\*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among varieties, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively.

<sup>n.s</sup> = non-significant interaction.

The rootstocks affected the physicochemical quality of berries (Table 5). The berry weight of Syrah showed no differences among rootstocks in both seasons, with an average of 1.4 g in 2019. Nevertheless, considering both seasons for Cabernet Sauvignon and Merlot, rootstocks IAC 766, RUPESTRIS, GRAVESAC, SO4 and KOBER induced higher berry weight with values ranging from 1.2 to 1.4 g for Cabernet Sauvignon and Merlot, respectively (Table 5). In the 2018 season, RUPESTRIS and IAC 766 induced the highest soluble solids

(around 24 °Brix) in Syrah and Merlot, respectively, whereas there were no differences among rootstocks for sugar accumulation in Cabernet Sauvignon berries (Table 5). In the 2019 season, rootstocks IAC 766, RUPESTRIS, 1103 P and KOBER led to the highest soluble solids in Syrah (approximately 21°Brix), 101-14 and 1103 P were better for Cabernet Sauvignon, averaging 23.5 °Brix, and soluble solids decreased in Merlot when grafted onto IAC 572, with 19.4 °Brix (Table 5).

Table 5. Physicochemical parameters of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grapes, grafted onto eight rootstocks.

Rootstocks	Berry Weight (g)						Soluble Solids (°Brix)					
	2019						2018			2019		
	SY <sup>1</sup>	CS <sup>2</sup>	MT <sup>3</sup>	SY	CS	MT	SY	CS	MT	SY	CS	MT
IAC 766	1.2Aa	1.3Aa	1.3Aa	1.5Aa	1.3Ab	1.4Aa	22.1Bb	21.5Ab	24.1Aa	22.0Aa	21.6Ca	20.7Ab
RUPESTRIS	1.2Ab	1.3Aab	1.3Aa	1.5Aa	1.1Bc	1.3Bb	24.0Aa	21.5Ab	21.6Cb	22.0Aa	22.9Ba	21.6Ab
GRAVESAC	1.3Aa	1.2Aa	1.2Ba	1.5Aa	1.3Ab	1.4Aa	22.2Ba	21.7Aa	21.6Ca	21.5Ba	22.0Ca	21.4Aa
101-14	1.3Aa	1.1Bab	1.0Cb	1.5Aa	1.0Cc	1.2Cb	21.4Ba	21.8Aa	21.5Ca	21.5Bb	23.9Aa	21.1Ab
IAC 572	1.3Aa	1.1Bb	1.2Ba	1.4Aa	1.0Cb	1.4Aa	21.2Ba	21.6Aa	21.2Ca	20.8Cb	22.3Ca	19.4Bc
1103 P	1.2Aa	1.1Ba	1.1Ca	1.4Aa	1.0Cc	1.3Bb	21.4Ba	21.4Aa	21.4Ca	22.4Ab	23.5Aa	21.2Ac
SO4	1.3Aa	1.1Bb	1.1Cb	1.5Aa	1.2Ab	1.4Aa	21.6Ba	21.8Aa	21.6Ca	21.5Bb	22.9Ba	20.9Ab
KOBER	1.2Aa	1.2Aa	1.0Cb	1.5Aa	1.2Ab	1.4Aa	22.7Ba	21.1Ab	22.7Ba	21.8Aa	22.0Ca	20.7Ab
CV(%)	6.96			4.27			3.33			2.30		
Rootstocks	Acidity (g L <sup>-1</sup> of tartaric acid)						pH					
	2018			2019			2018			2019		
	SY	CS	MT	SY	CS	MT	SY	CS	MT	SY	CS	MT
IAC 766	4.3Ab	6.1Aa	4.2Ab	4.4Ac	5.7Ab	6.8Aa	3.9Ba	3.4Cc	3.6Ab	4.0Ca	3.6Cb	3.4Dc
RUPESTRIS	4.4Ab	5.6Ba	4.4Ab	4.2Ac	5.4Ab	5.8Ca	3.9Ba	3.5Bb	3.5Cb	4.1Ba	3.7Cb	3.5Cc
GRAVESAC	4.2Ab	5.8Ba	4.2Ab	4.1Bb	5.4Aa	5.5Da	3.9Ba	3.5Bb	3.5Cb	4.2Aa	3.6Cb	3.5Cc
101-14	3.7Bc	5.9Aa	4.1Bb	3.8Bb	5.2Ba	5.4Da	4.0Aa	3.6Ab	3.7Ab	4.1Ba	3.8Ab	3.5Bc
IAC 572	4.3Ab	5.7Ba	4.5Ab	4.0Bc	5.1Bb	5.8Ca	4.0Aa	3.6Ab	3.6Bb	4.1Ba	3.7Bb	3.5Ac
1103 P	4.0Ab	5.5Ba	4.0Bb	3.8Bb	5.4Aa	5.4Da	4.0Aa	3.6Ab	3.6Bb	4.2Aa	3.7Bb	3.5Bc
SO4	4.2Ab	6.0Aa	3.9Bb	3.9Bc	5.6Ab	6.2Ba	3.7Ca	3.4Cc	3.6Bb	4.0Ca	3.7Bb	3.4Cc



KOBER	4.1Ab	6.0Aa	4.4Ab	4.0Bc	5.3Bb	5.7Ca	3.9Ba	3.4Cc	3.6Bb	4.1Ba	3.6Cb	3.5Ac
CV(%)	4.43		3.95			1.25			1.08			

\*Means followed by the same letters, uppercase among rootstocks and lowercase among varieties, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively. <sup>1</sup>= Syrah. <sup>2</sup>=Cabernet Sauvignon. <sup>3</sup>=Merlot.

Cabernet Sauvignon showed the highest acidity, ranging from 5.3 to 6.2 g L<sup>-1</sup>, as compared to Merlot in 2018 and Syrah in both seasons (around 4.5 meq L<sup>-1</sup>). Generally, in 2018, acidity was higher for all varieties when grafted onto IAC 766, KOBER, SO4 and RUPESTRIS. The lowest acidity was found when Syrah vines were grafted onto 101-14, though statistically different only in 2018. In the 2019 season, Merlot vines showed an increase in acidity compared to the previous year and outperformed Cabernet in some rootstocks, with prominence to IAC 766, with 6.8 meq L<sup>-1</sup>. In this season, IAC 766 and SO4 presented the highest acidity, close to 5.6 meq L<sup>-1</sup> in Cabernet Sauvignon berries, while Syrah grapes remained with acidity around 4.0 g L<sup>-1</sup>, highlighting IAC 766 (4.4 g L<sup>-1</sup>) and RUPESTRIS (4.2 g L<sup>-1</sup>). For pH, there is a trend among treatments. Syrah showed higher pH around 4.0, with slight variations among rootstocks, while in Merlot and Cabernet Sauvignon, slight differences for grapes was around pH 3.5 (Table 5).

Overall, among varieties, only Merlot on IAC 572 (2.3 mg g<sup>-1</sup> berry) and KOBER (2.1 mg g<sup>-1</sup> berry) presented lower total phenolics (Figure 4A). Merlot also showed a lower anthocyanin content, except for IAC 766 (0.8 mg g<sup>-1</sup> berry) and RUPESTRIS (0.8 mg g<sup>-1</sup> berry) rootstock combinations. Syrah grapes presented the highest anthocyanin content

(average of 0.9). Cabernet Sauvignon showed lower anthocyanin content compared to Syrah berries on IAC 766 (0.8 mg g<sup>-1</sup> berry) and SO4 (0.7 mg g<sup>-1</sup> berry) combinations, while Merlot grapes presented lower values on IAC 766 and KOBER (both 0.7 mg g<sup>-1</sup> berry) combinations (Figure 4B).

Regarding the influence of rootstock on the content of phenolic compounds, a significant difference among rootstocks was found only in Cabernet Sauvignon grapes, where IAC 572 induced the highest value, 3.1 mg g<sup>-1</sup> of berry (Figure 4A). The anthocyanin content was affected by rootstocks for Cabernet Sauvignon and Merlot, with the highest value for IAC 572 (0.9 mg g<sup>-1</sup> of berry) and IAC 766 (0.8 mg g<sup>-1</sup> of berry), RUPESTRIS (0.8 mg g<sup>-1</sup> of berry) and GRAVESAC (0.7 mg g<sup>-1</sup> of berry), respectively.

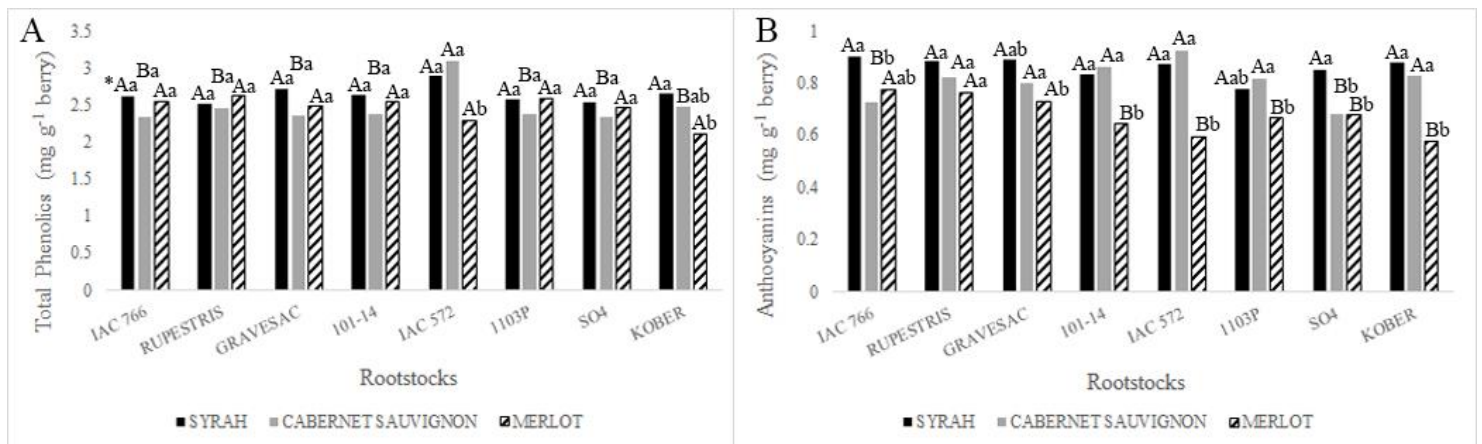


Figure 4. Total phenolics (A) and anthocyanins (B) of Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grapes, onto eight rootstocks during the 2019 season. \*Means followed by the same letters,

lowercase among varieties and uppercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Tukey tests, respectively.

Pearson correlation analyses performed between mean yield and mean total phenolics for each variety and the rootstocks displayed a moderate negative correlation for Cabernet Sauvignon vines, indicating that an increase in yield tends to decrease total phenolic contents (Table 6). This correlation was not verified in Merlot and Syrah vines, probably due to a higher average yield of 1.01 and 2.13 kg vine<sup>-1</sup>, respectively, compared to the yield of Cabernet Sauvignon (0.36 kg vine<sup>-1</sup>).

Table 6. Pearson correlation between total phenolics and yield for Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah grafted onto eight rootstocks.

<b>Varieties</b>	<b>Pearson correlation</b>	<b>p-value</b>
Cabernet Sauvignon	-0.785	0.021
Merlot	-0.156	0.711
Syrah	-0.386	0.345

Principal Component Analysis (PCA) was performed on the correlation matrix produced from the 11 parameters evaluated for eight rootstocks for each variety (Figure 5). The PCA biplot gives a visual overview on how different parameters were influenced by rootstocks and, in this type of data analysis, it is possible to group the treatments that reveal similarities among variables. The first two PCs accounted for 77%, 75% and 62% of the total variance for Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah, respectively. In general, for all varieties,

vigor and yield parameters are related to PC 1, while grape quality parameters are related to PC 2, as indicated by colored arrows in the biplot (Figure 5A, C and E).

The combined observation of PCA and Clustering Analysis (CA) divided samples into three clusters regarding rootstocks and physicochemical parameters (Figure 5). It is possible to increase yield with no impairment in grape quality using IAC766, RUPESTRIS, KOBER, GRAVESAC and SO4 for Cabernet Sauvignon and Merlot, characterized by higher vegetative and reproductive vigor, high yield and grape quality such as high acidity and lower pH. 1103 P and 101-14 for Cabernet Sauvignon are an intermediate group (cluster 2, orange), with high contents of soluble solids, pH and anthocyanins. Notwithstanding, 101-14, 1103 P and IAC 572 for Merlot showed the worst results (Figure 5B and D).

The Clustering Analysis of Syrah shows 3 clusters grouped mainly by yield and grape quality parameter effects: Cluster 1 (green) grouped SO4, GRAVESAC and KOBER, characterized by high yield (greater than 2.5 kg per vine), Ravaz index and heavier bunches. Cluster 2 (purple) presents IAC 766, RUPESTRIS and IAC 572 with high vegetative vigor, medium yield (2 kg per vine), and best quality parameter of grape such as higher acidity, anthocyanins and total phenolic contents. Finally, despite the great yield (average of 2.5 kg per vine), cluster 3 (purple), grouping 1103P and 101-14, have rootstocks presenting poor grape quality, with the lowest content of acidity, anthocyanins, total phenolic contents and the highest pH (> 4) (Figure 5 F).

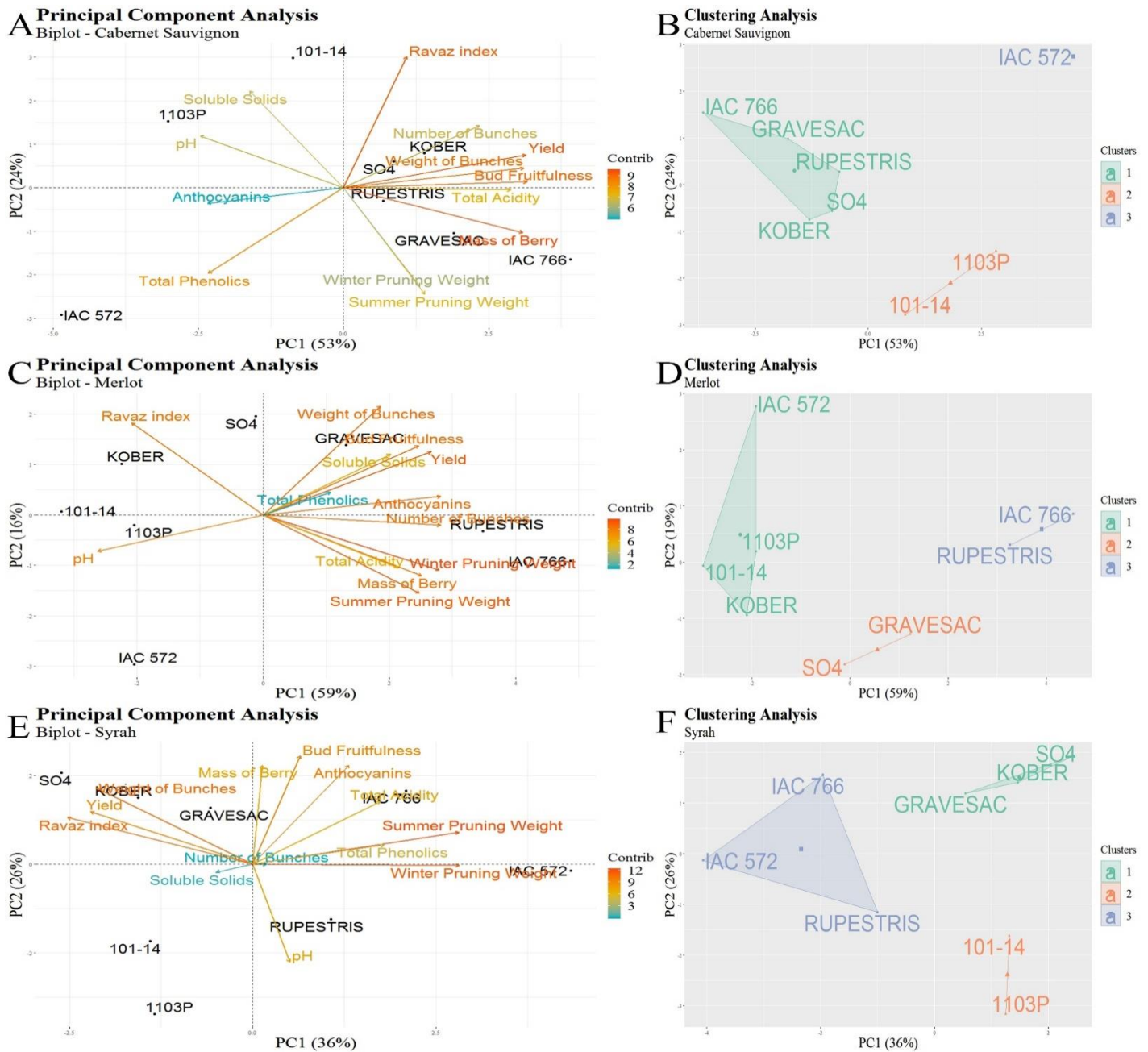


Figure 5. Principal components, biplot and clustering analysis of eight rootstocks for Cabernet Sauvignon (A and B), Merlot (C and D) and Syrah (E and F).

## DISCUSSION

The summer pruning weight was higher than winter pruning in both seasons. During the vegetative cycle (spring/summer), vine growth occurs under a rainy season with great water availability (Favero et al., 2011), allowing greater water and nutrient uptake. In addition, in double pruning management, clusters formed after summer pruning are removed from vines, at an early development stage, as a practice commonly performed by winter vine growers. Thereafter, there is an increase in starch accumulation in the shoot, trunk and roots (Souza et al., 2015b). Some studies have shown that, after fruit removal or cluster thinning, carbohydrate reserves in the wood were increased as a consequence of poor grape drain (Smith and Holzapfel, 2009; Zufferey et al., 2012; Vaillant-Gaveau et al., 2014), once the source-drain ratio is reduced, allowing vines to store more carbohydrate in the form of starch, in the trunk and roots.

The tropical rootstocks (IAC 766 and IAC572) GRAVESAC and RUPESTRIS improved the vigor of Syrah, Cabernet Sauvignon and Merlot, as shown by summer and winter pruning weight. These rootstocks are considered highly vigorous (Satisha et al., 2010; Souza et al., 2015a; Silva et al., 2018), and this may be correlated with root anatomy, morphology, development and distribution of root systems (Somkuwar et al., 2012; Tramontini et al., 2012). Roots with greater intensity of soil exploitation provide the vine with better water and nutrient uptake affecting growth, not only in the summer season, but also during the dry winter season (Stevens and Nicholas, 1994). In a study carried out by

Santarosa et al. (2015), the vegetative growth of Cabernet Sauvignon vines was associated with anatomical and structural differences in the vascular system of grapevines, including modifications in xylem area, diameter, frequency, and distribution of the vessels in the scion stem. The same authors also report that interactions between rootstock and scion lead to different activities of meristems and vascular cambium in scion, which modify the structure of the vascular system and vascular pattern according to the specific rootstock-scion combination.

Excessive shoot growth and canopy shading can be detrimental to bud fruitfulness. Rootstocks affect bud fruitfulness through changes in scion vigor; by exposing buds to sunlight, there is an increase in fertility, whereas the low light exposure (shading) decreases bud fertility, since the developing bud under shade conditions forms tendrils rather than inflorescences (Vasconcelos et al., 2009). In addition, vigorous rootstocks may also raise the incidence of bud necrosis (Cox et al., 2012).

As well as pruning weight, high vigor rootstocks increased  $\Psi_{\text{stem}}$ . Although all treatments remained with  $\Psi_{\text{stem}}$  ranging up to -0.5 MPa, indicating absence of water stress (Leeuwen et al., 2009), rootstocks that afford better water status to vines grown during autumn-winter season are requested, since maturation and starch accumulation for the next vegetative cycle occurs under low soil water availability due to rainfall reduction.

The roots of vines grafted onto vigorous rootstocks can grow deeply into the soil, allowing to explore deep layered water. According to Bassoi et al. (2007), IAC 572 presents

well spread roots over a greater soil volume compared to 1103P. In a study comparing rootstocks, Souza et al. (2009) found higher  $\Psi_{\text{stem}}$  when Syrah was grafted onto IAC 572 due to a higher hydraulic conduction. Cabernet Sauvignon grafted onto IAC 766 also presented higher  $\Psi_{\text{stem}}$ , as compared to other rootstocks evaluated under double pruning management (Souza et al., 2015a).

In the autumn/winter season, from April to July, leaves were affected by the reduction in maximum air temperature and humidity and, at the end of July (post-harvest period), most of the leaves of the canopy are senescent, as shown by the decreasing ecophysiological variables (Figures 1, 2 and 3). The linear correlation between ecophysiological variables (data not shown), indicates that the reduction in stomatal conductance, but not in the water status in vines, seems to be the main cause of the reduction in the photosynthetic apparatus. The reduction in the photosynthetic rates of Syrah and Cabernet Sauvignon under double-pruning during the coldest months was also observed by Favero et al. (2011) and Souza et al. (2015a), respectively, probably due to low night temperatures in winter.

Chilling stress during winter nights can have a direct effect on carbon uptake, preventing the activity of enzymes in the Calvin cycle or impairing sucrose and starch biosynthesis (Hendrickson et al., 2004a, b), besides structural injuries in leaf photosynthetic tissue components (Kraitch and Wise, 2000). However, in general, the photosynthesis of all varieties stood on well to supply the clusters during maturation, presenting higher values



compared to those found by Souza et al. (2015a), in Cabernet Sauvignon vines, Greer (2017) in Merlot vines and Dias et al. (2012) in Syrah vines.

It is important to emphasize that vines grafted onto IAC 572 presented lower photosynthesis rates, compared to other rootstocks; it may be related to leaf chlorophyll. Leaf chlorophyll content is an important parameter to the photosynthetic apparatus and it is already known that a lot of leaf nitrogen is merged in chlorophyll. Thus, measuring the chlorophyll content gives an indirect amount of nitrogen status (Moran et al. 2000). Chlorophyll content is also related to physiology stress and abiotic factors, such as light and water status (Pinkard et al. 2006). In this study, except for IAC 572, which showed lower values to both seasons, it was possible to observe variance among rootstocks, varieties and seasons. In this sense, chlorophyll may be an impairment in photosynthesis and hence in sugar availability, affecting yield and sugar content in IAC 572.

Merlot and Cabernet Sauvignon grafted onto IAC 766, GRAVESAC, 101-14, SO4, KOBER and RUPESTRIS showed estimated yields ranging from 6.0 to 7.5 t ha<sup>-1</sup>. Similar results were found by Souza et al. (2015a), who observed the highest yield for Cabernet Sauvignon vines under double-pruned management when combined with KOBER, SO4 and IAC 766 rootstocks. IAC 572 and 1103 P combinations reduced yield in Cabernet Sauvignon vines to 0.36 kg vine<sup>-1</sup> and 0.81 kg vine<sup>-1</sup>, respectively and, in Merlot vines, to 1.01 kg vine<sup>-1</sup> and 1.2 kg vine<sup>-1</sup>, respectively. These findings are very important to vine growers, since new areas have been implanted or it was encouraged with IAC 572 and 1103P rootstocks.

However, further evaluations considering more seasons are necessary to come up with conclusive results.

On the other hand, Syrah grafted in all rootstocks achieved mean yields of 8 t ha<sup>-1</sup> in 2018 and 11.8 t ha<sup>-1</sup> in 2019. This behavior was expected, since Syrah is a vigorous variety and shows high yield under double pruning, as observed in several studies (Favero et al., 2008; Favero et al.; 2011; Regina et al., 2011; Dias et al.; 2012; Dias et al., 2017). In 2019, some rootstocks showed estimated yields above 12 t ha<sup>-1</sup>, such as GRAVESAC (13.68 t ha<sup>-1</sup>), SO4 (13.96 t ha<sup>-1</sup>) and KOBER (14.32 t ha<sup>-1</sup>).

In traditional vineyard regions, it is common sense that high yields may be detrimental to grape quality and the goal of the wine production is to keep up the balance between yield and fruit quality. In this case, rootstocks such as IAC 766, RUPESTRIS, 1103P and 101-14, with estimated yields around 10 t ha<sup>-1</sup>, are more suitable, to avoid the labor to remove clusters in order to restrict yield and also to avoid yield variability between seasons (Bramley and Hamilton, 2004).

In this study, berry weight was above 1 g for all treatments and both years, with a low variance, up to 1.4 g. Berry size is one of the factors which determines the quality of the wine grape, since there is a higher solute/solvent ratio in smaller berries and hence, higher probability of extracting skin grape compounds such as minerals, phenolics and anthocyanins (Conde et al., 2007).

In general, for the production of quality red wines, the recommended characteristics are soluble solids above 20 °Brix, total acidity in the range of 6 to 7.5 g L<sup>-1</sup>, and pH between 3.3 and 3.6 (Jackson, 2014). Despite some differences within rootstocks, soluble solids were greater than 20 °Brix in all varieties, mean pH of 3.5 in Merlot and Cabernet Sauvignon and 4 in Syrah; total acidity was optimal in Cabernet Sauvignon, but low for Syrah in both seasons and Merlot in 2018.

Under double pruning management, Syrah and Cabernet Sauvignon present a late maturation period; in this study, they were harvested at mid-July, while Merlot was harvested earlier. In fact, the lower acidity of Merlot grapes in 2018 is related to harvest timing. In this season, Merlot grapes were harvested in early July, with an average of 4.2 g L<sup>-1</sup> total acidity, pH 3.6 and 22 °Brix, while in 2019 season, in an effort to prevent acid degradation, Merlot grapes were harvested a month earlier, with 5.9 g L<sup>-1</sup> total acidity, pH 3.5 and 21 °Brix.

Organic acid degradation may be correlated with scion genotype, once each variety is not equally responsive to temperature (Sweetman et al., 2014) and, under autumn-winter cultivation, soluble solids in Syrah grape present an average of 19 °Brix (Mota et al., 2010; Favero et al., 2011, Dias et al., 2017). In addition, Syrah grapes apparently present a different rate between sugar accumulation and acidity degradation, impairing the acidity content and increasing pH. Cluster exposition to temperatures and incidence of solar radiation, results in a decrease in total acidity and increased pH, by degradation of malic acid (Intrigliolo et al., 2014). An alternative to afford a better acidity content is to graft Syrah onto rootstocks that

provide a lower organic acid degradation, for instance, IAC 766 or RUPESTRIS, with higher acidity in both seasons.

Some authors have demonstrated an inverse relationship between grapevine vigor, yield and the resulting composition of the must in terms of soluble solids, tannins and polyphenols (Prajitna et al., 2007; Dobrei et al., 2016). However, in this study, the negative effect of high yields on physicochemical grape parameters was not evidenced in the winter harvest of Syrah, Cabernet Sauvignon or Merlot. In fact, combinations with highly vigorous rootstocks, otherwise, increased quality parameters such as anthocyanins in Merlot grapes grafted on IAC 766, RUPESTRIS or GRAVESAC rootstocks (Figure 4B). Similar results were found by Dias et al. (2017), who observed that total phenolic compounds and anthocyanins in Syrah berry skin were also not affected by rootstocks.

In addition, the relationship of anthocyanin and polyphenolic compounds with wine quality are extremely important, especially in wines with the potential for aging and ripening (Tardaguila et al., 2010). The grape quality parameters found in this study indicate that these varieties present a similar grape composition, compared to values of Syrah in Australia (Antalick et al., 2015), Merlot under cool climates (Karoglan et al., 2014) and higher than Cabernet Sauvignon under traditional harvest conditions in highland regions of Southern Brazil (Miele and Rizzon, 2017; Marcon Filho et al., 2019).

The effect of lower yield on anthocyanin and polyphenolic content in grapes was also found by Cortell et al. (2005), who verified a significant increase in the amount of

proanthocyanidin and tannins in Pinot noir grapes under decreased yield. The highest color intensity and polymerized pigment index were observed in Syrah wine, when the plant was grafted onto the lowest vigorous rootstock, 161-49C, with an average yield of 0.79 kg vine<sup>-1</sup> (Dias et al., 2017).

According to Cheng et al. (2017), rootstock can influence the levels of grape components such as phenolic compounds and these effects vary depending on the scion genotype. Scion-rootstock combinations suitable to provide greater vine water status, chlorophyll content and vegetative vigor were able to supply the cluster demand.

The Ravaz index in the range of 5 to 10 for *Vitis vinifera* varieties, in traditional vineyard regions, is an indication that the vine is balanced. An index higher than 10 indicates an excessive yield, while a Ravaz index below 5 indicates excessive vine vigor (Kliwer et al., 2000). Ravaz index measurements in winter harvest indicated under-cropping in Merlot vines grafted onto RUPESTRIS (2.33) and IAC 766 (3.37), as well as in Cabernet Sauvignon combinations with SO4 (3.09) and GRAVESAC (2.49) and Syrah grafted onto IAC 766 (4.23) and RUPESTRIS (3.91). The results of this study are similar or higher than those found by Mota et al. (2011), Muniz et al. (2015), Souza et al. (2015a) and Dias et al. (2017) under traditional and double-pruning management. In this case, the Ravaz index is not a good criterion of vine balance under double-pruning management, since these varieties grafted onto the rootstocks mentioned presented high yields, with no impairment in grape quality.

## **CONCLUSION**

The yield and grape quality of Cabernet Sauvignon and Merlot grapevines under double pruning management could be improved using highly vigorous rootstocks. The combination with IAC 766, RUPESTRIS, SO4, GRAVESAC and KOBBER increased yield with no impairment in grape quality for all varieties. Regarding Syrah vines, 101-14 and 1103P presented higher pH and lower must acidity and IAC 572 did not increase yield; therefore, these rootstocks can be considered less suited to winter harvest vines.

**REFERENCES**

Amerine, M.A.; Ough, C.S. 1980. *Methods for Analysis of Musts and Wines*. John Wiley, New York, NY, USA.

Antalick, G.; Šuklje, K.; Blackman, J.W.; Meeks, C.; Deloire, A.; Schmidtke, L. M. 2015. Influence of grape composition on red wine ester profile: comparison between cabernet sauvignon and Shiraz cultivars from Australian warm climate. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 63:4664-4672.

Bassoi, L.H.; Dantas, B.F.; Lima Filho, J.M.P.; Lima, M.A.C.; Leão, P.C.S.; Silva, D.J.; Maia, J.L.T. Souza, C.R. 2007. Preliminary results of a long-term experiment about RDI and PRD irrigation strategies in winegrapes in São Francisco Valley, Brazil. *Acta Horticulturae* 754:276-282.

Bem, B.P de; Bogo, A.; Everhart, S.; Casa, R.T.; Gonçalves, M.J.; Marcon Filho, J.L.; Cunha, I.C. da. 2015. Effect of Y-trellis and vertical shoot positioning training systems on downy mildew and botrytis bunch rot of grape in highlands of southern Brazil. *Scientia Horticulturae* 185:162-166.

Bramley, R.G.V.; Hamilton, R.P. 2004. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10:32–45.

Choné, X.; Van Leeuwen, C.; Dubourdieu, D.; Gaudillère, J.-P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator for grapevine water status. *Annals Botany* 87:477-483.

Chou, M.I.; Li, K. T. 2014. Rootstock and seasonal variations affect anthocyanin accumulation and quality traits of ‘Kyoho’ grape berries in subtropical double cropping system. *Vitis* 53:193-199.

Conde, C.; Silva, P.; Fontes, N.; Dias, A.C.P.; Tavares, R.M.; Sousa, M.J.; Agasse, A.; Delrot, S.; Gerós, H. 2007. Biochemical changes throughout grape berry development and bfruit and wine quality. *Food* 1:1-22.

Cortell, J.M.; Hableib, M.; Gallache, A.V.; Righetti, T.L.; Kennedy, J.A. 2005. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:5798-5808.

Cox, C.M.; Favero, A.C.; Dry, P.R.; McCarthy, M.G.; Collins, C. 2012. Rootstock effects on primary bud necrosis, bud fertility, and carbohydrate storage in Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture* 63:277-283.



Dias, F.A.N.; Mota, R.V. da; Favero, A.C.; Purgatto, E.; Shiga, T.M.; Souza, C.R. de; Pimentel, R.M. de A.; Regina, M. de A. 2012. Videira 'Syrah' sobre diferentes porta-enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47:208-215 (in Portuguese, with abstract in English).

Dias, F.A.N.; Mota, R.V. da; Souza, C.R. de; Pimentel, R.M. de A.; Souza, L.C. de; Souza, A.L. de; Regina, M. de A. 2017. Rootstock on vine performance and wine quality of 'Syrah' under double pruning management. *Scientia Agricola* 74:134-141.

Dobrei, A.; Dobrei, A.; Posta, G.; Danci, M.; Nistor, E.; Camen, D.; Mălăescu, M.; Sala, F. 2016. Research concerning the correlation between crop load, leaf area and grape yield in few grapevine varieties. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 10:222-232.

Favero, A.C.; Amorim, D.A.; Mota, R.V. da; Soares, A.M.; Souza, C.R.; Regina, M. de A. 2011. Double-pruning of 'Syrah' grapevines: a management strategy to harvest wine grapes during the winter in the Brazilian Southeast. *Vitis* 50:151-158.

Giusti, M.M.; Wroslad, R.E. 2000. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Willey, New York, NY, USA.

Greer, D.H. 2017. Temperature and CO<sub>2</sub> dependency of the photosynthetic photon flux density responses of leaves of *Vitis vinifera* cvs. Chardonnay and Merlot grown in a hot climate. *Plant Physiology and Biochemistry* 111:295-303.

Hendrickson, L.; Ball, M.C.; Wood, J.T.; Chow, W.S.; Furbank, R.T. 2004a. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. *Plant, Cell and Environment* 27:795-809.

Hendrickson, L.; Chow, W.S.; Furbank, R.T. 2004b. Low temperature effects on grapevine photosynthesis: the role of inorganic phosphate. *Functional Plant Biology* 31:789-801.

Intrigliolo, D.S.; Llacer, E.; Revert, J.; Esteve, M.D.; Climent, M.D.; Palau, D.; Gómez, I. 2014. Early defoliation reduces cluster compactness and improves grape composition in Mandó, an autochthonous cultivar of *Vitis vinifera* from southeastern Spain. *Scientia Horticulturae* 167:71-75.

Jackson, R.S. Wine science: principles and applications. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, 2014. 978p.

Jones, T.H.; Cullis, B.R.; Clingeleffer, P.R.; Rühl, E.H. 2009. Effects of novel hybrid and traditional rootstocks on vigour and yield components of Shiraz grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 15:284–292.

Karoglan, M.; Osrečak, M.; Maslov, L.; Kozina, B. 2014. Effect of Cluster and Berry Thinning on Merlot and Cabernet Sauvignon Wines Composition. *Czech Journal of Food Science* 32:470-476.

Kidman, C.M.; Dry, P.R.; McCarthy, M.G.; Collins, C. 2013. Reproductive performance of Cabernet Sauvignon and Merlot (*Vitis vinifera* L.) is affected when grafted to rootstocks. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19:409-421.

Kliewer, W.M., Wolpert, J.A.; Benz, M. 2000. Trellis and vine spacing effects on growth, canopy microclimate, yield and fruit composition of Cabernet Sauvignon. *Acta Horticulturae* 526:21-32.

Köse, B.; Karabulut, B.; Ceylan, K. 2014. Effect of rootstock on grafted grapevine quality. *European Journal of Horticultural Science* 79:197-202.

Leeuwen, A.V.; Tregoat, O.; Choné, X.; Bois, B.; Pernet, D.; Gaudièllere, J.P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 43:121-134.

Marcon Filho, J.L.; Rufato, L.; Bogo, A.; Macedo, T.A.; Würz, D. A.; Kretzschmar, A.A. 2019. Viticultural performance of Cabernet Sauvignon clones in highland region of southern Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura* 41:1-9.

Miele A.; Rizzon, L.A. 2017. Rootstock-scion interaction: 2. effect on the composition of cabernet sauvignon grape must. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39:1-9.

Moran, J.A.; Mitchell, A.K.; Goodmanson, G.; Stockburger, K.A. 2000. Differentiation among effects of nitrogen fertilization treatments on conifer seedlings by foliar reflectance: A comparison of methods. *Tree Physiology* 20:1113-1120.

Mota, R.V.; Favero, A.C.; Silva, C.P.C.; Purgatto, E.; Shiga, T.M.; Regina, M.A. 2011. Wine grape quality of grapevines grown in the Cerrado ecoregion of Brazil. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 45:101-109.

Muniz, J.N.; Simon, S.; Brighenti, A.F.; Malinovski, L.I.; Panceri, C.P.; Vanderlinde, G.; Welter, J.; Dal Zotto, D.; Silva, A.L. 2015. Viticultural Performance of Merlot and Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) cultivated in high altitude regions of southern Brazil. *Journal of Lifes Sciences* 9:399-410.

Muñoz-Espada, A.C.; Wood, K.V.; Bordelon, B.; Watkins, B. A. 2004. Anthocyanin quantification and radical scavenging capacity of Concord, Norton, and Marechal Foch grapes and wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:6779-6786.

Pinkard, E.A.; Patel, V.; Mohammed, C. 2006. Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. *Forest Ecology Management* 223:211-217.

Prajitna, A.; Dami, I.E.; Steiner, T.E.; Ferree, D.C.; Scheerens, J.C.; Schwartz, S.J. 2007. Influence of cluster thinning on phenolic composition, resveratrol, and antioxidant capacity in chambourcin wine. *American Journal of Enology and Viticulture* 58:346-350.

Regina, M.A.; Mota, R.V.; Favero, A.C.; Shiga, T.M.; Silva, L.H.J.; Souza, W.C.; Novelli, F.A.D.; Souza, C.R. 2011. Caracterização físico-química de uvas viníferas cultivadas em regime de dupla-poda no nordeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Viticultura e Enologia* 3:84-92.

Rizzon, L.A.; Miele, A. 2003. Avaliação da cv. Merlot para elaboração de vinho tinto. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 23:156-161.

Santarosa, E.; Souza, P.V.D. de; Mariath, J.E. de A.; Lourosa, G.V. 2016. Physiological interaction between rootstock-scion: effects on xylem vessels in Cabernet Sauvignon and Merlot grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 67:65-76.

Satisha, J.; Somkuwar, K. G.; Sharma, J.; Upadhyay, A.K.; Adsule, P.G. 2010. Influence of rootstocks on growth yield and fruit composition of Thompson seedless grapes grown in the Pune region of India. *South African Journal of Enology and Viticulture* 31:1-8.

Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339-346.

Silva, M.J.R. da; Paiva, A.P.M.; Pimentel Junior, A.; Sánchez, C.A.P.C.; Callili, D.; Moura, M.F.; Leonel, S.; Tecchio, M.A. 2018. Yield performance of new juice grape varieties grafted onto different rootstocks under tropical conditions. *Scientia Horticulturae* 241:194-200.

Smith, J.P.; Holzapfel, B.P. 2009. Cumulative responses of Semillon grapevines to late season perturbation of carbohydrate reserve status. *American Journal of Enology and Viticulture* 60:461-470.

Souza, C.R. de; Maroco, J.P.; Santos, T.P.; Rodrigues, M.L.; Lopes, C.M.; Pereira, J.S.; Chaves, M.M. 2003. Partial rootzone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). *Functional Plant Biology* 30:653–662.

Souza, C.R.; Bassoi, L.H.; Lima Filho, J.M.; Silva, F.F.S.; Viana, L.H.; Dantas, B.F.; Pereira, M.S.; Ribeiro, P.R.A. 2009. Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. *Scientia Agricola* 66:436-446.

Souza, C.R. de; Mota, R.V. da; França, D.V.C.; Pimentel, R.M de A.; M.C.; Regina, M. de A. 2015. Cabernet Sauvignon grapevine grafted onto rootstocks during the autumn-winter season in southeastern Brazilian. *Scientia Agricola* 72:138:146.

Somkuwar, R.G.; Taware, P.B.; Bondage, D.D.; Navale, S. 2012. Root length, root mass, and distribution of dry matter in different parts of Thompson Seedless grapevine grafted on different rootstocks in heavy soil of Maharashtra. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 36:543-552.

Stevens, R.M.; Nicholas P.R. 1994. Root length and mass densities of *Vitis vinifera* L. cultivars 'Muscat Gordo Blanco' and 'Shiraz'. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 22:381-385.

Sweetman, C.; Sadras, V.O.; Hancock, R.D.; Soole, K.L.; Ford, M. 2014. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of Experimental Botany* 65:5975-5988.

Tardaguila, J.; Martinez, T.F.; Poni, S.; Diago, M.P. 2010. Impact of early leaf removal on yield and fruit and wine composition of *Vitis vinifera* L. Graciano and Carignan. *American Journal of Enology and Viticulture* 61:372-381.

Tramontini, S.; Van Leeuwen, C.; Domec, J.C.; Destrac-Irvine, A.; Basteau, C.; Vitali, M.; Mosbach-Schulz, O.; Lovisolo, C. 2012. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grapeberry development. *Plant and Soil* 368:215-230.

Vaillant-Gaveau, N.; Wonjnarowicz, G.; Petit, A.-N.; Jacquens, J.; Panigai, L.; Clément, C.; Fontaine, F. 2014. Relationships between carbohydrates and reproductive development in

chardonnay grapevine: impact of defoliation and fruit removal treatments during four successive growing seasons. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 48: 219-229.

Vasconcelos, M.C. 2009. The flowering process of *Vitis vinifera*: a review. *American Journal of Enology and Viticulture* 60:411-425.

Walker, R.R.; Blackmore, D.H.; Clingeleffer, P.R.; Holt, H.; Pearson, W.; Francis, I.L. 2019. Effect of rootstock on yield, grape composition and wine sensory attributes of Shiraz grown in a moderately saline environment. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 25:414-429.

Wang, Y.; Chen, W-K.; Gao, X-T.; He, L.; Yang, X-H.; He, F.; Duan, C-Q.; Wang, J. 2019. Rootstock-mediated effects on Cabernet Sauvignon performance: vine growth, berry ripening, flavonoids, and aromatic profiles. *International Journal of Molecular Sciences* 20:1-16.

Zufferey, V.; Murisier, F.; Vivin, P.; Belcher, S.; Lorenzini, F.; Spring, J.-L. Viret, O. 2012. Carbohydrate reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L. Chasselas): the influence of the leaf to fruit ratio. *Vitis* 51:103-110.



## ARTIGO 2 - **Grape varieties for winter wine production**

Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Scientia Agricola

**ABSTRACT:** Currently, winter wines are mainly elaborated prepared from Syrah and Sauvignon Blanc grapes. In order to diversify the offer of winter wine labels, new varieties should be assessed under double pruning management. This study aimed to evaluate the productive and qualitative potential of eight red and four white varieties grafted onto medium and high vigor rootstocks for winter harvest in the South of Minas Gerais, Brazil. The experiment was carried out during 2018 and 2019 seasons and the treatments consisted of a 12x2 factorial arrangement, twelve vine varieties, two rootstocks and ten replicates, totaling 240 plants. Agronomical, ecophysiological, yield and grape quality parameters were assessed. Under double pruning management, Grenache, Marselan, Mourvèdre, Tempranillo, Touriga Nacional, Petit Verdot and Syrah were the best varieties for red wine production and Marsanne, Muscat Petit Grain, Vermentino and Viognier showed good performance for white wines, considering vigor, yield and grape quality in the evaluated period. In general, the vigor of IAC 766 did not compromise grape quality and can be used to increase yield, mainly for Mourvèdre, Petit Verdot, Touriga Nacional and Viognier. The spur pruning technique was not adequate for Carménère under double-pruning.

**Keywords:** cultivars, vegetative vigor, double pruning management, yield, composition.

## INTRODUCTION

Subtropical areas as Southeastern Brazil are adequate for wine grape growing and its great oenological potential has been evidenced by the quality of its winter wines. This was only possible due to the development of the double pruning technique, which has improved wine grape quality through changes in the harvest period from summer to autumn – winter (Regina et al., 2011). However, since double pruning management was developed, no other variety has adapted to this condition, as well as Syrah and Sauvignon Blanc (Favero et al., 2008; Regina et al., 2011).

In this sense, most of winter wines are elaborated from these two varieties and diversification is necessary to attend the consumer profile, in terms of varietal diversity or wine assemblage. The chemical composition of the wine is dependent on the type and quality of grapes (Styger et al., 2011). Wine contains acidity from organic acids (Ali et al., 2010), tannins and anthocyanins, in red grapes (Butzke and Park, 2011) and innumerable flavor and aroma compounds such as terpenes, esters, aldehydes and methoxypyrazines, imparting distinct aromas and flavors as floral, fruity and pepper (Bloem et al., 2008; Hernanz et al., 2009; Obreque-Slier et al., 2010). Some volatile compounds have been directly linked to specific varietal flavors and aromas, for instance, varietal wine aroma from muscat-related grapes, passion fruit aroma from Semillon and kerosene from Gewurztraminer grapes (Iriti and Faoro, 2006; Palaskova et al., 2008). All these components are involved in wine structure and aging ability and are characteristic to each variety.

Although double pruning has allowed production of high-quality wines, it is an exhausting technique to the vines, once two growing cycles (vegetative and reproductive) are demanded annually. To supply this high-energy demand, grafting onto medium to high vigorous rootstocks can be an alternative to improve yield with no detriment to starch accumulation or grape quality (Souza et al., 2015b; Dias et al., 2017).

This study aimed to improve grape diversity for winter wine production. Some red and white grape varieties were grafted in medium and high vigor rootstocks and evaluated for their productive and qualitative potential under double pruning management.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Location, plant material and experimental design**

The experimental site was located in a commercial vineyard in a subtropical area in Brazil, in Andradas, at Casa Geraldo winery, in Southern Minas Gerais, Brazil (22°05'28" S, 46°33'50" W, 913 m above sea level). The experiment was carried out during 2018 and 2019 seasons, when the plants were three and four years old. The treatments consisted of a 12x2 factorial arrangement, where twelve vine varieties, two rootstocks and ten replicates were used, totaling 240 plants.

The red varieties evaluated were: Carménère, Grenache, Marselan, Mourvèdre, Petit Verdot, Syrah, Tempranillo and Touriga Nacional, besides the white wine varieties Marsanne, Muscat Petit Grain Blanc, Vermentino and Viognier. Syrah was included as a

control treatment, as it was the best adapted variety under double pruning management (Regina et al., 2011). All varieties were grafted onto 1103 Paulsen (1103 P, *Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) and IAC 766 (Ripária do Traviú x *Vitis caribaea*), classified as medium (Goldammer, 2013) and high vigour rootstocks (Souza et al., 2009), respectively.

The experiment was set in the field in November 2015. Vine spacing was 2.5 m x 1.0 m, trained on a vertical shoot positioned trellis (VSP), harrowed with three wire strands and with north-south orientated rows. The double pruning management was applied according to the methodology described by Favero et al. (2011). The first pruning was done in August (vegetative cycle) for latent bud formation and the second pruning was done in January (productive cycle). During the vegetative cycle, all clusters were removed at green pea stage. The second pruning (yield pruning) was done in lignified shoots to induce the productive cycle. In both cycles, the buds were sprayed after pruning with hydrogen cyanamide (Dormex®) at 5 % to stimulate and standardize the budburst. The evaluations were carried out in the eight central plants of each treatment. Pest control sprays and other vineyard management practices were applied in accordance with conventional vineyard practices.

#### **Agronomical and ecophysiological evaluations**

During the productive cycle (from January to July), agronomical and ecophysiological parameters were evaluated to characterize vine performance. Vegetative and reproductive vigor were evaluated by pruning weight and bud fruitfulness. The pruning weight was measured in August (Winter) and January (Summer) after the vegetative and

yield pruning, respectively. Bud fruitfulness was obtained during full bloom. It was calculated, dividing the number of inflorescences by the number of branches using four plants for each treatment. Vine balance was calculated by the Ravaz index, only in the 2019 season, measured by the quotient between yield and the weight of the winter pruning material of six vines.

During the 2019 season, the ecophysiological parameters were measured in three dates, during cluster development, from late April to late May, except for leaf chlorophyll. The water status was measured by the stem water potential ( $\Psi_{\text{stem}}$ ), using the pressure chamber method (Scholander et al. 1965), using a 3115-chamber model (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA). For  $\Psi_{\text{stem}}$  measurement, shaded leaves were sampled from the middle part of the shoots (one leaf per plant), which were properly packed in plastic bags and aluminum foil to avoid transpiration for at least 1 hour before measurements, according to Choné et al. (2001).

Photosynthetic, transpiration and stomatal conductance rates were measured at the end of the morning (10 a.m.) on the same day used for  $\Psi_{\text{stem}}$  measurements, using a Li-6800 infra-red gas analyzer (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA). For this evaluation, four adult leaves, healthy, completely exposed to solar radiation and located in the middle portion of productive shoots (with clusters) were selected. The ecophysiological parameters of Marsanne, Mourvèdre and Touriga Nacional grafted onto IAC 766 were not evaluated due to the morning shade caused by a native tree nearby the experimental site. The decision to

discard these plants for ecophysiological evaluations was made considering the effect of shading upon enzyme activation and leaf photosystem components. It is well known that both photosynthesis and stomatal conductance respond to changing irradiance and, under conditions of low light availability, the kinetics of stomatal conductance can greatly impact CO<sub>2</sub> uptake (McAusland et al., 2016).

Leaf chlorophyll analysis was performed during two stages, fruit set and ripening period, using the atLEAF handheld chlorophyll meter. This measurement was done in three leaves per vine (four plants per treatment).

### **Yield components and fruit composition**

At harvest, the yield per vine and the number and weight of bunches were measured in the 8 central plants from each treatment. Clusters were also characterized through number and size of the berries per clusters. Berry equatorial and longitudinal diameters were determined using a digital caliper of a sample of four replicates of ten clusters and 50 berries per treatment. Berry weight and chemical analyses (soluble solids, pH and titratable acidity) were performed on the juice of pressed berries in four replicates of 150 berries samples per treatment. The soluble solid content (°Brix) was measured using a portable digital refractometer (PAL 1 model, ATAGO), titratable total acidity (g L<sup>-1</sup> of tartaric acid) was determined by titration with 0.1 N NaOH, using phenolphthalein and pH 8.2 as an endpoint

and pH was measured using a Micronal pH meter B474 calibrated with standards 4.0 and 7.0.

Phenolic maturation was determined using four replicates of 60 berries per treatment. The skin was removed, dried at room temperature, weighed, crushed with liquid nitrogen and stored at  $-80^{\circ}\text{C}$  until analysis. For the determination of phenolic compounds, 150 mg samples of the crushed skin were homogenized in a Ultra Turrax homogenizer (IKA T-18 basic) in acidified methanol solution (1% HCl). Samples were kept overnight at  $7^{\circ}\text{C}$  in the dark, centrifuged at 8.000 rpm for 15 minutes until total removal of pigments. The supernatant was transferred to 50 mL volumetric flasks. Anthocyanins in berry skin were determined by the pH differential method (Giusti and Wrolstad, 2001) and total phenolics were determined by the Folin-Ciocalteu method based on a standard curve of gallic acid (Amerine and Ough, 1980).

### **Statistical analyses**

A two-way ANOVA was conducted for each parameter to detect any interaction between varieties and rootstock, using the SISVAR software. Interactions among treatments were evaluated by the Scott-Knott test ( $p < 0.05$ ) for varieties and Student's t test ( $p < 0.05$ ) for rootstocks. Considering vegetative and reproductive vigor, yield and grape quality, principal component analysis (PCA) and clustering analysis (CA) were performed, using the R software and the Factoextra package.

In 2018, Muscat Petit Grain was harvested in two dates in order to elaborate two different wines: the first harvest of the vines grafted onto 1103 P rootstock was used for fine wine production, while the late harvest of the vines grafted onto IAC 766 was used in late harvest wine production. Therefore, this variety in the 2018 season was not considered for statistical discussion of quality parameters. Yield and grape quality data parameters of the 2018 season, however, are presented in tables in order to express vine potential.

## RESULTS

In both seasons, the vegetative vigor was significantly increased by IAC 766 for most cultivars, as shown by summer and winter pruning (Table 1). The summer pruning weight in 2018 was higher for Mourvèdre and Grenache, close to 0.8 kg vine<sup>-1</sup>, while in 2019, it was higher for Mourvèdre and Touriga Nacional onto both rootstocks (Table 1).

Table 1. Vigor parameters of twelve varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.

Varieties	Summer Pruning Weight (kg vine <sup>-1</sup> )				Winter Pruning Weight (kg vine <sup>-1</sup> )				Bud Fruitfulness			
	2018 <sup>n.s</sup>		2019		2018		2019 <sup>n.s</sup>		2018 <sup>n.s</sup>		2019 <sup>n.s</sup>	
	1103Pb	IAC766a	1103P b	IAC766 a	1103P	IAC766	1103Pb	IAC766a	1103Pb	IAC766a	1103Pa	IAC766a
Syrah	0.30C*	0.51B	0.54C	0.62C	0.33Bb	0.47Aa	0.37B	0.59B	1.22A	1.77A	1.32A	1.16A
Marselan	0.46B	0.67A	0.59B	0.79B	0.29Bb	0.47Aa	0.50B	0.59B	1.34A	1.96A	1.14A	1.30A
Grenache	0.55B	0.79A	0.38C	0.78C	0.39Aa	0.41Ba	0.34C	0.53C	1.12A	1.03A	1.01B	1.24B
Touriga N.	0.49B	0.53B	0.76A	0.89A	0.41Aa	0.50Aa	0.52A	0.67A	0.59A	1.23A	1.17A	1.28A
Tempranillo	0.36C	0.65B	0.54C	0.73C	0.33Ba	0.44Aa	0.36B	0.62B	0.78A	1.18A	1.00B	1.09B
P. Verdot	0.24C	0.36B	0.47C	0.54C	0.50Aa	0.47Aa	0.16D	0.41D	0.28B	1.02B	0.10C	0.58C
Mourvèdre	0.82A	0.76A	0.66A	0.96A	0.39Ab	0.52Aa	0.55A	0.81A	0.07C	0.34C	0.43C	0.80C
Carménère	0.36C	0.50B	0.38C	0.53C	0.24Bb	0.60Aa	0.29C	0.58C	0.17C	0.38C	0.48C	0.36C
M. P. Grain	0.21C	0.30B	0.47C	0.60C	0.19Bb	0.37Ba	0.22D	0.37D	1.14A	1.25A	1.19A	1.44A



Vermentino	0.36C	0.49B	0.59C	0.64C	0.28Bb	0.49Aa	0.41B	0.58B	0.89A	1.33A	1.08B	0.76B
Marsanne	0.45B	0.50B	0.67B	0.69B	0.38Aa	0.47Aa	0.36C	0.51C	0.88A	1.62A	1.43A	1.44A
Viognier	0.40B	0.70A	0.55C	0.59C	0.25Ba	0.32Ba	0.29C	0.51C	0.87A	1.26A	0.98A	0.84A
CV(%)	34.36		54.12		24.50		25.13		32.02		26.22	

\*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Student's t tests, respectively. <sup>n.s</sup>= non-significant interaction.

Differences in the winter pruning weight were more pronounced in 2019, and Mourvèdre and Touriga Nacional presented higher values, 0.70 and 0.60 kg vine<sup>-1</sup>, respectively. The lowest vegetative vigor was found for Muscat Petit Blanc and Petit Verdot, around 0.25 kg vine<sup>-1</sup> during both seasons and grafted onto 1103P (Table 1).

In the 2018 season, only Syrah, Marselan, Grenache and Muscat Petit Grain grafted onto 1103 P presented bud fruitfulness above one, while only Mourvèdre and Carménère grafted onto IAC 766 presented bud fruitfulness lower than one. In the 2019 season, Petit Verdot, Mourvèdre, Carménère, Viognier onto both rootstocks and Vermentino onto IAC 766 were not able to reach bud fruitfulness higher than one (Table 1).

Stem water potential ( $\Psi_{\text{stem}}$ ) ranged from -0.3 to -0.6MPa among treatments (Figure 1A and 2A). Varieties combined with 1103P were more sensitive to  $\Psi_{\text{stem}}$  fluctuations and did not show a similar pattern among varieties over the growing season (Figure 1A). For IAC 766 combinations, however, there was no difference in  $\Psi_{\text{stem}}$  data through the growing season. Only on May 6<sup>th</sup>, Syrah, Petit Verdot and Viognier showed the lowest  $\Psi_{\text{stem}}$  (Figure 2A).

All treatments presented a decrease in stomatal conductance, transpiration and hence in photosynthesis throughout the season. For both rootstocks, this reduction was around 33% from the first to the last date. It is important to emphasize that the photosynthesis data of varieties grafted onto IAC 766 differed in only two groups, with a lower photosynthetic activity observed in Muscat Petit Grain and Viognier (Figure 2 C), whilst four groups observed in varieties grafted onto 1103 P with Mourvèdre and Viognier presented the lower photosynthetic rate (Figure 1 C). In both cases, reduced stomatal conductance (Figures 1 D and 2 D) seems to be responsible for the lower photosynthetic activity. Marsanne was pointed out among varieties with the highest values for transpiration, photosynthesis and stomatal conductance (Figure 1). This variety kept high photosynthetic activity through growth with values above  $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , even at the third date of measurement (Figure 1 C). Ecophysiological data on Marsanne combined with IAC 766 rootstock was not measured due to the shadow condition of the vines, as explained in the Material and Methods section.

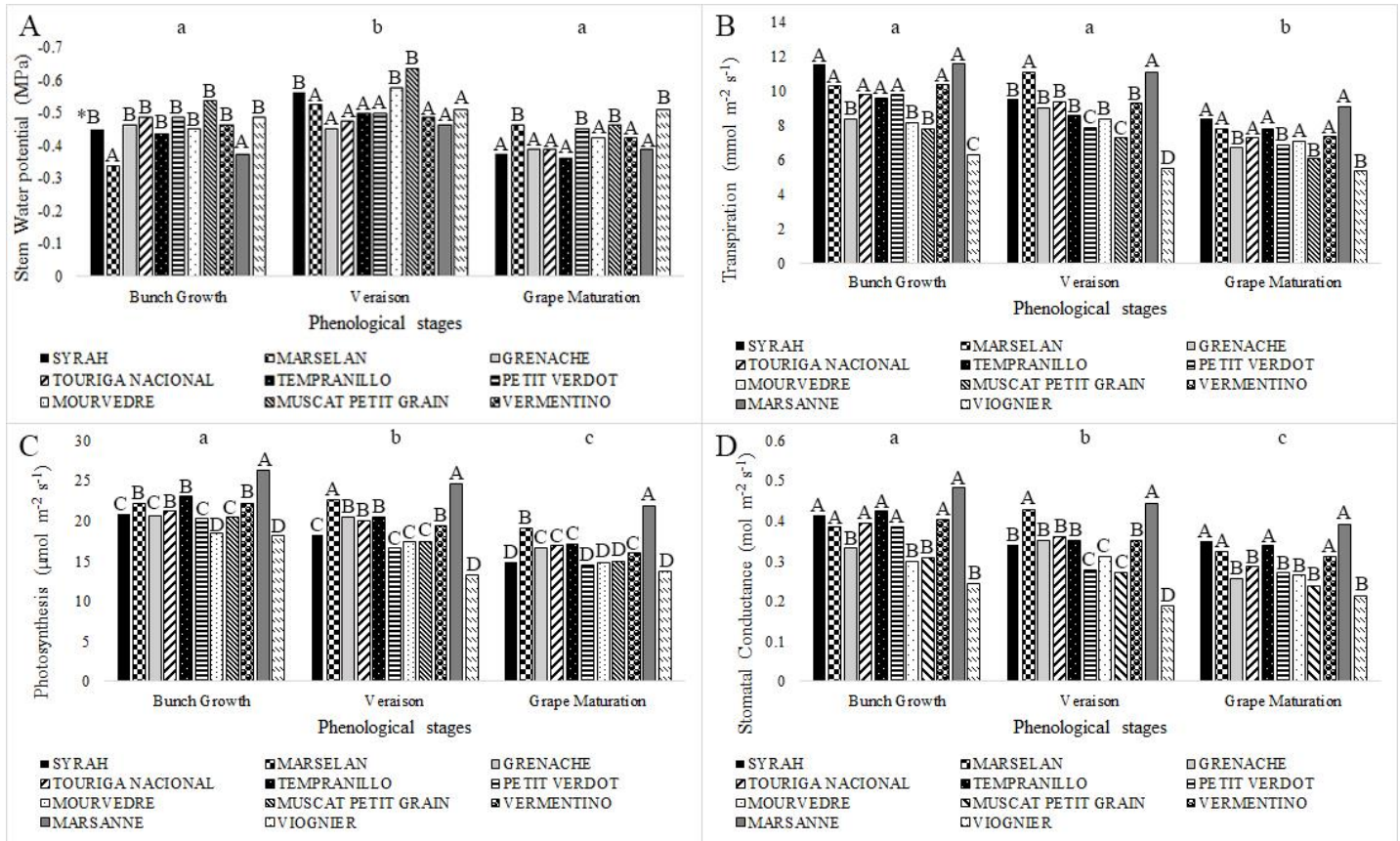


Figure 1. Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of eleven varieties grafted onto 1103 P during the 2019 winter season. \*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among phenological stages are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by the Scott-Knott and Tukey test, respectively. \*\*n.s = not significant. N.S. = not significant.

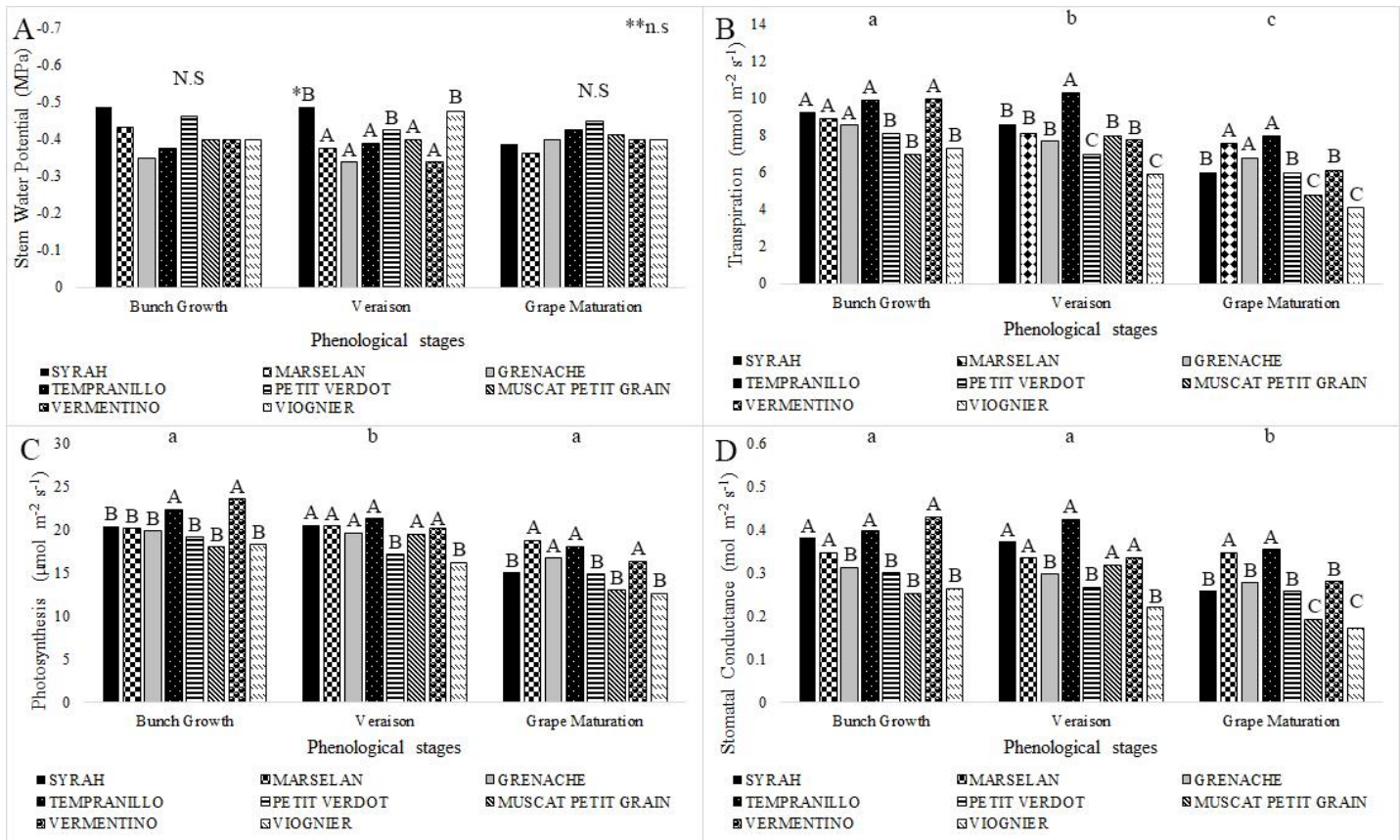


Figure 2. Stem water potential (A), transpiration (B), net photosynthesis (C) and stomatal conductance to water vapor (D) of eight varieties grafted onto IAC 766 during the 2019 winter season. \* Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among phenological stages are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by the Scott-Knott and Tukey test, respectively. \*\*n.s = not significant. N.S. = not significant.

IAC 766 combinations showed a higher chlorophyll index for all varieties in both measurement seasons. Regardless of the rootstock combination, Tempranillo, Muscat Petit Grain and Marsanne presented higher chlorophyll index values in March, but only Marsanne

remained with high values in May. Otherwise, Marselan and Grenache were pointed out with high chlorophyll indexes in May (Table 2).

Table 2. Chlorophyll index of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.

Rootstocks	Chlorophyll Index (March)				Chlorophyll Index (May)	
	2018		2019 <sup>n.s</sup>		2019	
	1103P	IAC766	1103Pa	IAC766a	1103Pb	IAC766a
Syrah	40.3Cb*	45.5Ba	45.7C	47.8C	52.1B	52.1B
Marselan	41.6Cb	46.8Ba	46.1C	47.5C	54.3A	55.5A
Grenache	42.5Ba	36.0Cb	43.5C	45.9C	54.3A	55.5A
Touriga N.	44.9Ba	45.9Ba	48.3B	51.7B	52.1B	52.1B
Tempranillo	49.3Aa	49.0Aa	51.5A	52.1A	44.5D	48.2D
P. Verdot	42.3Ba	45.1Ba	44.8C	47.5C	52.1B	54.2B
Mourvèdre	43.6Bb	47.9Aa	46.1B	53.2B	47.4C	52.7C
M. P. Grain	43.4Bb	48.8Aa	49.4A	52.7A	52.1B	52.1B
Vermentino	39.5Cb	45.1Ba	48.0B	49.9B	44.5D	48.2D
Marsanne	49.1Aa	48.5Aa	51.0A	55.0A	54.3A	55.5A
Viognier	41.4Ca	44.4Ba	44.6C	48.7C	47.4C	52.7C
CV(%)	8.75		4.03		3.86	

\*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Student's t tests, respectively. <sup>n.s</sup>= non-significant interaction.

There was an increase in vine production in most varieties grafted onto IAC 766, mainly caused by higher cluster number and weight. The number of clusters in both seasons ranged from 1 to 27 clusters per vine among varieties, with high values obtained in Syrah and Marselan in 2018 and Marsanne in 2019. The lowest number of clusters was observed for Petit Verdot and Mourvèdre grafted onto 1103 P. Cluster weight ranged from 15 g

(Mourvèdre/1103 P) to 280 g (Vermentino/IAC 766). Grenache, Tempranillo and Vermentino showed heavier clusters, above 200 g, characteristic of these genotypes. The varieties used in this study could be classified into two groups based on their yield. As a whole, a higher yield ( $\geq 2.0 \text{ kg vine}^{-1}$ ) was observed in Syrah, Grenache, Tempranillo, Muscat Petit Grain, Vermentino and Marsanne vines grafted onto both rootstocks and Marselan/IAC 766. The varieties Viognier, Petit Verdot, Mourvèdre, Touriga Nacional and Marselan/1103 P had the lowest values ( $\leq 1.5 \text{ kg vine}^{-1}$ ) (Table 3).

Table 3. Yield parameters of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.

Varieties	Cluster Number				Cluster Weight (g)				Yield (kg vine <sup>-1</sup> )			
	2018		2019		2018		2019		2018		2019	
	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766
Syrah	19Ab	26Aa	22Ba	18Ba	99.53Ca	126.07Ca	121.46Ba	122.12Da	1.91Bb	3.28Aa	2.67Ba	2.11Ba
Marselan	20Aa	22Aa	15Ca	14Ca	72.31Ca	87.24Da	65.22Cb	98.87Da	1.48Ba	2.92Ca	0.96Ca	1.35Ca
Grenache	14Ba	11Ca	11Cb	17Ba	195.14Aa	201.13Ba	210.90Aa	235.22Aa	2.72Aa	2.27Ba	2.36Bb	3.99Aa
Touriga N.	8Cb	15Ca	19Ba	18Ba	59.86Ca	65.08Da	69.81Ca	63.09Ea	0.50Ca	0.93Da	1.34Ca	1.07Ca
Tempranillo	7Cb	14Ca	10Ca	13Ca	150.90Bb	247.31Aa	186.17Aa	190.49Ba	1.49Bb	3.42Aa	1.89Ba	2.47Ba
P. Verdot	3Db	8Da	1Db	7Da	77.35Cb	111.45Ca	31.63Cb	92.00Da	0.21Ca	0.96Da	0.06Da	0.65Ca
Mourvèdre	1Eb	5Da	4Db	10Ca	14.44Db	115.12Ca	122.79Bb	158.10Ca	0.06Ca	0.54Da	0.69Cb	1.59Ba
M. P. Grain	11Ba	10Ca	15Ca	18Ba	163.63	101.87	158.98Ba	147.42Ca	1.81	1.04	2.40Ba	2.73Ba
Vermentino	9Ca	12Ca	11Ca	8Da	140.68Bb	274.02Aa	218.15Aa	127.36Db	1.34Bb	3.31Aa	2.27Ba	1.08Cb
Marsanne	8Cb	19Ba	27Aa	24Aa	145.46Ba	174.37Ba	143.92Ba	137.03Ca	1.20Bb	2.92Aa	3.75Aa	3.23Aa
Viognier	8Cb	13Ca	13Ca	11Ca	64.16Cb	104.59Ca	60.33Ca	52.86Ea	0.52Cb	1.42Ca	0.81Ca	0.59Ca
CV(%)	38.64		36.10		26.86		26.51		52.02		43.01	

\*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Student's t tests, respectively.

It is important to highlight that yield was increased by the IAC 766 combination, due to higher number and weight of clusters. However, the higher weight of bunches in this treatment was not related to a higher water uptake in berries (increased berry weight), but a higher number of berries was observed mainly per bunch, therefore not affecting pulp/skin ratio (Table 4). The number of berries per cluster ranged from 20 to 160, berry weight from 1 to 3 g and equatorial and longitudinal diameters from 10 to 16 mm (Table 4).

Table 4. Physical parameters of the berries from eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.

Varieties	Number of Berries per Bunch				Berry weight (g)			
	2018		2019 <sup>n.s</sup>		2018		2019 <sup>n.s</sup>	
	1103P	IAC766	1103Pa	IAC766a	1103P	IAC766	1103Pb	IAC766a
Syrah	107Ba*	129Aa	111C	108C	1.3Da	1.3Fa	1.4F	1.4F
Marselan	129Aa	157Aa	121B	137B	0.8Ea	0.9Ga	0.8H	0.8H
Grenache	160Aa	139Aa	143A	152A	1.5Bb	2.1Ba	1.8C	1.9C
Touriga N.	51Ca	49Ca	62E	59E	1.6Ba	1.6Da	1.3F	1.4F
Tempranillo	144Aa	168Aa	127B	139B	1.6Bb	1.8Ca	1.5D	1.8D
P. Verdot	88Bb	145Aa	97D	92D	0.8Ea	0.9Ga	0.9G	1.1G
Mourvèdre	19Db	82Ba	118B	121B	1.5Cb	1.7Da	1.3F	1.5F
M. P. Grain	89Ba	102Ba	97D	79D	2.1	1.8	2.2B	2.4B
Vermentino	65Ca	79Ba	74E	46E	2.6Ab	3.3Aa	3.7A	3.4A
Marsanne	103Bb	147Aa	129B	137B	1.5Ca	1.4Ea	1.5E	1.6E
Viognier	64Ca	78Ba	59E	43E	1.3Da	1.5Ea	1.3F	1.5F
CV(%)	20.82		14.64		8.21		6.92	
Varieties	Equatorial Diameter (mm)				Longitudinal Diameter (mm)			
	2018		2019		2018		2019	
	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766
Syrah	12.3Ga	12.4Fa	10.4Ha	10.1Ga	13.4Da	13.5Da	11.7Fa	11.5Fa
Marselan	11.0Hb	11.6Ga	9.0Ia	9.1Ha	11.8Fb	13.6Ea	9.9Ga	10.3Ga
Grenache	14.0Cb	14.7Ba	14.3Ca	13.4Cb	14.9Bb	15.5Ba	15.1Ba	14.1Cb
Touriga N.	13.4Da	13.6Da	12.0Fa	12.3Ea	14.3Ca	14.4Ca	12.8Da	13.2Ea

Tempranillo	14.6Bb	15.0Ba	13.3Db	13.7Ca	14.7Bb	15.2Ba	13.7Ca	13.7Da
P. Verdot	10.4Ib	11.3Ha	11.3Gb	11.8Fa	10.8Gb	11.6Fa	11.5Fb	12.0Fa
Mourvèdre	13.1Eb	14.0Ca	11.8Fb	12.9Da	13.9Cb	14.6Ca	12.5Eb	13.5Da
M. P. Grain	14.1	15.1	15.1Ba	14.4Ba	14.5	15.8	15.6Ba	15.1Ba
Vermentino	15.9Ab	16.7Aa	16.9Aa	16.8Aa	17.2Ab	18.0Aa	18.2Aa	18.9Aa
Marsanne	12.7Fa	12.9Ea	12.4Ea	12.0Ea	13.2Da	13.2Ea	13.0Da	12.9Ea
Viognier	11.1Hb	11.7Ga	11.3Gb	13.0Da	12.1Eb	12.9Da	12.2Eb	13.6Da
CV(%)	1.93		2.75		2.08		2.77	

\*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Student's t tests, respectively. <sup>n.s</sup>= non-significant interaction.

In both seasons, soluble solids ranged from 18 to 26 °Brix among treatments. Only Muscat Petit Grain in 2019 presented values lower than 20 in both rootstocks. IAC 766 increased acidity in the varieties, except for Grenache in 2019 and Viognier during both seasons. Petit Verdot presented higher acidity in both years, with values between 7.5 and 10.5 g L<sup>-1</sup>. Syrah showed the lowest acidity (3.7 to 4.6 g L<sup>-1</sup>) and the highest pH (around 4.0 in both seasons) (Table 5).

Table 5. Berry composition of eleven varieties grafted onto 1103P and IAC 766 rootstocks during 2018 and 2019 seasons.

Varieties	Soluble Solids (°Brix)				Acidity (g L <sup>-1</sup> of tartaric acid)				pH			
	2018		2019		2018		2019		2018 <sup>n.s</sup>		2019	
	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766	1103P	IAC766
Syrah	21.2Aa*	22.4Ba	21.3Ca	21.8Ca	4.3Ea	4.6Fa	3.7Ea	3.8Da	3.8A	3.8A	4.1Aa	4.1Aa
Marselan	25.9Aa	25.9Aa	23.6Ba	23.3Ba	6.5Ca	6.7Ca	6.4Ca	6.8Ca	3.4D	3.4D	3.5Cb	3.7Ba
Grenache	24.4Aa	24.1Aa	23.0Ba	22.9Ba	7.4Bb	8.5Aa	6.9Ca	6.3Cb	3.3E	3.3E	3.3Eb	3.6Da
Touriga N.	21.4Aa	24.8Aa	24.2Aa	23.2Bb	5.6Da	6.2Da	5.3Db	6.3Ca	3.9A	3.8A	3.8Ba	3.8Ba
Tempranillo	24.5Aa	25.1Aa	24.3Aa	24.2Aa	5.3Da	5.5Ea	6.1Ca	6.4Ca	3.7B	3.7A	3.8Ba	3.7Ba
P. Verdot	25.7Aa	26.6Aa	23.9Ba	23.7Ba	7.5Bb	8.5Aa	10.2Ab	10.9Aa	3.4D	3.4D	3.3Ea	3.2Fa



Mourvèdre	22.6Aa	25.8Aa	24.2Aa	24.7Aa	7.2Ba	7.5Ba	5.2Db	5.8Ca	3.6C	3.6C	3.8Ba	3.8Ba
M.P. Grain	21.1	26.1	18.3Da	18.9Da	7.3	5.6	6.5Ca	6.6Ca	3.2	3.4	3.3Da	3.4Ea
Vermentino	23.2Aa	21.9Ba	23.0Ba	23.8Aa	6.4Ca	6.6Ca	5.7Db	6.5Ca	3.4D	3.4D	3.5Ca	3.5Da
Marsanne	24.2Aa	23.1Ba	21.8Ca	21.7Ca	6.6Ca	7.1Ca	5.7Db	6.8Ca	3.3E	3.3E	3.4Db	3.5Da
Viognier	21.6Aa	21.9Ba	23.1Ba	20.7Cb	8.1Aa	6.8Cb	8.6Ba	7.9Bb	3.3E	3.4E	3.3Da	3.6Ea
CV(%)	13.05		3.08		9.87		6.39		12.94		1.18	

\*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Student's t tests, respectively. <sup>n.s.</sup>= non-significant interaction.

Total phenolic compounds and anthocyanin levels in the berry skin of red cultivars were different among varieties; rootstocks affected only the total phenolic content. Marselan onto IAC 766 and Touriga Nacional onto 1103P presented the highest phenolic content, with an average of 4.9 and 4.3 mg g<sup>-1</sup> berry, respectively, and Grenache presented the lowest value (average of 1.02 mg g<sup>-1</sup> berry). Marselan presented the highest content of anthocyanins (1.77 mg g<sup>-1</sup> berry), followed by Touriga Nacional and Petit Verdot (1.36 and 1.24 mg g<sup>-1</sup> berry, respectively), Syrah and Tempranillo (0.89 and 0.79 mg g<sup>-1</sup> berry, respectively), Mourvèdre (0.59 mg g<sup>-1</sup> berry) and Grenache (0.23 mg g<sup>-1</sup> berry) (Figure 3).

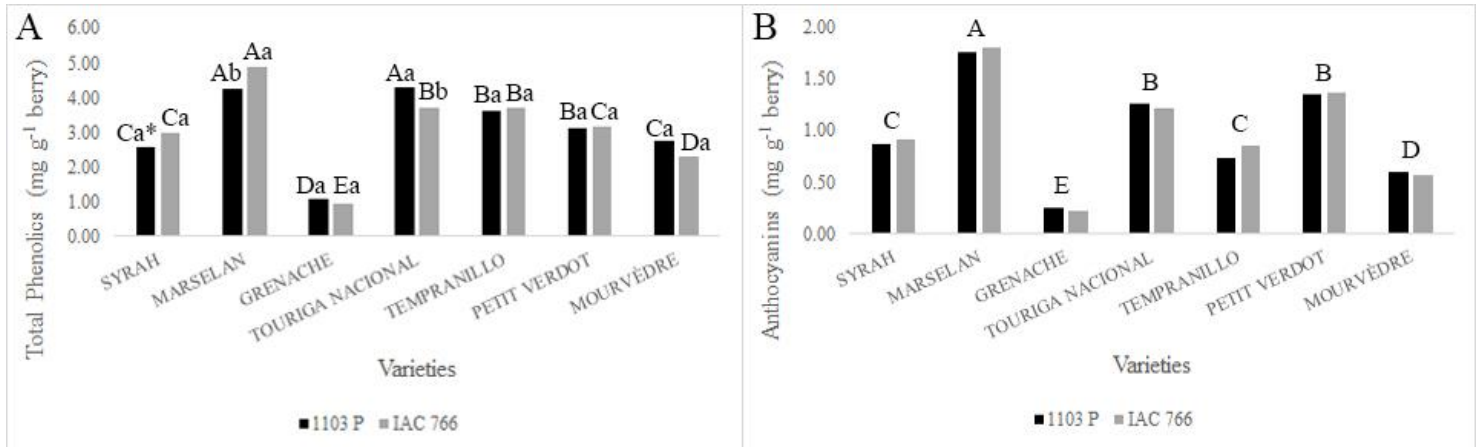


Figure 3. Total phenolics (A) and anthocyanins (B) of red grapes onto 1103 P and IAC 766 rootstocks during the 2019 season. \*Means followed by the same letters, uppercase among varieties and lowercase among rootstocks, in each season, are not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Scott-Knott and Student's *t* tests, respectively.

According to Kliewer et al. (2000), the Ravaz index is an index of vine balance and values between 5 and 10 indicate that the vine is balanced. In this range, Grenache, Muscat Petit Grain and Marsanne onto both rootstocks and Syrah and Vermentino onto 1103 P were considered balanced. Other treatments presented values lower than 5, which indicates excessive vine vigor. There was no statistical difference between rootstocks (Table 6).

Table 6. Ravaz index (fruit/winter pruning weight ratio) of eleven varieties onto 1103 P and IAC 766 rootstocks during the 2019 winter season.

Varieties	Ravaz index (kg kg <sup>-1</sup> )	
	Rootstocks <sup>n.s</sup>	
	1103 P	IAC 766
Syrah	7.72B*	4.10B
Marselan	2.07D	2.80D
Grenache	5.85A	10.00A
Touriga Nacional	2.85D	1.62D
Tempranillo	3.51C	4.40C
Petit Verdot	0.51D	1.57D
Mourvèdre	0.85D	2.08D
Muscat Petit Grain	10.9A	8.65A
Vermentino	6.40C	2.12C
Marsanne	10.07A	6.39A
Viognier	3.42D	1.40D
CV(%)	58.70	

\*Means followed by the same letters among varieties are not significantly different ( $p < 0.05$ )

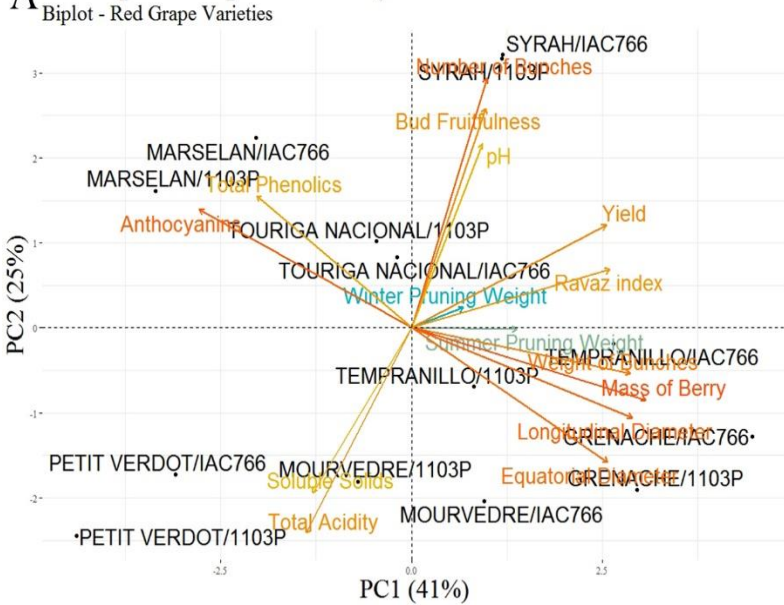
by the Scott-Knott test. n.s= non-significant interaction.

PCA was conducted on the correlation matrix produced from the 15 parameters for seven red varieties (Figure 3A) and 13 parameters for 4 white varieties (Figure 3C) and two rootstocks. The PCA plots give an integrated overview of how different parameters were influenced by treatments and, in this type of data analysis, it is possible to group them, revealing similarity among variables. The first two PCs accounted for 66% for red varieties and 64% for white varieties of the total variance in the biplots. In general, for all varieties, yield, physical and chemical grape quality parameters are related to PC 1, while the vigor

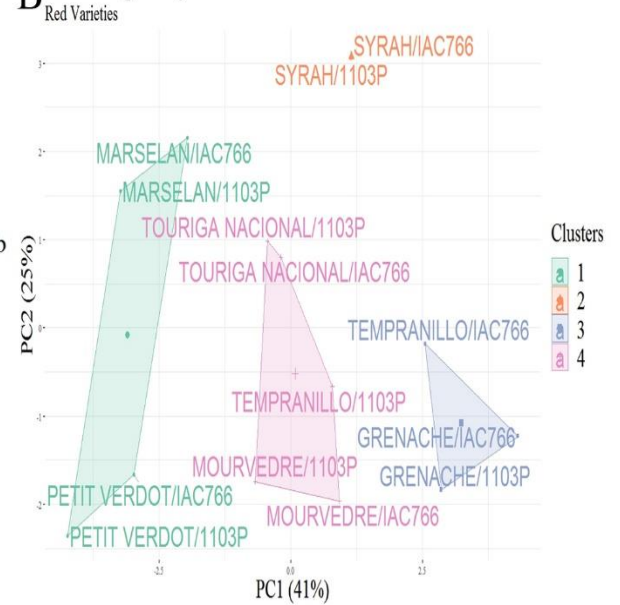
parameters of grape quality are related to PC 2, as indicated by colored arrows in the biplot (Figure 3A and C).

The CA shows the potential to improve yield without detriment to grape quality using IAC 766 for most varieties. For red varieties, cluster 1 (blue) grouped Marselan and Petit Verdot onto both rootstocks, characterized by greater total phenolics and anthocyanins for Marselan and acidity for Petit Verdot, regardless of yield parameters. Cluster 2 (red) grouped Syrah onto both rootstocks presenting high production, number of bunches per vine and high pH. Cluster 3 (purple) grouped high yield and vegetative vigorous varieties as Grenache onto both rootstocks and Tempranillo onto IAC 766, with high yield and bunch similarities, such as larger and heavier berries. Finally, cluster 4 (green) showed an intermediate yield and quality group with Mourvèdre and Touriga Nacional onto both rootstocks and Tempranillo onto 1103P (Figure 3B).

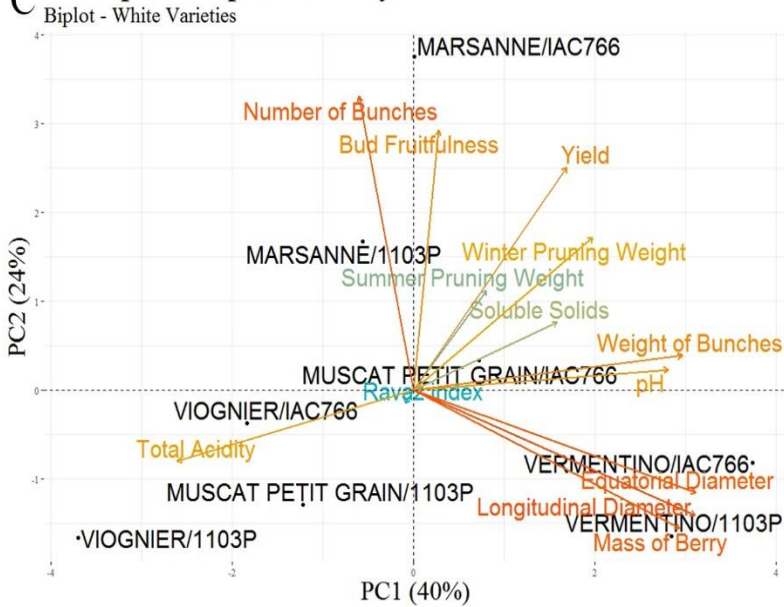
### A Principal Component Analysis



### B Clustering Analysis



### C Principal Component Analysis



### D Clustering Analysis

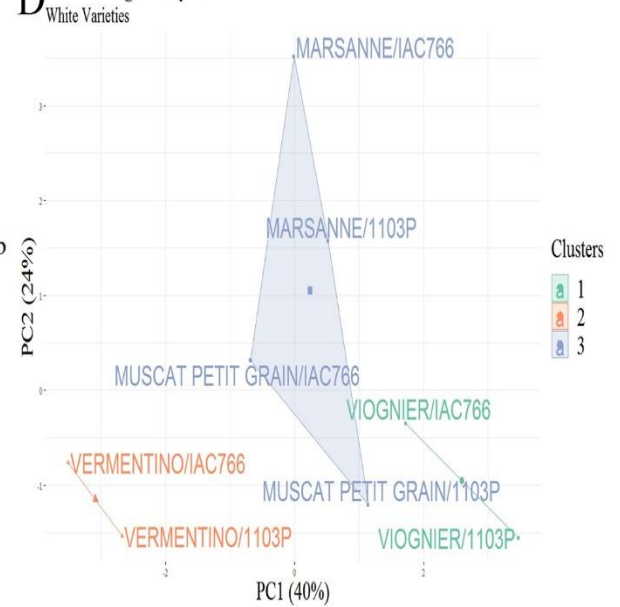


Figure 3. Principal components, biplot and clustering analysis of red (A and B) and white varieties (C and D) grafted onto 1103 P and IAC 766 rootstocks.

For white varieties, cluster 1 (green) grouped Viognier with greater acidity and lowest yield among white varieties. Cluster 2 (purple) grouped Vermentino onto both rootstocks as a function of grape characteristics (high berry mass, equatorial and longitudinal diameters and pH). Lastly, cluster 3 (red) grouped high yield varieties, such as Marsanne and Muscat Petit Grain, mainly by higher bud fruitfulness, medium to high yield, numerous bunches per vine and high soluble solid contents (Figure 3D).

## **DISCUSSION**

Most varieties presented high vegetative and reproductive vigor, similar or higher than Syrah in two growing seasons under double pruning management. The vegetative vigor was higher in summer than in winter for all varieties due to climatic conditions, such as high temperature and water availability in summer, which plays a major role upon vine development and starch accumulation. In addition, the cluster removal performed at green pea stage during the vegetative cycle probably contributes to starch accumulation, once the clusters (sinks) were removed.

The vegetative vigor was higher in IAC 766 combinations throughout vine development. In fact, this rootstock is more vigorous than 1103 P, as demonstrated by some authors: Souza et al. (2015a), Dias et al. (2017), Angelloti-Mendonça et al. (2018). The genetic diversity of rootstocks affects nutrient uptake and the nutrient status of the vines

(Dalbó et al., 2011), mainly by an increase in root hairs and differential anatomy (Nikolau et al., 2003; Tramontini et al., 2012).

IAC 766 also increased bud fruitfulness for most varieties. According to Keller et al. (2001a, b), the interactions between rootstocks and varieties can alter scion phenology with impact on bud fruitfulness and hence grapevine yield. The increase in vigor caused by IAC 766 combinations was also verified on low vegetative and reproductive vigor variety as Petit Verdot (Camargo et al. 2011; Silva et al., 2019), with at least one cluster per branch, as desirable crop load.

Carménère showed high vegetative vigor observed by pruning weight. However, the production was negligible due to very low bud fruitfulness. This may be related to the type of pruning used. Considered a flagship variety, in Chile, Carménère is cane-pruned in that country instead of spur-pruned, as was done in this study. Based on this unexpected unfruitfulness, the ecophysiological, yield and grape quality parameters were not measured in Carménère and the pruning technique will be changed to allow further evaluations.

Stem water potential ranging up to  $-0.5$  MPa indicates absence of water stress (Leeuwen et al., 2009); thus, all varieties tested under double pruning management can be grown in non-irrigated vineyards with no damage by water loss due to precipitation reduction over grape maturation. IAC 766 afforded enough amount and steady water status even when water availability started to decrease in the soil from April to May, with slight differences among varieties as compared to 1103 P. IAC 766 probably presents greater root growth,

development and anatomy modifications that allow vines to explore deeper and larger volumes of soil with high water and nutrient uptake (Gambetta et al. 2012; Somkuwar et al., 2012; Tramontini et al., 2012; Serra et al., 2014).

The decrease in ecophysiological parameters from April to May could be attributed to the age of vine and probably by chilling, assigned to low night temperatures, since  $\Psi_{\text{stem}}$  was not significantly reduced at the end of the season. Cold temperatures may have a direct effect on carbon assimilation, damaging the enzyme activity of the Calvin cycle or inhibiting important enzymes in sucrose and starch biosynthesis (Flexas et al., 1999; Hendrickson et al., 2004). A similar behavior was observed in Cabernet Sauvignon vines under double pruning management, which showed reduction in photosynthetic rates during the coldest months (Souza et al., 2015b). Despite these findings, the photosynthetic activity observed in this study was higher than that usually found in traditional wine making regions, such as Douro (Moutinho-Pereira et al., 2001), Australia (Hendrickson et al., 2004), Spain (Salazar-Parra et al., 2012) and southern Brazil (Chavarria et al., 2012).

The ecophysiological performance of Marsanne must be highlighted, once this variety is kept higher photosynthesis rates over  $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  throughout the season. This response might be related to genetic characteristics such as high chlorophyll content in the leaves, as can be observed by chlorophyll index (Table 2). It is well known that, for light to be converted into chemical energy by photosynthesis, it is initially taken up by plant pigments, mainly chlorophyll and its content, which is directly linked with photosynthesis



rates (Taiz et al., 2015). Higher chlorophyll contents reflect in a higher nitrogen uptake. Furthermore, the content of this nutrient in the leaves has great influence on gene expression for the synthesis of carboxylic enzymes, as ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase (Rubisco) and phosphoenol-pyruvate carboxylase (PEPcase), increasing the photosynthesis (Martinez et al., 2017).

The yield performance over two years for all varieties was, on average, 1.5 kg per vine for 1103P combination and 2.0 kg per vine for IAC 766 rootstocks, confirming that it is possible to grow these varieties under double pruning management. As previously mentioned, Carménère was not considered in this study due to pruning issues. The estimated yield ranged from 1.5 to 12 t ha<sup>-1</sup> among treatments. The high yield verified for Syrah, Grenache, Tempranillo, Muscat Petit Grain, Vermentino and Marsanne may be explained by heavier and numerous clusters per vine (Table 3).

Varieties with low crop production, with yield values lower than 1.5 kg per vine, such as Touriga Nacional, Mourvèdre, Petit Verdot and Viognier, showed a high number of lighter clusters, small amount of heavy clusters, low bud fertility but lighter, while Mourvèdre presents heavy clusters but in a smaller amount (Table 3) and Petit Verdot shows a low yield and vigor variety, with low bud fertility and yield under tropical conditions (Camargo et al. 2016) or low light clusters, respectively.

Despite the small yield values, these varieties present great importance for the wine industry. Touriga Nacional and Mourvèdre are very important varieties in Portugal and Spain

wineries, respectively, presenting high contents of anthocyanins and tannins to provide structure and stability, used as a blend component (Moreno-Pérez et al., 2013; Silva and Queiroz, 2016). In some wine regions, a small amount of Viognier grapes (up to 10%) is co-fermented with Syrah grapes to produce a more aromatic Syrah wine (Iland et al., 2009; Casassa et al., 2013). Petit Verdot is highlighted by the high content of sugars and acidity of their grapes, which can be interesting for high quality wines (Leão et al., 2017), as a blend option with low acidity varieties such as Syrah, or improving the wine aromatic profile.

Rootstock effects on physical parameters were more prominent during the first season, probably due to high vigor induced by IAC 766. Most of the variation observed comes from genetic diversity among vine varieties and the effect of IAC 766 was related just to the number of berries per bunch, with an increase of 25%, as compared to 1103 P in 2018. Only Vermentino presented berry weight above 3 g, without compromising sugar accumulation, while other varieties were under 2.5 g. Berry size is important mainly for red wine grape varieties; increased skin/pulp ratio contributes to improve phenolic extraction during maceration (Mota et al., 2011).

In general, for the production of quality wines, the recommended must characteristics are soluble solids above 20 °Brix, lower total acidity, ranging from 6 to 7.5 g L<sup>-1</sup> tartaric acid and pH ranging from 3.3 to 3.6 (Jackson, 2014). Total acidity was optimal for all varieties, especially white grape, but low for Syrah (less than 4.5 g L<sup>-1</sup>) and pH was higher in Syrah must, around 4.0. Under double pruning, Syrah presents a late maturation period. In this

study, it was one of the last varieties to be harvested (196 days after pruning in 2019). In contrast, in the same season, Marselan onto IAC766 grapes harvested in the same day and grafted onto 1103P five days after Syrah grapes, maintained higher acidity ( $6.6 \text{ g L}^{-1}$ ) and soluble solid levels ( $23 \text{ }^\circ\text{Brix}$ ).

Cluster exposition to temperatures and to incidence of solar radiation, results in a decrease in total acidity and in increased pH, by the degradation of malic acid (Intrigliolo et al., 2014). Furthermore, Syrah grapes apparently present a readily acidity degradation and slow sugar accumulation under autumn-winter cultivation and this behavior has been evidenced in several studies (Mota et al., 2010; Favero et al., 2011, Dias et., 2012; Dias et al., 2017).

Therefore, variety choice should be taken into account on vineyard establishment, once acidity plays an important role in wine quality, responsible for the freshness of the beverage (Bayraktar, 2013). In addition, wine pH has a remarkable effect on the quality of the final product, influencing its chemical, microbial and sensorial stability. High pH wines are less tolerant to microbial spoilage, need higher amounts of sulfite corrections, are less aromatically stable, and have a diminished potential shelf life (Bartowsky, 2009; Orduña, 2010). In this sense, blending wine with different varieties or making co-fermentation may be useful tools to improve the quality of wine prepared with varieties such as Syrah, with low acidity content, furthermore diversifying winter wine labels.

Regarding grape phenolic composition, it is known that Marselan presents a high phenolic and anthocyanin content in the grape (Shi et al., 2016), as well as Touriga Nacional and Petit Verdot (Moreno-Pérez et al., 2013; Shellie, 2007), while Grenache is a low colored skin variety (Diago et al., 2010). Differences in composition among varieties depend on the interaction between climate, soil, viticultural practices and genotype, involving variations in gene expression (Downey et al. 2006; Yamane et al. 2006).

It is important to emphasize that, although great phenolic contents were expressed by scion/IAC 766 combinations, further evaluations are necessary to investigate the phenolic profile to reveal, for instance, if undesirable herbaceous or more astringent tannins are accumulated to this rootstock. Phenolic components are important to wine, once they provide wine color, structure, age ability, besides the sensory property of wine, like dried-out mouth feeling caused by tannins (Paixão et al., 2007; Ma et al., 2014).

Increasing yield to the detriment of grape quality is a paradigm in vine studies, especially in traditional vine growing regions (Chapman et al., 2005; Dobrei et al., 2016). However, data obtained for red and white varieties grafted onto IAC 766 rootstock under double pruning management show that it was possible to increase yield with no impairment to grape quality. The greater vine water status, chlorophyll content and vegetative vigor provided by IAC 766 were probably able to supply the cluster demand. Moreover, vigorous rootstocks are needed to afford the two growth cycles under conditions of low temperature and soil moisture during autumn-winter. Under these limiting conditions, a rootstock that

increases leaf area may induce a better grape maturation. Although leaf area was not calculated in this study, pruning weight can express an idea of vine vigor, which was higher when vine varieties were grafted onto IAC 766.

The increase in yield with no impairment in grape quality by IAC 766 was also found in studies carried out with Cabernet Sauvignon and Syrah vines under double-pruning by Souza et al. (2015b) and Dias et al. (2017), respectively. Rootstocks can influence the levels of phenolic compounds, and these influences vary depending on scion genotype. Furthermore, rootstocks are thought to have an indirect effect on fruit composition by primarily influencing the vegetative growth of the grafted vine, including vine vigor, canopy size and fruit yield (Keller et al. 2010; Cheng et al., 2017).

The major characteristic that distinguishes winter wines from traditional management is that the grapes harvested in July are subjected to cool temperatures and low rainfall during ripening and harvesting periods, allowing maturation with higher contents of sugar, phenolic compounds and balanced acidity levels. Winter grape composition assemblages were observed in Tempranillo, Mourvèdre, Grenache and Muscat Petit Grain in Spain (Noguerol-Pato et al., 2014; Silva and Queiroz, 2016; Crespo et al., 2017; Zheng et al., 2017), Touriga Nacional in Portugal (Moreno-Pérez et al., 2013), Syrah and Marsanne in Australia (Antalick et al., 2015; Jarvis et al., 2017), Petit Verdot and Viognier in the United States (Shellie, 2007), Marselan in Southern Brazil (Barros et al., 2019) and Vermentino in Italy (Mercenaro et al., 2013).

High yield per vine is generally linked to low leaf area-to-yield ratios which, in turn, determine a lower capacity of sugar accumulation in the berries (Kliewer and Dokoozlian, 2005); although some differences between rootstocks were observed, the vigor of IAC 766 did not affect chemical parameters on grape must. These results are in accordance with Miele and Rizzon (2017b), who showed that Cabernet Sauvignon grape quality was not affected by any of the 15 rootstocks evaluated, regardless of rootstock vigor.

Regarding the white varieties, the grape composition was compatible to must composition of Sauvignon Blanc berries, the most well adapted white grape variety under double pruning management. According to Mota et al. (2010), Sauvignon Blanc presents an average of 25 °Brix, 7.9 g L<sup>-1</sup> and 3.4 of soluble solids, acidity and pH, respectively. The varieties tested in this study presented average soluble solids of 22 °Brix, acidity of 7.5 g L<sup>-1</sup> and pH of 3.4. In addition, these varieties are equally (Viognier) or more productive than Sauvignon Blanc, indicating they can be alternatives to Sauvignon Blanc.

According to the Ravaz index, a few varieties are considered balanced. However, this index may not be a good indicator of vine balance in subtropical vine growing regions under double pruning management, since grape quality was not impaired in varieties with low crop load such as Marselan, Viognier, Petit Verdot, Mourvèdre, Tempranillo and Touriga Nacional. The Ravaz index in these cases indicates under-cropping varieties. However, low-yielding varieties are limited by genetic characteristics and Tempranillo and Marselan, even if vegetatively vigorous, yielded as much as Syrah, especially when grafted onto IAC 766.

In addition to all under-cropped varieties, sugar accumulation was not affected. The relationship between crop load and wine quality has been and continues to be a prominent issue in viticulture research and farming and studies on crop load have been conflicting and warrant further research (Keller et al. 2005, Chapman et al. 2004). It is also important to highlight that the vines under double pruning management may need greater vigor to afford cluster demand, under conditions of low temperatures and reduced rainfall, during autumn and winter and also demand for reserve carbohydrates to support two pruning during the annual season.

## **CONCLUSION**

Under double pruning management, Grenache, Marselan, Mourvèdre, Tempranillo, Touriga Nacional, Petit Verdot and Syrah were the best varieties for red wine production and Marsanne, Muscat Petit Grain, Vermentino and Viognier for white wines, considering vigor, yield and grape quality in two seasons. In general, the vigor of IAC 766 did not compromise grape quality and can be used to increase yield, mainly for Mourvèdre, Petit Verdot, Touriga Nacional and Viognier. The spur pruning technique was not adequate for Carménère under double-pruning.

**REFERENCES**

Amerine, M.A.; Ough, C.S. 1980. *Methods for Analysis of Musts and Wines*. John Wiley, New York, NY, USA.

Ali, K.; Maltese, F.; Choi, Y.H.; Verpoorte, R. 2010. Metabolic constituents of grapevine and grape-derived products. *Phytochemistry Reviews* 9:357-378.

Angelloti-Mendonça, J.; Moura, M.F.; Scarpate Filho, J.A.; Vedoato, B.T.F.; Tecchio, M. A. 2018. Rootstock on production and quality of ‘Niagara Rosada’ grapevine. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40:1-9.

Antalick, G.; Šuklje, K.; Blackman, J.W.; Meeks, C.; Deloire, A.; Schmidtke, L.M. 2015. Influence of grape composition on red wine ester profile: comparison between cabernet sauvignon and Shiraz cultivars from Australian warm climate. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 63:4664-4672.

Barros, M.I.L.F.; Mello, L.L.; Frölech, D.B.; Manica-Berto, R.; Costa V.B.; Malgarin, M.B. 2019. Características físico-químicas de uva ‘Marselan’ sob raleio de cachos na Serra do Sudeste-RS. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 14:1-9.

Bartowsky, E.J. 2009. Bacterial spoilage of wine and approaches to minimize it. *Letters in Applied Microbiology* 48:149-156.



Bayraktar, V.N. 2013. Organic acids concentration organic acids concentration in wine stocks after in wine stocks after *Saccharomyces cerevisiae* fermentation. *Biotechnologia Acta* 6:97-106.

Bloem, A.; Lonvaud-Funel, A.; Revel, G. 2008. Hydrolysis of glycosidically bound flavor compounds from oak wood by *Oenococcus oeni*. *Food Microbiology* 25:99-104.

Butzke, C.; Park, S.K. 2011. Impact of fermentation rate changes on potential hydrogen sulfide concentrations in wine. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 21:519-524.

Camargo, U.A.; Pereira, G.E.; Guerra, C.C. 2011. Wine grape cultivars adaptation and selection for tropical regions. *Acta horticulturae* 910:121-129.

Casassa, L.F.; Landon S.K.; Mireles, M.S.; Larsen, R.C.; Harbertson, J.F. 2013. Co-fermentation of Syrah with various additions of Viognier: Effect on colour and phenolics during winemaking and bottle ageing. *Wine & Viticulture Journal* 28:45-51.

Chapman, D.M.; Gaspar, R.; Ebeler, S.E.; Guinard, J.X.; Matthews, M.A. 2005. Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different water status. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11:339-347.

Chapman, D.M.; Matthews, M.A.; Guinard, J. 2004. Sensory attributes of cabernet sauvignon wines made from vines with different crop yields. *American Journal of Enology and Viticulture* 55:325-334.

Chavarria, G.; Santos, H.P.; Castro, L.A.S.; Marodin, G.A.B.; Bergamaschi, H. 2012. Anatomy, chlorophyll content and photosynthetic potential in grapevine leaves under plastic cover. *Revista Brasileira de Fruticultura* 34:1-8.

Cheng, J.; Wei, L.; Mei, J.; Wu, J. 2017. Effect of rootstock on phenolic compounds and antioxidant properties in berries of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Red Alexandria'. *Scientia Horticulturae* 217:137-144.

Choné, X.; Van Leeuwen, C.; Dubourdieu, D.; Gaudillère, J.-P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator for grapevine water status. *Annals Botany* 87:477-483.

Conde, C.; Silva, P.; Fontes, N.; Dias, A.C.P.; Tavares, R.M.; Sousa, M.J.; Agasse, A.; Delrot, S.; Gerós, H. 2007. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Food* 1:1-22.

Crespo, J.; Rigou, P.; Romero, V.; García, M.; Arroyo, T.; Cabellos, J.M. 2017. Effect of seasonal climate fluctuations on the evolution of glycoconjugates along the ripening period of grapevine cv. Muscat a petits grains blancs berries. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98:1803-1812.

Dalbó, M.A.; Schuck, E.; Basso, C. 2011. Influence of rootstock on nutrient content in grape petioles. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33:941-947.

Diago, M.P.; Vilanova, M.; Blanco, J.A.; Tardaguila, J. 2010. Effects of mechanical thinning on fruit and wine composition and sensory attributes of Grenache and Tempranillo varieties (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16:314-326.

Dias, F.A.N.; Mota, R.V. da; Favero, A.C.; Purgatto, E.; Shiga, T.M.; Souza, C.R. de; Pimentel, R.M. de A.; Regina, M. de A. 2012. Videira 'Syrah' sobre diferentes porta-enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47:208-215 (in Portuguese, with abstract in English).

Dias, F.A.N.; Mota, R.V. da; Souza, C.R. de; Pimentel, R.M. de A.; Souza, L.C. de; Souza, A.L. de; Regina, M. de A. 2017. Rootstock on vine performance and wine quality of 'Syrah' under double pruning management. *Scientia Agricola* 74:134-141.

Dobrei, A.; Dobrei, A.; Posta, G.; Danci, M.; Nistor, E.; Camen, D.; Mălăescu, M.; Sala, F. 2016. Research concerning the correlation between crop load, leaf area and grape yield in few grapevine varieties. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 10:222-232.

Downey, M.O.; Dokoozlian, N.K.; Krstic, M.P. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture* 57:257-267.

Favero, A.C.; Amorim, D.A.; Mota, R.V. da; Soares, A.M.; Souza, C.R.; Regina, M. de A. 2011. Double-pruning of 'Syrah' grapevines: a management strategy to harvest wine grapes during the winter in the Brazilian Southeast. *Vitis* 50:151-158.

Flexas, J.; Badger, M.; Chow, W.S.; Medrano, H.; Osmond, C.B. 1999. Analysis of the relative increase in photosynthetic O<sub>2</sub> uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperature and/or water stress. *Plant Physiology* 121: 675-684.

Gambetta, G.A.; Manuck, C.M.; Drucker, S. T.; Shaghasi, T.; Fort, K.; Matthews, M.A.; Walker, M.A.; McElrone, A.J. 2012. The relationship between root hydraulics and scion vigour across *Vitis* rootstocks: what role do root aquaporins play? *Journal of Experimental Botany* 63:6445-6455.

Giusti, M.M.; Wroslad, R.E. 2000. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Willey, New York, NY, USA.

Goldammer, T. 2013: Grape Grower's Handbook. A Complete Guide to Viticulture for Wine Production. Apex Publishers, USA, 572p.

Hendrickson, L.; Chow, W.S.; Furbank, R.T. 2004. Low temperature effects on grapevine photosynthesis: the role of inorganic phosphate. *Functional Plant Biology* 31:789-801.

Hernanz, D.; Gallo, V.; Recamales, A.; Melendez-Martinez, A.; Gonzalez-Miret, M.; Heredia, F. 2009. Effect of storage on the phenolic content, volatile composition and colour of white wines from varieties Zalema and Colombard. *Food Chemistry* 113:530-537.

Iland, P.; Gago, P.; Caillard, A.; Dry, P.R. 2009. A taste of the world of wine; Patrick Iland Wine Promotions: Adelaide, Australia, p.208.

Intrigliolo, D.S.; Llacer, E.; Revert, J.; Esteve, M.D.; Climent, M.D.; Palau, D.; Gómez, I. 2014. Early defoliation reduces cluster compactness and improves grape composition in Mandó, an autochthonous cultivar of *Vitis vinifera* from southeastern Spain. *Scientia Horticulturae* 167:71-75.

Iriti M.; Faoro, F. 2006. Grape phytochemicals: a bouquet of old and new nutraceuticals for human health. *Medical Hypotheses* 67:833-838.

Jackson, R.S. Wine science: principles and applications. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, 2014. 978p.

Jarvis, C.; Barlow, E.; Darbyshire, R.; Eckard, R.; Goodwin, I. 2017. Relationship between viticultural climatic indices and grape maturity in Australia. *International Journal of Biometeorology* 61:1849-1862.

Keller, M. 2010. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*. Academic Press, Burlington, M. A. 390p.

Keller, M.; Kummer, M.; Vasconcelos, M.C. 2001a. Reproductive growth of grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 34:36-45.

Keller, M.; Kummer, M.; Vasconcelos, M.C. 2001b. Soil Nitrogen utilization for growth and gas exchange by grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 7:12-18.

Keller, M.; Mills, L.J.; Wample, R.L.; Spayd, S.E. 2005. Cluster thinning effects on three deficit irrigated *Vitis vinifera* cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture* 56:91-103.

Kliwer, W. M.; Dokoozlian, N. K. 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture* 56:170-181.

Leão, P.C. de S.; Nunes, B.T.G.; Souza, E.M.C.; Rego, J.I. de S.; Nascimento, J.H.B. 2017. Evaluation of some new wine grape cultivars under São Francisco Valley conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology* 7:320-325.

Leeuwen, A.V.; Tregoeat, O.; Choné, X.; Bois, B.; Pernet, D.; Gaudièllere, J. P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 43:121-134.

Marcon Filho, J.L.; Rufato, L.; Bogo, A.; Macedo, T.A.; Würz, D.A.; Kretzschmr, A.A. 2019. Viticultural performance of Cabernet Sauvignon clones in highland region of southern Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura* 41:1-9.

Martinez, E.A.; Ribeiro, V.G.; Vilar, P.F.I.; Von Hausen, L.J.O.; Bezerra, E.D. 2017. Evaluation of nitrogen monitoring, bud fertility and 'Thompson Seedless' grapevine production on different rootstocks. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39:1-10.

Ma, W.; Guo, A.; Zhang, Y.; Wang, H.; Liu, Y.; Li, H. 2014. A review on astringency and bitterness perception of tannins in wine. *Trends in Food Science & Technology* 40:6-19.

McAusland, L.; Vialet-Chabrand, S.; Davey, P.; Baker, N.R.; Brendel, O.; Lawson, T. 2016. Effects of kinetics of light-induced stomatal responses on photosynthesis and water-use efficiency. *New Phytologist* 211:1209-1220.

Mercenaro, L.; Usai, G.; Tedde, N.; Derosas, P.; Gravianno, O.; Peretto, R.; Nieddu, G. 2013. Differenze in qualità della bacca di cloni e selezioni di Vermentino coltivati in Sardegna. *Acta italica Hortus* 3:338-343.

Miele, A.; Rizzon, L.A. 2017a. Rootstock-scion interaction: 1. Effect on the yield components of Cabernet Sauvignon grapevine. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39:1-9.

Miele A.; Rizzon, L.A. 2017b. Rootstock-scion interaction: 2. effect on the composition of cabernet sauvignon grape must. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39:1-9.

Mota, R.V.M.; Silva, C.P.C.; Favero, A.C.; Purgatto, E.; Shiga, T.M.; Regina, M. de A. 2010. Composição físico-química de uvas para vinho fino em ciclos de verão e inverno. *Revista Brasileira de Fruticultura* 32:1127-1137.

Moutinho-Pereira, J.M.; Magalhães, N.; Castro, L.F.T.; Chaves, M.M.; Torres-Pereira, J.M. 2001. Physiological responses of grapevine leaves of Bordeaux mixture under light stress conditions. *Vitis* 40:117-121.

Nikolaou, N.; Angelopoulos, K.; Karagiannidis, N. 2003. Effects of drought stress on mycorrhizal and non-mycorrhizal Cabernet Sauvignon grapevine, grafted onto various rootstocks. *Experimental Agriculture* 39:241-252.



Noguerol-Pato, R.; Sieiro-Sampedro, T.; González-Barreiro, C.; Cacinho-Grande, B.; Simal Gándarra, J. 2014. Effect on the aroma profile of *Graciano* and *Tempranillo* red wines of the application of two antifungal treatments onto vines. *Molecules* 19:12173-12193.

Obreque-Slier, E.; Peña-Neira, A.; Lopez-Solis, R. 2010. Enhancement of both salivary protein-enological tannin interactions and astringency perception by ethanol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58:3729-3735.

Orduña, R.M. 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International* 43:1844-1855.

Paixão, N.; Perestelo, R.; Marques, J.C.; Câmara, J.C. 2007. Relationship between antioxidant capacity and total phenolic content of red, rose´ and white wines. *Food Chemistry* 105:204-214.

Regina, M. de A.; Mota, R.V. da; Souza, C.R.; Favero, A.C. 2011. Viticulture for fine wines in Brazilian Southeast. *Acta Horticulturae* 910:113-120.

Rizzon, L.A.; Miele, A. 2002. Avaliação da cv. Cabernet Sauvignon para elaboração de vinho tinto. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 22:192-198.

Salazar-Parra, C.; Aguirreolea, J.; Sánchez-Díaz, M.; Irigoyen, I.I.; Morales, F. 2012. Photosynthetic response of Tempranillo grapevine to climate change scenarios. *Annals of Applied Botany* 161:277-292.

Satisha, J.; Somkuwar, K.G.; Sharma, J.; Upadhyay, A.K.; Adsule, P.G. 2010. Influence of rootstocks on growth yield and fruit composition of Thompson seedless grapes grown in the Pune region of India. *South African Journal of Enology and Viticulture* 31:1-8.

Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339-346.

Serra, I.; Strever, A. Myburgh, P.A.; Deloire, A. 2014. Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20:1-14.

Shellie, K.C. 2007. Viticultural performance of red and white wine grape cultivars in southwestern Idaho. *HortTechnology* 17:595-603.

Shi, P.B.; Yue, T.X.; Ai, L.L.; Cheng, Y.F.; Meng, J.F.; Li, M.H.; Zhang, Z.W. 2016. Phenolic compound profiles in grape skins of Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah and Marselan cultivated in the Shacheng area (China). *South African Journal of Enology and Viticulture* 37:132-138.

Silva, F.G.; Musser, R. dos S.; Silva, M.M.; Leão, P.C.S.; Araujo, J.V.; Araújo, J.B.; Ramos, R. da S. 2019. Agronomic aptitude and quality of vinifera grapes in a non-traditional of culture region in the agreste of Pernambuco states. *Journal of Experimental Agriculture International* 39:1-10.

Somkuwar, R.G.; Taware, P.B.; Bondage, D.D.; Navale, S. 2012. Root length, root mass, and distribution of dry matter in different parts of Thompson Seedless grapevine grafted on different rootstocks in heavy soil of Maharashtra. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 36:543-552.

Souza, C.R.; Bassoi, L.H.; Lima Filho, J.M.P.; Silva, F. S.; Viana, L.H.; Dantas, B.F.; Pereira, M.S.; Ribeiro, P.R.A. 2009. Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. *Scientia Agricola* 66:436-446.

Souza, C.R. de; Mota, R.V. da; Dias, F.A.N.; Melo, E.T.; Souza, A.L.; Pimentel, R.M. de A.; Regina, M. de A. 2015a. Starch accumulation and agronomical performance of 'Syrah' under winter cycle: responses to pruning and ethephon management. *Vitis* 54:195-201.

Souza, C.R. de; Mota, R.V. da; França, D.V.C.; Pimentel, R.M. de A.; M.C.; Regina, M. de A. 2015b. Cabernet Sauvignon grapevine grafted onto rootstocks during the autumn-winter season in southeastern Brazilian. *Scientia Agricola* 72:138-146.

Styger, G.; Prior, B.; Bauer, F. F. 2011. Wine flavor and aroma. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 38:1145-1159.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. 2015. *Plant Physiology and Development*. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT. 858p.

Tramontini, S.; Van Leeuwen, C.; Domec, J.C.; Destrac-Irvine, A.; Basteau, C.; Vitali, M.; Mosbach-Schulz, O.; Lovisolo, C. 2012. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grapeberry development. *Plant and Soil* 368:215-230.

Wang, Y.; Chen, W-K.; Gao, X-T.; He, L.; Yang, X-H.; He, F.; Duan, C-Q.; Wang, J. 2019. Rootstock-mediated effects on Cabernet Sauvignon performance: vine growth, berry ripening, flavonoids, and aromatic profiles. *International Journal of Molecular Sciences* 20:1-16.

Yamane, T.; Jeong, S.T.; Goto-Yamamoto, N.; Koshita, Y.; Kobayashi, S. 2006. Effects of Temperature on Anthocyanin Biosynthesis in Grape Berry Skins. *American Journal of Enology and Viticulture* 57:54-59.

Zheng, W.; García, J.; Balda, P.; Toda, F.M. 2017. Effects of severe trimming after fruit set on the ripening process and the quality of grapes. *Vitis* 56:27-33.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A região Sudeste se tornou um novo polo de produção de vinho fino de qualidade e expande cada vez mais através de novas áreas que estão sendo implementadas anualmente. A partir de um mercado consolidado é necessário buscar a diversidade de produção principalmente para os vinhos de inverno que ficaram dependentes, majoritariamente de duas variedades, a Syrah e a Sauvignon Blanc.

Considerando os resultados obtidos e discutidos nesse trabalho é necessário ponderar que embora 2 anos de estudos são considerados insuficientes para firmemente indicar porta-enxertos e variedades em experimentos desse tipo, principalmente em função de variações entre as safras e principalmente pela idade das plantas é possível verificar o potencial de algumas variedades e porta-enxertos entre os avaliados. Como a estabilidade de produção e o potencial qualitativo da uva dessas videiras ainda não chegaram a pleno desenvolvimento, os experimentos serão conduzidos por mais anos para a possível detecção com maior clareza das reais contribuições dos porta-enxertos e variedades. Além disso, nas próximas safras outros parâmetros qualitativos serão analisados para auxiliar nas recomendações das variedades e porta-enxertos, tais como: composição aromática, análises químicas e sensoriais dos vinhos.