

# ÁCIDO ABCÍSIKO NA COLORAÇÃO DE UVAS

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **Francisco José Domingues Neto**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas,  
Botucatu

### **Daniele Maria do Nascimento**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas,  
Botucatu

### **Marcos Roberto Ribeiro-Junior**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas,  
Botucatu

### **Pedro Henrique Ribeiro**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas,  
Botucatu

### **Marco Antonio Tecchio**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas,  
Botucatu

**RESUMO:** O ácido abscísico (ABA) tem sido amplamente utilizado na viticultura como uma estratégia para mitigar a deficiência de coloração das bagas, frequentemente causada por condições climáticas adversas, especialmente em regiões com baixa amplitude térmica e durante

períodos chuvosos na fase de maturação. Este regulador de crescimento vegetal desempenha um papel crucial na promoção do acúmulo de antocianinas, pigmentos responsáveis pela coloração de frutas, flores e hortaliças. A síntese de ABA ocorre predominantemente em plastídios a partir de carotenoides, com a zeaxantina sendo um precursor chave. O ABA é transportado via floema e xilema, modulando diversos processos fisiológicos, incluindo a regulação da abertura e fechamento estomático, a resposta ao estresse hídrico e a dormência de sementes. Nas videiras, o ABA induz a expressão de genes relacionados à biossíntese de antocianinas, ativando enzimas como a chalcona sintase (CHS) e a dihidroflavonol 4-redutase (DFR), que são essenciais para a produção desses pigmentos. Além disso, o ABA influencia a sinalização hormonal e a expressão de fatores de transcrição envolvidos na resposta ao estresse, desempenhando um papel fundamental na adaptação das plantas a condições ambientais adversas. Este capítulo aborda detalhadamente a biossíntese e o mecanismo de ação do ácido abscísico, com um foco especial nos efeitos fisiológicos promovidos nas videiras, destacando sua importância para a viticultura moderna.

## INTRODUÇÃO

A videira (*Vitis vinifera* L.) é uma das frutíferas mais importantes cultivadas no Brasil, destacando-se tanto pelo seu valor econômico quanto pela sua importância cultural. Em 2022, a produção brasileira de uvas atingiu 1.450.805 toneladas, distribuídas em uma área de 76.101 hectares. O estado do Rio Grande do Sul foi o maior produtor, representando 51 % da produção brasileira de uvas. Outros estados como Pernambuco, São Paulo e Bahia também se destacam, respondendo por 23 %, 11 % e 5 % da produção nacional, respectivamente. O Estado de São Paulo em 2022 produziu 159.589 toneladas da fruta, ocupando a terceira posição no contexto nacional (AGRIANUAL, 2022).

Quanto ao destino da produção nacional de uvas, 51,4 % destina-se ao processamento e 48,6 % para o consumo de uvas para mesa. Em 2022, a produção de uvas destinadas ao processamento (vinhos, sucos e derivados) foi de 830,92 milhões de quilos, o que representa 57,07 % da produção nacional (AGRIANUAL, 2022). O Rio Grande do Sul destaca-se na produção e comercialização de vinhos e sucos de uva e derivados, sendo responsável por 90 % da produção nacional desses produtos (AGRIANUAL, 2022). Em 2023 foram processados 665 milhões de litros de vinho, sendo que, as cultivares de uvas americanas e híbridas são cultivadas em 85 % dos vinhedos.

A coloração das uvas é um fator crucial para a aceitação comercial e valorização dos frutos no mercado. A aparência visual, especialmente a intensidade e uniformidade da cor, influencia diretamente a percepção de qualidade pelos consumidores e, conseqüentemente, o preço que os produtores podem obter. Em regiões de baixa amplitude térmica, a obtenção de uma coloração adequada nas uvas apresenta um desafio significativo. Nessas áreas, a variação limitada entre as temperaturas diurnas e noturnas pode dificultar a síntese de antocianinas, os pigmentos responsáveis pela coloração das uvas. Isso pode resultar em frutos com cores menos vibrantes e uniformes, afetando negativamente sua atratividade comercial e competitividade no mercado. Por essa razão, estratégias como o uso de reguladores vegetais, como o ácido abscísico, são essenciais para melhorar a coloração das uvas em tais condições climáticas, promovendo uma produção de alta qualidade que atenda às exigências do mercado consumidor.

Os reguladores vegetais são substâncias sintéticas que mimetizam os efeitos dos hormônios naturais das plantas. Em baixas concentrações, esses compostos são capazes de controlar diversos aspectos do desenvolvimento e da fisiologia vegetal. O uso de reguladores vegetais na viticultura começou na década de 1950, e desde então, seu emprego tem sido crucial para melhorar a qualidade e a rentabilidade da produção de uvas. Entre os reguladores mais utilizados no Brasil estão a cianamida hidrogenada e o ácido giberélico, que são aplicados para promover a quebra de dormência e a uniformização da brotação após a poda, bem como para aumentar o tamanho das bagas por meio da divisão e alongamento celular.

Embora o uso comercial de reguladores vegetais ainda esteja em estudo para algumas aplicações, eles têm o potencial de controlar o crescimento vegetativo, aumentar a fertilidade de gemas, melhorar a fixação dos frutos, realizar o desbaste químico de cachos, suprimir sementes, retardar ou acelerar a maturação, prevenir injúrias pós-colheita, além de auxiliar na micropropagação e no enraizamento de estacas (WINKLER, 1995; PIRES; BOTELHO, 2001).

A comercialização e valorização das uvas no mercado dependem significativamente da qualidade visual do produto, sendo a coloração um dos principais critérios de avaliação. Uvas com coloração uniforme e intensa são preferidas pelos consumidores e alcançam preços mais altos no mercado. Portanto, o uso de ácido abscísico (ABA) para melhorar a coloração das uvas representa uma ferramenta valiosa para os produtores, possibilitando o aumento da competitividade e da rentabilidade da produção.

O ácido abscísico (ABA) é um fitohormônio essencial nas plantas, desempenhando papéis críticos em diversos processos fisiológicos. Foi identificado pela primeira vez na década de 1960 como um composto envolvido na abscisão de folhas, daí seu nome (TAIZ; ZEIGER, 2013). Quimicamente, o ABA é um sesquiterpenoide, um derivado dos carotenoides com uma estrutura composta por 15 átomos de carbono, incluindo um anel ciclopentenônico e uma cadeia lateral de isoprenoide (FAGAN et al., 2015). O ABA é conhecido por sua capacidade de mediar respostas ao estresse abiótico, como seca e salinidade, através do fechamento estomático, o que ajuda a planta a conservar água (YOSHIDA et al., 2014). Além disso, o ABA regula a dormência das sementes, germinação, e vários aspectos do crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em vinhedos, o ABA desempenha um papel crucial na maturação das uvas, influenciando diretamente a síntese de pigmentos e compostos fenólicos, que são essenciais para a qualidade das uvas e do vinho (KOYAMA et al., 2014b). Este hormônio é, portanto, uma peça chave na interação entre a fisiologia vegetal e o manejo agrônomico, proporcionando uma ferramenta potencial para melhorar a qualidade e o valor comercial das uvas.

A coloração das uvas tintas é devida às antocianinas, pigmentos que também conferem cor a outras frutas, flores e hortaliças. O acúmulo de antocianinas na casca das uvas é regulado, ao menos em parte, pelo ácido abscísico. Aplicações exógenas de ABA têm se mostrado eficazes em aumentar a concentração de antocianinas, melhorando a uniformidade de coloração das uvas. Estudos recentes demonstraram a eficiência do ABA no aumento do acúmulo de antocianinas em diversas cultivares de uvas, como 'Benitaka' (ROBERTO et al., 2012), 'Crimson Seedless' (LEÃO et al., 2014), 'Isabel' (KOYAMA et al., 2014a, 2014b), 'Flame Seedless' (PEPPI; FIDELIBUS, 2008) e 'Rubi' (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

O ABA melhora a cor das uvas principalmente por meio da regulação do acúmulo de antocianinas na casca das bagas. As antocianinas são compostos flavonoides que conferem a cor vermelha, roxa e azul às uvas, sendo cruciais para a atratividade visual

e a qualidade percebida pelos consumidores. O ABA estimula a expressão de genes específicos envolvidos na via biossintética das antocianinas, como a chalcona sintase (CHS) e a dihidroflavonol 4-redutase (DFR), resultando em uma maior síntese desses pigmentos. Além disso, o ABA influencia a atividade de enzimas antioxidantes, que protegem as antocianinas da degradação oxidativa, contribuindo para uma coloração mais intensa e estável.

A aplicação exógena de ABA tem mostrado não apenas aumentar a concentração de antocianinas, mas também uniformizar a coloração entre diferentes bagas e cachos, um fator crucial para a consistência e a estética do produto final. Assim, o uso de ABA não só melhora a aparência das uvas, mas também agrega valor econômico ao produto, aumentando a competitividade dos produtores no mercado e satisfazendo as expectativas dos consumidores por frutas de alta qualidade (DOMINGUES NETO et al., 2021).

Este capítulo apresenta uma análise detalhada da biossíntese e do mecanismo de ação do ácido abscísico em uvas, com um foco especial nos efeitos fisiológicos que este regulador exerce sobre a coloração.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo sobre o ácido abscísico na coloração de uvas foi elaborado mediante levantamento de boletins técnicos, artigos científicos e livros que abordam os principais aspectos relacionados ao uso desse regulador na viticultura, como a síntese e o modo de ação e os principais efeitos fisiológicos. Após levantamento e compilação dos dados, sugeriu-se uma recomendação de seu uso para a viticultura tropical visando a uniformidade de coloração em uvas tintas.

## BIOSSÍNTESE E METABOLISMO DO ABA

Ao longo dos anos, pesquisadores buscaram extrair e isolar compostos a partir de uma diversidade de tecidos vegetais. Utilizando cromatografia em papel para separar extratos vegetais de coleótilos de aveia, cientistas identificaram um grupo de compostos inibidores de crescimento, conhecidos como dormina, que posteriormente foram purificados a partir de folhas de falso-plátano coletadas no outono. Verificou-se que a dormina era idêntica à abscisina II, uma substância que promovia a abscisão de frutos do algodoeiro. Diante de diversas substâncias que apresentavam funções semelhantes nas plantas, em uma reunião mundial, os pesquisadores chegaram a um consenso, nomeando essas substâncias de ácido abscísico (ABA), em alusão ao seu suposto envolvimento no processo de abscisão (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O ácido abscísico (ABA) é um terpeno de 15 carbonos (sesquiterpeno). A orientação do grupo carboxila no carbono 2 determina os isômeros cis (forma endógena) e trans

(inativa) do ABA. O ABA também apresenta um átomo de carbono assimétrico na posição 1' do anel, resultando nos enantiômeros S (forma endógena) e R (FAGAN et al., 2015).

O precursor do ABA é o isopentenil-difosfato (IPP), que também é o precursor da giberelina e citocinina. A síntese de ABA pode ocorrer em qualquer órgão ou tecido vivo, sendo que os precursores e as enzimas envolvidas nesta síntese são encontrados nos cloroplastos, cromoplastos, leucoplastos, amiloplastos e proplastídeos. Geralmente, a síntese ocorre em órgãos e tecidos adultos. Níveis elevados de ABA podem ser encontrados em órgãos e tecidos jovens devido ao transporte de ABA dos tecidos adultos para os jovens via floema (FAGAN et al., 2015).

Existem duas possíveis rotas para a síntese do ABA nos tecidos vegetais. A primeira rota, classificada como via direta, envolve o terpenoide de 15 carbonos farnesil-difosfato, que origina o ABA diretamente ou é convertido em um composto intermediário, xantoxina, que dará origem ao ABA. Essa via tem pouca importância em plantas vasculares (KERBAUY, 2012).

A segunda e mais importante rota é a via indireta, que utiliza carotenoides oxigenados (xantofilas) de 40 carbonos como precursores. Essa via é dividida em três etapas: a síntese de carotenoides não oxigenados nos plastídeos, a síntese e clivagem de xantofilas nos plastídeos, e a síntese do ABA no citosol (KERBAUY, 2012).

A biossíntese do ABA ocorre principalmente nos plastídeos das células vegetais, a partir do precursor carotenoide zeaxantina. O processo começa com a epoxidação da zeaxantina em violaxantina, catalisada pela enzima zeaxantina epoxidase (ZEP). A violaxantina é então convertida em ácido xantanóico por uma série de reações enzimáticas. Este ácido é posteriormente convertido em ABA por meio de clivagem oxidativa e outras modificações. A regulação da biossíntese do ABA é complexa e responde a diversos estímulos ambientais, como estresse hídrico, alta salinidade e baixas temperaturas. Por exemplo, durante condições de seca, a expressão de genes que codificam enzimas-chave na via biossintética do ABA é aumentada, resultando em maior produção do hormônio. Uma vez sintetizado, o ABA pode ser conjugado a glicose para formar ABA-glicósido, uma forma inativa que pode ser armazenada ou transportada dentro da planta. O ABA ativo também pode ser degradado pela ação da enzima ABA 8'-hidroxilase, que o converte em ácido dehidrofásico (PA), um composto biologicamente inativo. Esses processos de conjugação e degradação permitem à planta regular finamente os níveis de ABA em resposta a mudanças ambientais e necessidades fisiológicas (KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013; FAGAN et al., 2015).

O transporte do ABA pode ocorrer através do xilema (corrente de transpiração) ou floema (forma conjugada). Quando o ABA é sintetizado pelas raízes, ele se move para a parte aérea via xilema, regulando a perda de água via controle estomático. Esse transporte é considerado rápido, com velocidade de 24 a 36 mm/h, enquanto o transporte das auxinas é de 4 a 9 mm/h (FAGAN et al., 2015).

## MECANISMO DE AÇÃO DO ABA

Os receptores de ABA estão localizados tanto na membrana plasmática quanto em membranas de outras organelas e podem estar presentes no citoplasma. Eles atuam na expressão de genes em resposta ao ABA e no controle da abertura e fechamento dos estômatos. Existem dois tipos de classificação baseados no tempo de resposta fisiológica das plantas ao ABA: a primeira inclui eventos de resposta de curta duração que envolvem alterações no fluxo de íons e no balanço hídrico, aumentando o conteúdo de ABA em minutos, como é o caso do fechamento estomático. A segunda envolve respostas de longa duração, como alterações profundas na expressão gênica, que podem levar horas ou dias para se manifestar (KERBAUY, 2012).

A ligação do ABA a uma proteína receptora na membrana plasmática promove a abertura dos canais de entrada de cálcio na planta, interferindo no fechamento dos estômatos. O ABA também pode ativar enzimas responsáveis por essa função (FAGAN et al., 2015).

A expressão gênica regulada pelo ABA beneficia a maturação de sementes, a aclimação das plantas a condições de estresse, baixas temperaturas e solos salinos (FAGAN et al., 2015).

Os mecanismos moleculares pelos quais o ácido abscísico influencia a coloração das uvas envolvem a ativação de vias de sinalização e expressão gênica específica. O ABA atua através de receptores de proteínas solúveis chamados PYR/PYL/RCAR, que, ao se ligarem ao ABA, inibem as fosfatases tipo 2C (PP2Cs). Isso libera proteínas quinases do tipo SNF1-related (SnRK2s), que são ativadas por fosforilação (FUJII; ZHU, 2009; YOSHIDA et al., 2014). Estas quinases então ativam fatores de transcrição, como ABF (ABA-responsive element-binding factors), que se ligam aos elementos de resposta ao ABA (ABRE) nos promotores de genes alvo (FUJII; ZHU, 2009; YOSHIDA et al., 2014). No contexto da coloração das uvas, o ABA induz a expressão de genes da via biossintética das antocianinas, como PAL (fenilalanina amônia-liase), CHS (chalcona sintase) e UFGT (UDP-glucose: flavonoid 3-O-glucosyltransferase). Esses genes codificam enzimas que catalisam as etapas-chave na produção de antocianinas (JEONG et al., 2010; GONZALEZ et al., 2008). Além disso, fatores de transcrição específicos, como MYB, bHLH e WD40, formam complexos reguladores que modulam a expressão dos genes de biossíntese de antocianinas em resposta ao ABA. A sinalização do ABA também é modulada por fatores ambientais como luz e temperatura, que podem amplificar ou atenuar a resposta hormonal, resultando em variações na intensidade e uniformidade da coloração das uvas (TOH et al., 2008; SHARMA; LAXMI, 2016).

## O PAPEL DO ABA NA FISILOGIA DAS UVAS

O ácido abscísico (ABA) desempenha um papel central na fisiologia das uvas, particularmente durante o processo de maturação dos frutos. Durante a fase de mudança de cor das uvas, conhecida como *véraison*, os níveis de ABA aumentam significativamente, promovendo a síntese de antocianinas, os pigmentos responsáveis pela coloração vermelha, roxa e azul das uvas (FUJII; ZHU, 2009; YOSHIDA et al., 2014).

O ABA tem sido amplamente estudado por seus efeitos na coloração das uvas, especialmente em variedades como 'Rubi', 'Isabel' e 'Niagara Rosada' (KOYAMA et al., 2014ab; DOMINGUES NETO et al., 2017ab; TECCHIO et al., 2017). A aplicação exógena de ABA pode aumentar significativamente a concentração de antocianinas na casca das uvas, melhorando a coloração e a qualidade do fruto.

As antocianinas são flavonoides que não apenas conferem cor, mas também possuem propriedades antioxidantes importantes para a saúde humana (JEONG et al., 2010; GONZALEZ et al., 2008). Além de influenciar a coloração, o ABA regula a acumulação de açúcares, a degradação de clorofila e a suavização da textura dos frutos, que são essenciais para a qualidade dos sucos e vinhos (FAGAN et al., 2015). O ABA também modula a expressão de genes envolvidos na modificação da parede celular, facilitando a maciez da fruta e melhorando suas características sensoriais (FAGAN et al., 2015).

Em conjunto com outros hormônios vegetais, como etileno e auxinas, o ABA coordena um complexo balanço hormonal que regula o desenvolvimento e a maturação das uvas (TOH, et al., 2008; SHARMA; LAXMI, 2016). O entendimento desses processos fisiológicos permite aos viticultores manipular o ambiente de cultivo e as práticas de manejo para otimizar a qualidade e a coloração das uvas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A principal fase fenológica em que o ácido abscísico (ABA) está intimamente relacionado é a fase de maturação, que pode durar de 20 a 50 dias, dependendo da cultivar. Ao contrário dos hormônios promotores do crescimento (auxinas, giberelinas e citocininas), o ABA atua na fase final da curva de crescimento da baga, iniciando seu papel no período de acúmulo de antocianinas na casca. O ABA inibe o processo mitótico, transformando a baga em um órgão maduro e de acúmulo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Após a mudança de coloração, o ABA das folhas e sementes migra para a casca da baga, sendo a casca também um local de síntese deste hormônio, gerando um acúmulo de glicídios. Na fase final de maturação, o ABA está presente na casca, caracterizando a maturação plena. Outra função importante do ABA nas bagas é impedir a redistribuição dos açúcares acumulados para outros órgãos da planta, pois ativa a enzima invertase, responsável pelo transporte ativo de açúcares e pela hidrólise de sacarose na região do pedicelo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Outro efeito importante do ABA na viticultura é a coloração das bagas e o acúmulo de antocianinas. Alguns estudos também evidenciaram aumentos nos teores de sólidos

solúveis e redução da acidez, elevando a relação sólidos solúveis/acidez, resultando em uvas com sabores mais equilibrados (DOMINGUES NETO et al., 2017ab). Há também um aumento nas concentrações de compostos fenólicos.

Além desses benefícios, a aplicação de ABA também proporciona efeitos positivos na conservação pós-colheita das uvas. Um estudo de conservação pós-colheita das uvas 'Rubi' tratadas com ABA indicou que a aplicação de ABA reduziu a perda de massa, a incidência de degrana das bagas e a incidência de podridão durante o período de conservação. Esses efeitos prolongam o tempo de comercialização das uvas, permitindo que cheguem ao mercado em melhores condições (DOMINGUES NETO et al., 2017c).

Além disso, há efeitos positivos nos sucos e vinhos, principalmente no aumento das concentrações de antocianinas e compostos fenólicos.

Quanto aos teores de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT, alguns estudos mostraram melhorias nesses atributos. Por exemplo, Koyama et al. (2014b) observaram maiores teores de SS e relação SS/AT e menor AT na uva 'Isabel', principalmente com a concentração de 400 mg L<sup>-1</sup>, independente da época de aplicação. Para a uva 'Kyoho', a aplicação exógena de ABA também proporcionou aumento no teor de SS (CAO et al., 2010). No entanto, vários autores relataram que a aplicação de ABA teve pouco ou nenhum efeito sobre os SS ou a AT das uvas (HAN et al., 1996; LEE et al., 1997; JEONG et al., 2004; PEPPI et al., 2006). Vale destacar que a relação SS/AT está relacionada ao sabor do fruto; quanto maior ela for, mais agradável será o sabor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Nesse contexto, pode-se dizer que o ABA proporciona frutos com melhor sabor, evidenciado pelo maior valor dessa relação.

Para a concentração de antocianinas, pigmento ligado diretamente à coloração das bagas, verifica-se uma gama de resultados para as diferentes cultivares de uvas e suco. Para a uva 'Isabel', Koyama et al. (2014b) verificaram que esse regulador elevou as concentrações de antocianinas tanto nas bagas quanto no suco. O ácido abscísico também elevou a concentração de antocianinas das uvas 'Kyoho' (CAO, et al., 2010), 'Cabernet Sauvignon' (JEONG, et al., 2004), 'Pionnier' (KONDO, et al., 1998), 'Flame Seedless' (PEPPI; FIDELIBUS, 2008) e 'Rubi' (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

Quanto aos atributos de cor das bagas, verifica-se que o ácido abscísico promove resultados excepcionais, evidenciados pelos menores valores de luminosidade e saturação e pelos maiores valores do índice de cor. Isso indica que as bagas tratadas com esse regulador apresentam uma coloração mais escura. Tal efeito foi observado nas uvas 'Isabel' (KOYAMA et al., 2014b), 'Red Globe' (PEPPI et al., 2007), 'Flame Seedless' (PEPPI; FIDELIBUS, 2008), 'Crimson Seedless' (PEPPI et al., 2008), 'Alachua' e 'Noble' (SANDHU et al., 2011) e 'Rubi' (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

A aplicação de ácido abscísico (ABA) em uvas promove um aumento significativo na concentração de compostos fenólicos. Este efeito está relacionado ao papel do ABA na biossíntese desses compostos, similar ao seu impacto na produção de antocianinas. O ABA



atua como corregulador das enzimas leucoantocianidina redutase (LAR) e antocianidina redutase (ANR), responsáveis pela formação de (+)-catequinas e (-)-epicatequinas nas uvas (LACAMPAGNE, et al. 2010). Os tratamentos que proporcionam melhor cor às bagas das uvas também apresentam maiores valores de compostos fenólicos, mostrando que quanto mais intensa a cor das bagas, maior o conteúdo de compostos fenólicos, tornando a uva mais interessante para o consumo por apresentar característica funcional.

A perda de massa durante o período de conservação das uvas é significativamente influenciada pela aplicação de ácido abscísico (ABA) (DOMINGUES NETO et al, 2017c). Esta perda de massa, um dos fatores limitantes à vida útil dos produtos hortícolas, está diretamente relacionada à perda de água, que é a principal causa de deterioração. A perda de água não só resulta em perdas quantitativas, mas também afeta a aparência das uvas, causando murchamento e enrugamento das bagas, além de prejudicar a textura e a qualidade nutricional (CARVALHO, 2000; VILAS BOAS, 2000). No caso da uva 'Crimson Seedless', a menor perda de massa foi observada em cachos que tiveram a irrigação interrompida durante a maturação e foram tratados com 0,04 g de ABA por 100 g de fruto, divididos em duas aplicações equivalentes: a primeira no início do amolecimento da baga e a segunda 15 dias antes da colheita (SILVA et al., 2011).

A literatura apresenta uma gama de resultados para diferentes cultivares de uvas, tanto para mesa quanto para processamento, em relação às melhores concentrações e épocas de aplicação do ácido abscísico (ABA). De modo geral, as concentrações mais utilizadas são de 100, 200, 300 e 400 mg L<sup>-1</sup>, com as aplicações iniciando no começo da maturação das bagas, e uma segunda aplicação entre 15 e 25 dias após a primeira. Destaca-se que os melhores resultados têm sido observados com concentrações de 200 e 400 mg L<sup>-1</sup> em duas aplicações (DOMINGUES NETO et al, 2017ab).

A utilização de ABA promove melhorias na concentração de antocianinas e compostos fenólicos nas bagas e no suco das uvas. Além disso, aumenta os teores de sólidos solúveis (SS), melhora a relação SS/acidez titulável (AT) e reduz a acidez. Dessa forma, o uso do ABA é uma alternativa promissora, que aumenta o valor comercial do produto, proporcionando uvas e sucos com coloração mais intensa, sem a necessidade de ser misturado com suco de cultivares tintureiras.

## **APLICAÇÕES PRÁTICAS DO ABA NA VITICULTURA**

Na prática, a aplicação exógena de ABA é utilizada para melhorar a coloração das uvas, especialmente em cultivares de uvas tintas. A técnica mais comum envolve a pulverização foliar de soluções de ABA durante a fase de *véraison*. Estudos mostram que concentrações de 200 a 400 ppm são eficazes para aumentar a síntese de antocianinas e melhorar a uniformidade da coloração (KOYAMA et al., 2014ab; DOMINGUES NETO et al., 2017ab). A aplicação de ABA também pode influenciar outros aspectos da qualidade das

uvas, como o aumento dos níveis de compostos fenólicos e a melhoria das propriedades antioxidantes (KOYAMA et al., 2014ab; DOMINGUES NETO et al., 2017ab). No entanto, a eficácia da aplicação de ABA pode variar com base em fatores como a cultivar da uva, as condições climáticas e o manejo agrônomo. É importante considerar a sincronização da aplicação para maximizar os benefícios sem comprometer a saúde das plantas. Por exemplo, aplicar ABA muito cedo ou muito tarde na temporada pode resultar em respostas subótimas. Além disso, técnicas de manejo como poda e irrigação também podem interagir com a aplicação de ABA, influenciando a eficácia do tratamento. Ensaio de campo e estudos controlados são essenciais para determinar as melhores práticas de aplicação de ABA em diferentes condições de cultivo.

## DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES NO USO DO ABA

Embora o uso de ABA exógeno tenha demonstrado benefícios significativos na melhoria da coloração das uvas, vários desafios e considerações precisam ser abordados. Um dos principais desafios é o custo do ABA, que pode ser alto. No entanto, a aplicação de ABA tem se mostrado economicamente viável, especialmente em cultivos de alto valor agregado, como as uvas 'Rubi'. Estudos demonstram que o tratamento com ABA pode aumentar significativamente o preço de venda das uvas devido à melhoria na coloração, um atributo crucial para a comercialização (DOMINGUES NETO et al., 2021).

Por exemplo, um estudo realizado no município de São Miguel Arcanjo, uma das principais regiões produtoras de uva do estado de São Paulo, avaliou a viabilidade econômica da aplicação de ABA em uvas 'Rubi'. O estudo mostrou que a aplicação de ABA resultou em um incremento de US\$ 0,15 por quilograma no preço de venda das uvas, representando um aumento de 16,66 % no valor comercial. Isso é especialmente relevante em regiões de baixa amplitude térmica, onde a coloração característica das uvas pode não ser alcançada sem a aplicação do regulador (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

Além disso, a análise de custo operacional total (COT) revelou que, embora a produção de uvas com tratamento de ABA tenha um custo 26,12 % superior à produção sem tratamento, o aumento na coloração uniforme das uvas resultou em uma maior competitividade no mercado. A margem bruta das uvas tratadas com ABA foi superior à das uvas não tratadas, e o ponto de equilíbrio, ou a quantidade de uvas necessária para cobrir os custos de produção, foi alcançado com uma quantidade ligeiramente maior de uvas tratadas, mas com um lucro operacional maior (DOMINGUES NETO et al., 2021).

A aplicação de ABA também proporcionou um aumento significativo na acumulação de antocianinas, os pigmentos responsáveis pela coloração das uvas, o que melhora ainda mais a aparência e a atratividade do produto final. Este fator é crucial, pois a cor das uvas é um dos principais atributos que determinam seu preço no mercado. Em resumo, a aplicação de ABA é uma estratégia viável e lucrativa para produtores que buscam melhorar

a qualidade e a competitividade de suas uvas, justificando assim o investimento inicial no regulador de crescimento (DOMINGUES NETO et al., 2021).

Outro desafio é a variabilidade na resposta das plantas ao ABA, que pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais. Diferentes cultivares de uvas podem responder de maneiras distintas à aplicação de ABA, e as condições climáticas como temperatura e umidade podem afetar a eficácia do tratamento. Além disso, o uso de ABA deve ser cuidadosamente gerenciado para evitar impactos ambientais adversos, como a contaminação de corpos d'água adjacentes. Regulamentações sobre o uso de hormônios em culturas comerciais também devem ser consideradas, e os produtores devem estar cientes das diretrizes locais e internacionais. Ensaio preliminares são recomendados para determinar as dosagens e as épocas ótimas para cada situação específica, minimizando riscos e maximizando os benefícios.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão dos mecanismos de ação do ABA pode ser utilizada para melhorar a qualidade e o valor comercial das uvas. A aplicação prática de ABA, quando bem gerenciada, pode resultar em frutos de alta qualidade com coloração intensa e uniforme, o que é altamente desejável tanto para consumo *in natura* quanto para a produção de sucos e vinhos de alta qualidade. Além disso, as inovações em tecnologias de aplicação e a pesquisa contínua em biotecnologia vegetal oferecem novas oportunidades para explorar o potencial do ABA na viticultura.

Com base no exposto, pode-se enfatizar que o ácido abscísico propicia excelentes resultados nas uvas, melhorando, principalmente a uniformidade de coloração das bagas, o que representa uma alternativa para o aumento dos ganhos, ao passo que as uvas com melhor cor são mais valorizadas.

## REFERÊNCIAS

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **UVA**: produção brasileira. São Paulo, p. 464, 2022.

CAO, M.; BAI, X.; LI, Y.; XIE, T.; WEN, R.; LIU, J. Effect of abscisic acid on the color and fruit quality of Kyoho grape. **Guangdong Agricultural Sciences**, Guiyang, v. 2, n. 39, p. 111-113, 2010.

CARVALHO, A. V. **Avaliação da qualidade de kiwis cv. "Haryward", minimamente processados**. 2000. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

DOMINGUES NETO, F. J.; TECCHIO, M. A.; PIMENTEL JUNIOR, A.; VEDOATO, B. T. F.; LIMA, G. P. P.; ROBERTO, S. R. Effect of ABA on colour of berries and in the anthocyanin accumulation and total phenolic compounds of 'Rubi' table grape (*Vitis vinifera*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 199-205, 2017a.

DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; CALLILI, D.; CUNHA, S. R.; PUTTI, F. F.; LIMA, G. P. P.; ROBERTO, S. R.; TECCHIO, M. A. Post-harvest conservation of 'Rubi' grapes treated with abscisic acid. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, p. 1758-1763, 2017b.

DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; BORGES, C. V.; CUNHA, S. R.; CALLILI, D.; LIMA, G. P. P.; ROBERTO, S. R.; LEONEL, S.; TECCHIO, M. A. The exogenous application of abscisic acid induce accumulation of anthocyanins and phenolic compounds of the 'Rubi' grape. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 2422-2432, 2017c.

DOMINGUES NETO, F. J.; NACHILUK, K.; FAGUNDES, P. R. S.; TECCHIO, M. A. Economic feasibility of abscisic acid application to uniform 'Rubi' grapes coloration. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, p. 209-214, 2021.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: reguladores vegetais**. Andrei, 300 p., 2015.

FUJII, H.; ZHU, J. K. Arabidopsis mutant deficient in 3 abscisic acid-activated protein kinases reveals critical roles in growth, reproduction, and stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, p. 8380-8385, 2009.

GONZALEZ, A.; ZHAO, M.; LEAVITT, J. M.; LLOYD, A. M. Regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway by the TTG1/bHLH/Myb transcriptional complex in Arabidopsis seedlings. **The Plant Journal**, v. 53, p. 814-827. 2008.

HAN, D. H.; LEE, S. M.; KIM, S. B. Effects of ABA and ethephon treatments on coloration and fruit quality in Kyoho grape. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 37, n. 3, p. 416-420, 1996.

JEONG, S. T.; UOTO, N. G.; KOBAYASHI, S.; ESAKA, M. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of an- and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in berry skins. **Plant Science**, London, v. 167, n. 2, p. 247-252, 2004.

JEONG, S. W.; DAS, P. K.; JEOUNG, S. C.; SONG, J. Y.; LEE, H. K.; KIM, Y. K.; CHOI, S. B. Ethylene suppression of sugar-induced anthocyanin pigmentation in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 154, p. 1514-1531, 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro, Guanagbara Koogan, 2012. 431p.

KONDO, S.; MASUDA, E.; INOUE, K. Relation between ABA application and fruit quality of 'Pionnier' grape (*Vitis sp.*). **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 464, n. 130, p. 35-40, 1998.

KOYAMA, R.; YAMAMOTO, L. Y.; BORGES, W. F. S.; PASCHOLATI, M. B.; BORGES, R. S.; ASSIS, A. M. ROBERTO, S. R. Épocas de aplicação e concentrações de ácido abscísico no incremento da cor da uva 'Isabel'. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1697-1706, jul./ago. 2014a.

KOYAMA, R.; ASSIS, A. M. D.; YAMAMOTO, L. Y.; BORGES, W. F. S.; PRUDENCIO, S. H.; ROBERTO, S. R. Exogenous abscisic acid increases the anthocyanin concentration of berry and juice from 'Isabel' grapes (*Vitis labrusca* L.). **HortScience**, Alexandria, v. 49, p. 460-464, 2014b.

LACAMPAGNE, S.; GAGNÉ, S.; GÉNY, L. Involvement of Abscisic Acid in Controlling the Proanthocyanidin Biosynthesis Pathway in Grape Skin: New Elements Regarding the Regulation of Tannin Composition and Leucoanthocyanidin Reductase (LAR) and Anthocyanidin Reductase (ANR) Activities and Expression. **Journal Plant Growth Regulation**, New York, v.28, p.81-90, 2010.

LEE, K. S.; LEE, J. C.; HWANG, Y. S.; HUR, I. B. Effects of natural type (S)-(+)- abscisic acid on anthocyanin accumulation and maturity in 'Kyoho' grapes. Korean **Journal of Horticultural Science & Technology**, Suwon, v. 38, n. 6, p. 717-721, 1997.

LEÃO, P. C. S.; LIMA, M. A. C.; COSTA, J. P. D.; TRINDADE, D. C. G. Abscisic Acid and Ethephon for Improving Red Color and Quality of Crimson Seedless Grapes Grown in a Tropical Region. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 66, n.1, p.37-45, 2014.

MAIA, J. D. G.; CAMARGO, U. A. **O cultivo de videira Niagara no Brasil**. Brasília, DF, Embrapa, 2012. 301p.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W.; DOKOOZLIAN, N. Abscisic acid application timing and concentration affect firmness, pigmentation and color of 'Flame Seedless' grapes. **HortScience**, Alexandria, v. 41, n. 4, p. 1449- 1445, 2006.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W.; DOKOOZLIAN, N. Application timing and concentration of abscisic acid affect the quality of 'Redglobe' grapes. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, United Kingdom, v. 82, n. 2, p. 304-310, 2007.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W.; DOKOOZLIAN, N. Timing and concentration of abscisic acid applications affect the quality of 'Crimson Seedless' grapes. **International Journal of Fruit Science**, Binghamton, v. 7, n. 4, p. 71-83, 2008.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W. Effects of forchlorfenuron and abscisic acid on the quality of 'Flame Seedless' grapes. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 173-176, 2008.

PIRES, E. J. P.; BOTELHO, R. V.; Uso de reguladores vegetais na cultura da videira. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. S. **Cultura de uvas de mesa: do plantio à comercialização**. Piracicaba: Algraf, p. 129-148, 2001.

ROBERTO, S. R.; ASSIS, A. M.; YAMAMOTO, L. Y.; MIOTTO, L. C. V.; SATO, A. J.; KOYAMA, R.; GENTA, W. Application timing and concentration of abscisic acid improve color of 'Benitaka' table grape. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 142, p. 44-48, 2012.

SANDHU, A. K.; GRAY, D. J.; LU, J.; GU, L. Effects of exogenous abscisic acid on antioxidant capacities, anthocyanins and flavonol contents of muscadine grape (*Vitis rotundifolia*) skins. **Food Chemistry**, London, v. 126, p. 982-988, 2011.

SHARMA, M.; LAXMI, A. Jasmonates: emerging players in controlling temperature stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1129, 2016.

SILVA, E. E. L. S.; LIMA, M. A. C.; LEÃO, P. C. S.; ARAÚJO, A. L. S.; TRINDADE, D. C. G.; ROSATTI, S. R. Conservação pós-colheita da uva 'Crimson Seedless' sob influência da aplicação de reguladores de crescimento e restrição hídrica. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2011, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre, Artmed, 2013. 918p.

TECCHIO, M. A.; DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; SILVA, M. J. R.; ROBERTO, S. R.; SMARSI, R. C. Improvement of color and increase in anthocyanin content of 'Niagara Rosada' grapes with application of abscisic acid. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, p. 1400-1403, 2017.

TOH, S.; MCCOURT, P.; TSUCHIYA, Y. HY5 is involved in strigolactone-induced germination of seeds through the modulation of ABA signaling. **The Plant Journal**, v. 56, p. 519-529, 2008

VILAS BOAS, E. V. B. **Perdas pós-colheita**. Lavras: UFLA/FAEPE, 64 p., 2000.

WINKLER, A. J. **General Viticulture**. Berkeley: University of California Press, 633 p. 1965.

YOSHIDA, T.; MOGAMI, J.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. ABA-dependent and ABA-independent signaling in response to osmotic stress in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 21, p. 133-139, 2014.