

Uso do DA-Meter como método não destrutivo no monitoramento da maturação de maçãs

Use of DA-Meter as a non-destructive monitoring method for ripening in apples

Lucimara Rogéria Antonioli¹, Elenilson Godoy Alves Filho², Daniela Dal Bosco³, Leo Rufato⁴, Luciano Gebler⁵

¹ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, lucimara.antonioli@embrapa.br

² Professor, Universidade Federal do Ceará, Depto de Engenharia de Alimentos, Fortaleza (CE), Brasil, elenilson.godoy@yahoo.com.br

³ Assistente de Pesquisa, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, daniela.bosco@embrapa.br

⁴ Professor, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciência Agroveterinárias, Depto de Agronomia, Lages (SC), Brasil, leoruffato@yahoo.com.br

⁵ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado, Vacaria (RS), Brasil, luciano.gebler@embrapa.br

RESUMO

Métodos não destrutivos de análise são importantes à medida que possibilitam avaliações múltiplas e podem complementar ou substituir os métodos destrutivos convencionais. Este capítulo apresenta a correlação entre o Índice de Diferença de Absorbância (I_{DA}), obtido de maneira não destrutiva a partir do equipamento DA-Meter, e os atributos de qualidade avaliados de maneira destrutiva na determinação da maturação de maçãs. Os parâmetros para monitoramento do avanço da maturação foram igualmente investigados, visando ao estabelecimento do protocolo de uso do DA-Meter em maçãs ‘Fuji Suprema’. Foram conduzidos dois ensaios em safras consecutivas, 2018/2019 e 2019/2020, quando foram coletados dados sobre a linha do pomar, a face da planta, a altura de coleta dos frutos, a data de coleta considerada como dias após a plena floração (DAPF) e o lado de exposição do fruto à radiação solar. Os frutos foram avaliados quanto aos parâmetros: I_{DA} , cor da casca, firmeza de polpa, teores de sólidos solúveis e de acidez titulável, índice de regressão do amido e cor de semente. Os resultados indicaram que o DA-Meter pode ser empregado no monitoramento da evolução da maturação de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas nas condições climáticas do Rio Grande do Sul, para fins de determinação do início da colheita. O monitoramento da evolução da maturação com o DA-Meter deve-se iniciar entre 142 e 147 DAPF, sendo as leituras obtidas no lado do fruto exposto à luz solar. Por fim, as correlações entre I_{DA} e firmeza de polpa, e entre I_{DA} e sólidos solúveis permitem a substituição dessas avaliações destrutivas comumente empregadas para avaliação da maturação de maçãs pelo I_{DA} .

Palavras-chave: agricultura de precisão; espectroscopia VIS/NIR; Índice de Diferença de Absorbância (I_{DA}); firmeza de polpa; sólidos solúveis; previsão de colheita.

ABSTRACT

Non-destructive analysis methods are important as they allow multiple evaluations and can supplement or replace conventional destructive methods. This study sought to verify a correlation between I_{AD} , obtained in a non-destructive way using DA-Meter equipment, and quality attributes, ascertained via destructive methods, for the determination of apple ripening. The parameters for monitoring the progress of ripening were also investigated, aiming to establish a protocol to use the DA-Meter with ‘Fuji Suprema’ apples. Two trials were carried out in consecutive harvest years, 2018/2019 and 2019/2020, where the following collection parameters were studied: orchard row, tree face, height of fruit collection on trees, picking day as days after the full bloom (DAPF), and the fruit side to the sunlight. Apples were evaluated for I_{AD} , skin color, flesh firmness, soluble solids content, titratable acidity, starch index, and seed color. The results showed that the DA-Meter can be used to monitor the ripening of ‘Fuji Suprema’ apples grown in Rio Grande do Sul State, Brazil, in order to establish the beginning of the harvest.

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000027>

Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

Monitoring ripening progress with the DA-Meter should start from 142 to 147 DAFB. The readings must be obtained on the exposed side of the fruit. Finally, the correlation between I_{AD} and flesh firmness, and between I_{AD} and soluble solids content can replace the destructive evaluations commonly used to evaluate apple ripening by I_{AD} .

Keywords: precision agriculture; VIS/NIR spectroscopy; index of absorbance difference (I_{AD}); flesh firmness; soluble solids content; harvest time prediction.

1 INTRODUÇÃO

Métodos não destrutivos de monitoramento do avanço do amadurecimento dos frutos na planta proporcionam várias vantagens quando comparados aos métodos destrutivos tradicionais, tais como alto rendimento de avaliações, medidas múltiplas simultâneas e possibilidade de tomada de decisão em tempo real (Li et al., 2018). Seu uso junto à fruticultura de precisão possibilita a criação de mapas de previsão da qualidade do fruto semanas antes da colheita, permitindo o planejamento da estrutura, dos insumos e da mão de obra desta etapa com antecedência e, consequentemente, o aumento da eficiência e da lucratividade. Atualmente, o relatório de qualidade dos frutos de uma quadra ou talhão é emitido somente após a classificação dos frutos no *packing house*, perdendo-se a rastreabilidade do ponto e impedindo a geração de mapas de colheita associados ao manejo espacial do talhão.

Os métodos de espectroscopia na região do visível e do infravermelho próximo (VIS/NIR) podem ser especialmente úteis na indicação do estágio de maturação para a colheita de frutos, de forma a reduzir perdas e desperdícios decorrentes da colheita de frutos imaturos ou sobremaduros (Costa et al., 2017). O DA-Meter é um espectrômetro portátil e de fácil utilização que mede a clorofila 'a' na casca e na polpa do fruto. O instrumento fornece um índice de diferença entre as absorvâncias (I_{DA}) obtidas a 670 nm e a 720 nm (Ziosi et al., 2008; Costa et al., 2017). As respostas do DA-Meter são dependentes da cultivar (Reig et al., 2012) e das condições climáticas das diferentes áreas de produção (DeLong et al., 2020). Outra vantagem é que o índice pode ser vinculado às coordenadas espaciais das plantas do pomar, permitindo a geração de mapas sobre a variabilidade espacial do I_{DA} e o acompanhamento da curva de maturação e da qualidade de frutos (variabilidade temporal).

O uso do DA-Meter tem sido amplamente avaliado na cultura da macieira para monitorar a evolução do amadurecimento, definir a data de colheita (Costamagna et al., 2013; DeLong et al., 2014; Magro et al., 2018), estabelecer a relação entre o I_{DA} e os atributos de qualidade na colheita e após armaze-

namento (Nyasordzi et al., 2013; Toivonen; Hampson, 2014), assim como desenvolver modelos de maturação que indiquem janelas de elevada qualidade comercial (DeLong et al., 2014; DeLong et al., 2016, 2020).

O objetivo deste trabalho foi buscar uma correlação entre o I_{DA} , obtido de maneira não destrutiva a partir do equipamento DA-Meter, e os atributos de qualidade avaliados de maneira destrutiva na determinação da maturação de maçãs. Os parâmetros para monitoramento do avanço da maturação foram igualmente investigados, visando ao estabelecimento do protocolo de uso do DA-Meter em maçãs 'Fuji Suprema'.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs 'Fuji Suprema' foram colhidas em pomar da Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado (EFCT) da Embrapa Uva e Vinho localizado em Vacaria, RS (28°30'S, 50°52'W, 920 m altitude) (Figura 1). A cultivar está sobre o porta-enxerto M-9. O pomar, com cinco anos de idade, está implantado em espaçamento de 1,25 × 4,00 m e sistema de condução Tall Spindle. Foram conduzidos dois ensaios em safras consecutivas, 2018/2019 e 2019/2020. Nessas safras, a plena floração da cultivar ocorreu em 02/10/2018 e 07/10/2019, respectivamente.

Para a condução dos ensaios, foram selecionadas duas filas do pomar (α e β) com 60 plantas cada uma. Uma das filas corresponde ao limite do pomar (α), de forma que os frutos foram coletados da sua face externa, com incidência solar direta, e da sua face interna, voltada para a fila adjacente. A outra fila selecionada (β) teve os frutos colhidos em somente uma das faces, considerada como face interna. As coletas foram direcionadas em três porções da planta: inferior (até 100 cm de altura), mediana (entre 101 e 200 cm de altura) e superior (a partir de 201 cm de altura).

Na safra 2018/2019, foram realizadas 10 coletas em intervalos semanais, com início em 8/01/2019 e término em 13/03/2019, nos dias 8, 15, 22, 30 de janeiro, 7, 13, 20, 27 de fevereiro e 8, 13 de março, sendo, respectivamente, 99, 106, 113, 121, 129, 135, 142, 149, 158 e 163 dias após a plena floração (DAPF), quando da completa maturação dos frutos. Foram coletados 30

frutos a cada semana de cada uma das três porções da planta. As maçãs foram acomodadas em caixas plásticas com dimensões de 36,0 × 55,0 × 30,5 cm, protegidas internamente por plástico polibolha, a fim de evitar danos mecânicos por impacto ou atrito durante o transporte.

No laboratório, os frutos foram numerados e identificados os lados com maior e menor intensidade de cor, que são, normalmente, os lados iluminado e sombreado do fruto, respectivamente. Cada um dos lados dos frutos foi avaliado quanto aos parâmetros I_{DA} , cor da casca, firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis

(SS) e acidez titulável (AT). O local exato de avaliação do I_{DA} foi identificado de forma que todas as outras determinações, com exceção da acidez titulável, pudessem ser realizadas no mesmo local (Figura 2).

A amostra para determinação do teor de sólidos solúveis foi retirada, com auxílio de uma pipeta Pasteur, do orifício deixado na polpa pela ponteira do penetrômetro. A acidez titulável foi determinada a partir do suco homogeneizado proveniente de 10 frutos, realizando três repetições de cada condição estudada.

Na safra 2019/2020, foram mantidas as mesmas filas e faces (interna e externa) de coleta, entretanto fo-



Figura 1. Localização da área de estudo no município de Vacaria-RS, nas dependências da Embrapa Uva e Vinho.



Figura 2. Numeração dos frutos e identificação dos lados sombreado e exposto à radiação solar para as análises não destrutiva e destrutivas.

ram efetuadas somente cinco coletas, com início em 10/02/2020 e término em 17/03/2020 (10, 17 de fevereiro e 2, 9, 17 de março, sendo, respectivamente 126, 133, 147, 154, e 162 DAPF). As amostras foram compostas por 20 frutos colhidos a esmo das porções inferior e mediana das plantas. Os frutos foram colhidos e acondicionados de maneira idêntica à do ano anterior a fim de protegê-los durante o transporte. Os procedimentos de identificação dos frutos e as determinações de I_{DA} , cor da casca, firmeza de polpa e teor de sólidos solúveis foram conduzidos conforme na safra anterior. A determinação da acidez titulável foi realizada a partir do suco homogeneizado de 10 frutos. Adicionalmente, foram avaliados o Índice de Regressão do Amido (IRA) e a cor da semente de cada fruto proveniente de cada uma das condições estudadas.

A avaliação não destrutiva do amadurecimento dos frutos, baseada no nível de clorofila na casca, foi realizada com auxílio do DA-Meter, equipamento desenvolvido e patentado pela Universidade de Bologna (DA-Meter 53500, Turoni, Itália) (Figura 3).

A avaliação destrutiva dos atributos de qualidade foi realizada conforme os seguintes procedimentos: cor da casca (espaço de cores CIE LAB) determinada por colorímetro (CR 400, Konica Minolta); firmeza de polpa (N), com penetrômetro automatizado (GÜSS) com ponteira cilíndrica de 11 mm; sólidos solúveis - SS (°Brix), com refratômetro digital (H196801, Hanna Instruments); acidez titulável - AT (% ácido málico), por meio da titulação da solução composta por 10 mL de suco de maçã e 90 mL de água destilada com NaOH 0,1 N até pH 8,1, utilizando bureta digital (Digitrate Pro, VWR), e Índice de Regressão do Amido - IRA (1 a 5) por meio da imersão parcial da metade superior da maçã em solução de iodo, iodeto de potássio e água.

O padrão de coloração obtido foi comparado a uma escala referência de imagens, na qual 1 representa o máximo conteúdo de amido e 5 indica a total hidrólise do amido. A cor da semente (1 a 4) foi avaliada por meio da avaliação visual, em que 1 representa as sementes imaturas (cor creme) e 4 indica as sementes maduras (cor marrom).

Os dados obtidos em cada uma das safras constituíram uma matriz numérica. Foram avaliados os seguintes parâmetros de coleta: linha do pomar (α e β), face da planta (interna e externa), altura de coleta dos frutos (inferior, mediana e superior), data de coleta (99, 106, 113, 121, 129, 135, 142, 149, 158 e 163 DAPF, para a safra 2018/2019, e 126, 133, 147, 154 e 162 DAPF, para a safra 2019/2020) e lado do fruto (exposto à radiação solar e sombreado). Cada matriz numérica foi submetida a análise multivariada e análise de variância. A modelagem de regressão multivariada foi empregada a fim de prever os principais atributos de qualidade obtidos por técnicas destrutivas a partir de técnicas não destrutivas, como o I_{DA} .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de parâmetros de coleta estudado revelou que somente a data de coleta (DAPF) e a face do fruto interferiram nos atributos de qualidade de maçãs 'Fuji Suprema', confirmando-os como parâmetros a serem considerados nos estudos de monitoramento da evolução da maturação para fins de estimativa do início da colheita. A altura de coleta e a face da planta não foram relevantes na discriminação das amostras neste estudo, o que pode reduzir a exigência de direcionamento na coleta de dados e facilitar a amostragem dos frutos.



Figura 3. DA-Meter, espectrômetro portátil que mede a clorofila 'a' na casca e na polpa do fruto, e fornece um índice de diferença entre as absorvâncias (I_{DA}) obtidas a 670 nm e a 720 nm.

Nas condições do Rio Grande do Sul, a floração da ‘Fuji Suprema’ sobre o porta-enxerto M-9 ocorre normalmente a partir da segunda quinzena de setembro e se estende até a primeira quinzena de outubro; a maturação dos frutos ocorre entre meados de março e final de abril, e o desenvolvimento dos frutos se dá nos meses intermediários aos dois estágios fenológicos (Fioravanço et al., 2010). Nas safras estudadas, a plena floração foi observada na primeira semana de outubro e o estágio de maturação comercial foi atingido em 13/03/2019, aos 163 DAPF (safra 2018/19), e 17/03/2020, aos 162 DAPF (safra 2019/20). Essas datas referem-se às últimas coletas, mostrando que tais estágios fenológicos ocorreram conforme o esperado para a cultivar e a região de produção.

Com base na distribuição das coletas, pode-se inferir que o melhor momento para o início do monitoramento da evolução da maturação é entre 142 e 147 DAPF, quando se observa que os processos metabólicos relacionados à maturação e ao amadurecimento se intensificam. A partir desse período, nota-se que alguns atributos apresentam drástica mudança após um período de estabilidade (cromaticidade da casca), ao passo que outros atributos, como o teor de sólidos solúveis, apresentam mudanças mais gradativas.

Considerando o período sugerido para início do monitoramento (142-147 DAPF), espera-se que o I_{DA} de aproximadamente 1,50 atinja valores próximos de 1,25 na data de colheita, que a firmeza de polpa passe de cerca 95 N para 83 N, que o teor de SS de 13° Brix atinja cerca de 15,8 °Brix e que a cromaticidade da casca passe de valores aproximados de 28 para valores de 31. Ainda, é de se esperar que, nesse período, as sementes já se encontrem completamente marrons e que os frutos atinjam valores de IRA superiores a 3 somente na colheita comercial (162 DAPF). A homogeneidade na evolução da maturação, principalmente nas últimas três coletas, ou seja, quando os frutos estão se aproximando da maturidade comercial, é um indicativo da possibilidade de se realizar apenas uma colheita, sem que haja a necessidade de repasses na mesma área de produção.

Não há um consenso, nos estudos publicados, quanto ao lado do fruto (exposto ou sombreado) que deve ser amostrado em maçãs. A maioria deles utiliza um valor médio obtido a partir da amostragem dos frutos em dois pontos equidistantes na região equatorial, o que pode não representar adequadamente nenhum dos lados amostrados. Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a amostragem das maçãs e a obtenção do I_{DA} sejam padronizadas, preferencialmente, na face exposta do fruto, uma vez que a tecnologia de monitoramento proximal poderá, num futuro

próximo, estar embarcada em sistemas mais robustos, de forma a efetuarem a coleta dos dados ao passarem pelas linhas de cultivo. Ainda, é importante salientar que os resultados obtidos neste estudo se destinam à predição da colheita de maçãs ‘Fuji Suprema’ não tratadas em pré-colheita com reguladores vegetais que inibem a produção de etileno (ReTain® e Harvista™), uma vez que estes produtos interferem na correlação entre o I_{DA} e os índices de colheita.

Uma vez obtidos os valores médios para a maçã cv. ‘Fuji Suprema’ nas condições do Rio Grande do Sul, será possível agregar os valores obtidos em campo com as coordenadas obtidas por GPS (*Global Positioning System*, em inglês, ou Sistema de Posicionamento Global) e gerar mapas de acompanhamento da maturação e previsão de colheita para a safra corrente, permitindo a gestão da logística de colheita, ou seja, o planejamento da quantidade de frutos para comercialização imediata e daquela a ser armazenada, a gestão de maquinário e de mão de obra para colheita, e as atividades no *packing house*. Trabalhos futuros com este equipamento podem envolver novas cultivares de maçã na avaliação da variabilidade espacial dentro da safra e aquisição de bases de dados ao longo de várias safras consecutivas, de forma a se proporem modelos matemáticos que façam a predição de safras futuras considerando a variabilidade temporal da cultura.

4 CONCLUSÕES

1. O DA-Meter pode ser empregado no monitoramento da evolução da maturação de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas nas condições climáticas do Rio Grande do Sul para fins de determinação do início da colheita.
2. O monitoramento da evolução da maturação com o DA-Meter deve se iniciar entre 142 e 147 DAPF, sendo as leituras obtidas no lado exposto do fruto.
3. As correlações entre I_{DA} e firmeza de polpa, e entre I_{DA} e sólidos solúveis permitem a substituição dessas avaliações destrutivas comumente empregadas para avaliação da maturação de maçãs pelo I_{DA} .
4. O uso do DA-Meter pode ser vinculado ao uso de coordenadas de coleta de dados no pomar, permitindo a geração de mapas da variabilidade espacial e temporal sobre a previsão e a qualidade do fruto semanas antes da colheita, auxiliando na tomada de decisão do manejo do pomar.

AGRADECIMENTOS

À rede de Agricultura de Precisão da Embrapa. Ao projeto SEG 11.14.09.001.02.00 - Convertido de: Tecnologias Habilitadoras 2 para Automação e AP: fruticultura e cafeicultura.

REFERÊNCIAS

- COSTA, G.; ROCCHI, L.; FARNETI, B.; BUSATTO, N.; SPINELLI, F.; VIDONI, S. Use of nondestructive devices to support pre and postharvest fruit management. **Horticulturae**, v. 3, n. 1, p. 12, 2017. DOI: <http://doi.org/10.3390/horticulturae3010012>.
- COSTAMAGNA, F.; GIORDANI, L.; COSTA, G.; NOFERINI, M. Use of AD index to define harvest time and characterize ripening variability at harvest in 'Gala' apple. **Acta Horticulturae**, n. 998, p. 117-123, 2013. DOI: <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.998.12>.
- DELONG, J. M.; HARRISON, P. A.; HARKNESS, L. Determination of optimal harvest boundaries for 'Ambrosia' apple fruit using a delta-absorbance meter. **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 91, n. 3, p. 243-249, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1080/14620316.2016.1148369>.
- DELONG, J.; HARRISON, P.; HARKNESS, L. An optimal harvest maturity model for 'Minneiska' apple fruit based on the delta-absorbance meter. **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 95, n. 5, p. 637-644, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1080/14620316.2020.1728199>.
- DELONG, J.; PRANGE, R.; HARRISON, P.; NICHOLS, D.; WRIGHT, H. Determination of optimal harvest boundaries for Honeycrisp™ fruit using a new chlorophyll meter. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, n. 2, p. 361-369, 2014. DOI: <http://doi.org/10.4141/cjps2013-241>.
- FIORAVANÇO, J. C.; Girardi, C. L.; Czermainski, A. B. C.; SILVA, G. A.; Nachtigall, G. R.; OLIVEIRA, P. R. D. **Cultura da maieira no Rio Grande do Sul**: análise situacional e descrição varietal. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2010. 60 p. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 71).
- LI, B.; LECOURT, J.; BISHOP, G. Advances in non-destructive early assessment of fruit ripeness towards defining optimal time of harvest and yield prediction – a review. **Plants**, v. 7, n. 1, p. 3, 2018. DOI: <http://doi.org/10.3390/plants7010003>.
- MAGRO, M.; SANDER, G. F.; DOS SANTOS, A. M.; RUFATO, L.; RUFATO, A. R.; KRETZSCHMAR, A. A.; ROBINSON, T. L. Monitoring maturation evolution of 'Maxi Gala' apples by a non-destructive fruit analysis method. **Acta Horticulturae**, n. 1228, p. 235-240, 2018. DOI: <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1228.35>.
- NYASORDZI, J.; FRIEDMAN, H.; SCHMILOVITCH, Z.; IGNAT, T.; WEKSLER, A.; ROT, I.; LURIE, S. Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 77, p. 80-86, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.002>.
- REIG, G.; ALEGRE, S.; IGLESIAS, I.; ECHEVERRÍA, G.; GATIUS, F. Fruit quality, colour development and Index of absorbance difference (IAD) of different nectarine cultivars at different harvest dates. **Acta Horticulturae**, n. 934, p. 1117-1126, 2012. DOI: <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.934.150>.
- TOIVONEN, P. M. A.; HAMPSON, C. R. Relationship of IAD index to internal quality attributes of apples treated with 1-methylcyclopropene and stored in air or controlled atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 91, p. 90-95, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.024>.
- ZIOSI, V.; NOFERINI, M.; FIORI, G.; TADIELLO, A.; TRAINOTTI, L.; CASADORO, G.; COSTA, G. A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 3, p. 319-329, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.017>.