

Relações lineares entre caracteres de frutos de maçã

Linear relations between apple traits

Marcos Toebe^{1*}, Vanderlei Both², Fabio Rodrigo Thewes², Alberto Cargnelutti Filho², Auri Brackmann²

1. Universidade Federal do Pampa - Itaqui (RS), Brasil.

2. Universidade Federal de Santa Maria - Departamento de Fitotecnia - Santa Maria (RS), Brasil.

RESUMO: O estudo das associações lineares existentes entre caracteres é fundamental para a seleção ou quantificação indireta de caracteres de interesse. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as relações lineares entre caracteres de frutos de maçã das cultivares 'Royal Gala' e 'Fuji', na colheita e após armazenamento refrigerado. Foram avaliados 120 frutos de 'Royal Gala' e 120 frutos de 'Fuji' na colheita e 120 frutos de 'Royal Gala' e 111 frutos de 'Fuji' após armazenamento refrigerado. Foram mensurados os caracteres morfológicos/produtivos (massa, diâmetro longitudinal e diâmetros transversais maior e menor) e os caracteres de qualidade (firmeza de polpa, sólidos solúveis totais, acidez titulável, teor de suco, produção de etileno e respiração). Em cada cultivar ('Royal Gala' e 'Fuji') e momento de avaliação (na colheita ou após armazenamento refrigerado), foram calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os pares de caracteres e a correlação canônica entre os grupos de caracteres morfológicos/produtivos e de qualidade. Na colheita, os frutos com maior massa apresentaram menor firmeza de polpa e maior teor de sólidos solúveis totais, independentemente da cultivar. Após o armazenamento refrigerado, os frutos com maior massa apresentaram maior teor de sólidos solúveis totais e menor respiração, independentemente da cultivar, e maior teor de suco na cultivar 'Fuji'.

Palavras-chave: *Malus domestica*, associação entre caracteres, correlação canônica.

ABSTRACT: The study of linear associations between traits is critical for the selection or the indirect quantification of the interest traits. Thus, the objective of this research was to evaluate the linear relationships among traits of apple fruits, in 'Royal Gala' and 'Fuji' cultivars, at harvest and after cold storage. In this investigation, 120 fruits of 'Royal Gala' and 120 fruits of 'Fuji' at harvest and 120 fruits of 'Royal Gala' and 111 fruits of 'Fuji' after cold storage were evaluated. Morphological/productive (mass, longitudinal diameter, major and minor transverse diameters) and quality traits (firmness, total soluble solids, titratable acidity, juice content, ethylene production and respiration) were measured. In each cultivar ('Royal Gala' and 'Fuji') and time of evaluation (at harvest or after cold storage), the Pearson's linear correlation coefficients among the pairs of traits and the canonical correlation among the groups of morphological/productive and of quality traits were calculated. At harvest, the apple fruits with higher mass had lower firmness and higher total soluble solids, regardless of the cultivar. After cold storage, the apple fruits with higher mass had higher total soluble solids and lower respiration, regardless of the cultivar, and higher juice content in the 'Fuji' cultivar.

Key words: *Malus domestica*, association among characters, canonical correlation.

*Autor correspondente: m.toebe@gmail.com

Recebido: 19 Dez. 2015 – Aceito: 17 Fev. 2016

As maçãs ‘Gala’ e ‘Fuji’ e suas mutantes são as cultivares mais produzidas no Brasil, sendo que uma das mutantes da ‘Gala’, denominada ‘Royal Gala’, tem frutos com epiderme vermelha rajada, lisa e brilhante, polpa firme, sendo crocante e suculenta, além de apresentar adequada relação entre ácidos e sólidos solúveis totais (Brackmann et al. 2008). Já a maçã ‘Fuji’ oferece excelente sabor, além de polpa crocante e suculenta (Brackmann et al. 2009).

A avaliação de caracteres morfológicos/produtivos de frutos de maçãs antes ou durante a colheita pode contribuir para a obtenção de frutos de maior qualidade comercial, especialmente quanto às características de firmeza de polpa, acidez titulável, sólidos solúveis totais e teor de suco (Palmer et al. 2010). Dessa forma, estudos de relações lineares entre caracteres de frutos de maçã podem contribuir na avaliação indireta do ponto de colheita, da qualidade e da atividade metabólica, permitindo a realização de avaliações externas e não destrutivas dos frutos. Nesse sentido, em maçãs das cultivares ‘Gala’, ‘Braeburn’ e ‘Fuji’, foram avaliadas diversas características morfológicas e produtivas a serem utilizadas na definição da maturidade e da qualidade após o armazenamento (Plotto et al. 1995). Nas cultivares ‘Royal Gala’ e ‘Scifresh’, Palmer et al. (2010) propuseram a avaliação da concentração de massa seca do fruto, verificada antes ou no momento da colheita, como indicador do potencial sensorial de frutos armazenados, com predição do teor de sólidos solúveis totais e da firmeza de polpa.

Estudos de associação linear podem ser realizados por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e, entre grupos de caracteres, pela correlação canônica (Cruz e Regazzi 1997). A associação foi estudada entre grupos de caracteres analíticos e sensoriais de maçã ‘Gala’ e ‘Fuji’, em múltiplas colheitas e períodos de armazenamento, por Plotto et al. (1997). Porém, ainda são escassos os estudos entre caracteres de maçãs ‘Gala’ e ‘Fuji’ e de suas mutantes que possam contribuir para a seleção ou quantificação indireta de caracteres morfológicos, produtivos ou de qualidade e que sejam de interesse do pesquisador ou do consumidor final. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as associações entre caracteres de frutos de maçã, das cultivares ‘Royal Gala’ e ‘Fuji’, na colheita e após armazenamento refrigerado.

Nos dias 20/02/2011 e 25/04/2011, foram colhidos frutos de maçã das cultivares ‘Royal Gala’ e ‘Fuji’, respectivamente, em um pomar comercial do município de Vacaria, Estado do Rio Grande do Sul (RS). Logo após a colheita, os frutos foram transportados até o Laboratório de Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS). Imediatamente após o transporte, foram avaliados 120 frutos

da cultivar ‘Royal Gala’ e 120 frutos da cultivar ‘Fuji’, sendo esse momento de avaliação denominado “na colheita”, com tempo transcorrido entre a colheita e a avaliação inferior a 24 h. Outros frutos das cultivares ‘Royal Gala’ e ‘Fuji’ foram armazenados, respectivamente, durante 3 meses a 0,5 °C e 4 meses a -0,5 °C, dentro de minicâmaras em ambiente refrigerado, com umidade relativa do ar de 96% ($\pm 1\%$). Após o armazenamento refrigerado, as maçãs foram expostas à temperatura de 20 °C durante 5 dias, a fim de simular o período de comercialização. Em seguida, foram avaliados 120 frutos da cultivar ‘Royal Gala’ e 111 frutos da cultivar ‘Fuji’, sendo esse momento de avaliação denominado “após armazenamento refrigerado”.

Em cada um dos frutos de cada cultivar, avaliados na colheita, foram mensurados os caracteres morfológicos/produtivos — massa (MA, em g), diâmetro longitudinal (DL, em mm), diâmetro transversal maior (DTM, em mm) e diâmetro transversal menor (DTm, em mm) — e os caracteres de qualidade dos frutos — firmeza de polpa (FIR, em N), sólidos solúveis totais (SST, em °Brix) e acidez titulável (AT, em % ácido málico). Em cada um dos frutos de cada cultivar, avaliados após armazenamento refrigerado, foram mensurados os mesmos 7 caracteres avaliados na colheita e mais 3 caracteres de qualidade dos frutos — teor de suco (SUCCO, em %), produção de etileno (ETIL, em $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e respiração (RESP, em $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). Os procedimentos de mensuração dos caracteres foram descritos detalhadamente por Toebe et al. (2014).

Em cada cultivar e momento de avaliação, foram calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os caracteres. A seguir, em cada grupo de caracteres (morfológicos/produtivos e de qualidade) de cada cultivar (‘Royal Gala’ e ‘Fuji’) e momento de avaliação (“na colheita” ou “após armazenamento refrigerado”), foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade por meio do número de condição (NC) e do fator de inflação da variância (FIV), sendo eliminados caracteres até que o NC fosse inferior a 100 (Montgomery e Peck 1982) e o FIV fosse inferior a 10 (Hair et al. 2009). Em seguida, foi calculada a correlação canônica entre os grupos de caracteres morfológicos/produtivos e de qualidade dos frutos, em cada cultivar e momento de avaliação. As análises estatísticas foram realizadas com os softwares GENES (Cruz 2013) e Microsoft® Office Excel.

Os caracteres morfológicos/produtivos (MA, DL, DTM e DTm) apresentaram elevados coeficientes de correlação positivos entre si, nas 2 cultivares e nos 2 momentos de avaliação ($0,660 \leq r \leq 0,954$; Tabela 1). Por outro lado,

os caracteres de qualidade dos frutos (FIR, SST e AT) apresentaram menores coeficientes de correlação entre si nas 2 cultivares avaliadas na colheita ($-0,253 \leq r \leq 0,325$). Além disso, os caracteres de qualidade (FIR, SST, AT, SUCO, ETIL e RESP), avaliados após armazenamento refrigerado, também apresentaram menores coeficientes de correlação ($-0,364 \leq r \leq 0,420$). Nas 2 cultivares, tanto na colheita como após armazenamento refrigerado, os caracteres FIR e SST correlacionaram-se negativamente. Por outro lado, a FIR apresentou correlação positiva com a AT, embora alguns coeficientes não tenham sido significativos estatisticamente.

A FIR apresentou correlação negativa com os caracteres morfológicos/produtivos nas 2 cultivares avaliadas na colheita ($-0,399 \leq r \leq -0,232$), sendo esse comportamento também verificado na avaliação após armazenamento refrigerado ($-0,205 \leq r \leq -0,060$), mas com menor magnitude e alguns casos não significativos (Tabela 1). Portanto, pode-se inferir que frutos maiores apresentam menor firmeza de polpa,

principalmente no momento da colheita. Após o armazenamento, essa relação ocorre em menor proporção, em função do avanço da maturação, da degradação de amido e conversão em açúcares, atuando na redução da firmeza dos frutos. Por outro lado, os SST apresentaram correlação positiva com os caracteres morfológicos/produtivos nas 2 cultivares e nos 2 momentos de avaliação ($r \geq 0,128$). Assim, pode-se inferir que frutos com maiores massa e diâmetro apresentam maior concentração de SST, independentemente da cultivar e do momento de avaliação.

A AT apresentou correlação de baixa magnitude com os caracteres morfológicos/produtivos, dependendo da cultivar, do momento de avaliação e do caractere ($-0,198 \leq r \leq 0,229$) (Tabela 1). O teor de suco (SUCO) apresentou correlação positiva apenas com caracteres morfológicos/produtivos da cultivar 'Fuji' e ausência de correlação linear na cultivar 'Royal Gala'. Já a produção de etileno (ETIL) e a respiração (RESP) apresentaram correlação negativa com os caracteres morfológicos/produtivos nas 2 cultivares, o que indica que

Tabela 1. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre pares de caracteres de frutos de maçã, das cultivares 'Royal Gala' e 'Fuji', avaliados na colheita e após armazenamento refrigerado.

Caractere	Na colheita ⁽¹⁾									
	MA	DL	DTM	DTm	FIR	SST	AT			
MA		0,847*	0,945*	0,921*	-0,376*	0,227*	-0,088 ^{ns}			
DL	0,887*		0,692*	0,660*	-0,328*	0,128 ^{ns}	0,054 ^{ns}			
DTM	0,947*	0,795*		0,938*	-0,371*	0,252*	-0,112 ^{ns}			
DTm	0,954*	0,783*	0,910*		-0,352*	0,205*	-0,188*			
FIR	-0,322*	-0,232*	-0,399*	-0,363*		-0,203*	0,242*			
SST	0,433*	0,394*	0,415*	0,433*	-0,253*		0,091 ^{ns}			
AT	0,191*	0,229*	0,189*	0,118 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,325*				
Após armazenamento refrigerado ⁽²⁾										
	MA	DL	DTM	DTm	FIR	SST	AT	SUCO	ETIL	RESP
MA		0,831*	0,934*	0,923*	-0,144 ^{ns}	0,371*	-0,108 ^{ns}	0,022 ^{ns}	-0,408*	-0,463*
DL	0,902*		0,661*	0,669*	-0,183*	0,212*	-0,030 ^{ns}	0,099 ^{ns}	-0,304*	-0,416*
DTM	0,946*	0,806*		0,927*	-0,184*	0,387*	-0,198*	0,008 ^{ns}	-0,361*	-0,414*
DTm	0,944*	0,812*	0,900*		-0,205*	0,406*	-0,172 ^{ns}	0,006 ^{ns}	-0,368*	-0,390*
FIR	-0,135 ^{ns}	-0,060 ^{ns}	-0,160 ^{ns}	-0,203*		0,102 ^{ns}	0,420*	-0,172 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,007 ^{ns}
SST	0,261*	0,214*	0,256*	0,230*	-0,364*		0,098 ^{ns}	-0,295*	-0,305*	0,026 ^{ns}
AT	-0,018 ^{ns}	0,026 ^{ns}	-0,063 ^{ns}	-0,065 ^{ns}	0,289*	-0,125 ^{ns}		-0,141 ^{ns}	-0,043 ^{ns}	0,044 ^{ns}
SUCO	0,306*	0,260*	0,337*	0,312*	-0,170 ^{ns}	0,238*	-0,113 ^{ns}		-0,082 ^{ns}	-0,051 ^{ns}
ETIL	-0,299*	-0,336*	-0,262*	-0,235*	-0,243*	-0,133 ^{ns}	-0,271*	-0,278*		0,272*
RESP	-0,423*	-0,376*	-0,419*	-0,371*	0,040 ^{ns}	0,166 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,253*	

⁽¹⁾Cultivar 'Royal Gala' na diagonal superior e cultivar 'Fuji' na diagonal inferior; ⁽²⁾Cultivar 'Royal Gala' na diagonal superior e cultivar 'Fuji' na diagonal inferior; ^{ns}Não significativo; *Coeficiente de correlação linear de Pearson (r) significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t, com 118 graus de liberdade para as cultivares 'Royal Gala' e 'Fuji' na colheita e para a cultivar 'Royal Gala' após armazenamento refrigerado e com 109 graus de liberdade para a cultivar 'Fuji' após armazenamento refrigerado. MA = Massa; DL = Diâmetro longitudinal; DTM = Diâmetro transversal maior; DTm = Diâmetro transversal menor; FIR = Firmeza de polpa; SST = Sólidos solúveis totais; AT = Acidez titulável; SUCO = Teor de suco; ETIL = Produção de etileno; RESP = Respiração.

frutos de maiores massa e diâmetros apresentam menor produção de etileno e menor taxa de respiração. Frutos maiores apresentam menor potencial de armazenamento, tendo maior ocorrência de podridões e menor manutenção da cor de fundo de epiderme, comparados com frutos pequenos (Brackmann et al. 2005). Possivelmente, a correlação negativa de ETIL e RESP com caracteres morfológicos/produtivos pode ser em função de que frutos maiores já atingiram o pico climatérico antes das avaliações realizadas no 5º dia após a retirada dos frutos das câmaras. Por outro lado, é possível que os frutos menores tenham atingido o pico climatérico apenas no dia da avaliação, justificando a maior produção de etileno e respiração nesse momento.

Em maçãs 'Cox', Knee e Smith (1989) verificaram que os teores de açúcar, malato e a firmeza de polpa após armazenamento apresentaram correlações próximas às verificadas durante a colheita, com diminuição contínua da acidez e aumento da doçura dos frutos. Em estudo conduzido por Palmer et al. (2010), verificou-se correlação positiva entre a massa seca do fruto e os SST em maçãs 'Royal Gala' e 'Scifresh', avaliadas na colheita e após 6 e 12 semanas de armazenamento,

com valores próximos aos do presente estudo para as correlações entre MA e SST (Tabela 1). Os autores também verificaram correlação positiva, de baixa magnitude, entre a massa seca e a firmeza de frutos. Destaca-se, contudo, que frutos colhidos em diferentes datas, bem como o tempo de armazenamento, atuam sobre as características externas e internas de frutos de maçãs (Plotto et al. 1995; Watkins et al. 2005), podendo alterar o padrão de associação entre caracteres.

Para a análise de correlação canônica, nas 2 cultivares e nos 2 momentos de avaliação, foram excluídos o DTM e o DTm, pois apresentavam alta colinearidade com MA e DL, conforme critérios estabelecidos por Montgomery e Peck (1982) e Hair et al. (2009). Assim, nas 2 cultivares, a correlação canônica foi realizada com base nos caracteres morfológicos/produtivos (MA e DL) e de qualidade dos frutos (FIR, SST e AT), na colheita, e com base nos caracteres morfológicos/produtivos (MA e DL) e de qualidade dos frutos (FIR, SST, AT, SUCO, ETIL e RESP) após o armazenamento refrigerado.

Ao menos um par canônico foi significativo em cada cultivar e momento de avaliação (Tabela 2). Com base no primeiro par canônico, nas 2 cultivares avaliadas na colheita,

Tabela 2. Correlações canônicas entre os grupos de caracteres morfológicos/produtivos e de qualidade de frutos de maçã, das cultivares 'Royal Gala' e 'Fuji', avaliados na colheita e após armazenamento refrigerado.

	'Royal Gala' na colheita		'Fuji' na colheita	
	1º par canônico	2º par canônico	1º par canônico	2º par canônico
Correlação	0,412*	0,298*	0,493*	0,171 ^{ns}
Caractere	Coefficientes canônicos de caracteres morfológicos/produtivos			
MA	1,347	-1,316	1,080	1,876
DL	-0,443	1,831	-0,091	-2,162
Caractere	Coefficientes canônicos de caracteres de qualidade dos frutos			
FIR	-0,727	-0,667	-0,493	-0,614
SST	0,477	-0,435	0,697	-0,151
AT	-0,214	0,925	0,168	-0,735
	'Royal Gala' após armazenamento refrigerado		'Fuji' após armazenamento refrigerado	
Correlação	0,659*	0,290 ^{ns}	0,613*	0,204 ^{ns}
Caractere	Coefficientes canônicos de caracteres morfológicos/produtivos			
MA	1,140	1,392	1,116	2,028
DL	-0,174	-1,791	-0,130	-2,311
Caractere	Coefficientes canônicos de caracteres de qualidade dos frutos			
FIR	-0,186	0,633	0,022	-0,314
SST	0,569	0,295	0,446	0,130
AT	-0,132	-0,708	-0,022	-0,116
SUCO	0,073	-0,405	0,448	0,251
ETIL	-0,283	-0,158	-0,091	0,857
RESP	-0,619	0,385	-0,788	-0,213

*Coeficiente de correlação canônico significativo a 5% de probabilidade pelo teste do χ^2 ; ^{ns}Não significativo. MA = Massa; DL = Diâmetro longitudinal; FIR = Firmeza de polpa; SST = Sólidos solúveis totais; AT = Acidez titulável; SUCO = Teor de suco; ETIL = Etileno; RESP = Respiração.

verificaram-se coeficientes positivos de MA nos caracteres morfológicos/produtivos e de SST nos caracteres de qualidade, além de coeficientes negativos de FIR nos caracteres de qualidade. Assim, confirmam-se as inferências supracitadas (Tabela 1) de que frutos com maior massa apresentam menor firmeza de polpa e maior teor de SST na colheita, independentemente da cultivar.

Após o armazenamento refrigerado, a MA apresentou elevados coeficientes canônicos positivos (Tabela 2). Entre os caracteres de qualidade, verificaram-se maiores coeficientes positivos para SST e negativos para RESP nas 2 cultivares, além de coeficiente positivo de SUCO na cultivar 'Fuji'. Assim, pode-se inferir que, após armazenamento refrigerado, frutos

com maior massa apresentam maior teor de SST e menor respiração, independentemente da cultivar, e maior teor de suco na cultivar 'Fuji'. Segundo Plotto et al. (1997), nas cultivares 'Gala' e 'Fuji', apenas a firmeza de polpa apresentou coeficientes canônicos positivos e elevados com caracteres sensoriais.

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que, na colheita, os frutos de maçãs com maior massa apresentam menor firmeza de polpa e maior teor de SST, independentemente da cultivar. Após o armazenamento refrigerado, os frutos de maçãs com maior massa apresentam maior teor de SST e menor respiração, independentemente da cultivar, e maior teor de suco na cultivar 'Fuji'.

REFERÊNCIAS

- Brackmann, A., Anese, R. O., Pinto, J. A. V., Steffens, C. A. e Guarienti, A. J. W. (2009). Temperatura, umidade relativa e atraso na instalação da atmosfera controlada no armazenamento de maçã 'Fuji'. *Ciência Rural*, 39, 2367-2372. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000178>.
- Brackmann, A., Giehl, R. F. H., Antes, R. B., Neuwald, D. A., Sestari, I. e Pinto, J. A. V. (2005). Condições de atmosfera controlada para o armazenamento de maçãs 'Royal Gala' de diferentes tamanhos. *Ciência Rural*, 35, 1049-1053. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000500010>.
- Brackmann, A., Weber, A., Pinto, J. A. V., Neuwald, D. A. e Steffens, C. A. (2008). Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. *Ciência Rural*, 38, 2478-2484. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000900010>.
- Cruz, C. D. (2013). Genes — a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35, 271-276. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Cruz, C. D. e Regazzi, A. J. (1997). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2. ed. Viçosa: UFV, 390p.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. e Tatham, R. L. (2009). Análise multivariada de dados. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 688p.
- Knee, M. e Smith, S. M. (1989). Variation in quality of apple fruits stored after harvest on different dates. *Journal of Horticultural Science*, 64, 413-419. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.1989.11515972>.
- Montgomery, D. C. e Peck, E. A. (1982). Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley and Sons, 504p.
- Palmer, J. W., Harker, F. R., Tustin, D. S. e Johnston, J. (2010). Fruit dry matter concentration: a new quality metric for apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 2586-2594. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4125>.
- Plotto, A., Azarenko, A. N., Mattheis, J. P. e McDaniel, M. R. (1995). 'Gala', 'Braeburn', and 'Fuji' apples: maturity indices and quality after storage. *Fruit Varieties Journal*, 49, 133-142.
- Plotto, A., Azarenko, A. N., McDaniel, M. R., Crockett, P. W. e Mattheis, J. P. (1997). Eating quality of 'Gala' and 'Fuji' apples from multiple harvests and storage durations. *HortScience*, 32, 903-908.
- Toebe, M., Both, V., Thewes, F. R., Cargnelutti Filho, A. e Brackmann, A. (2014). Tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres de maçã. *Ciência Rural*, 44, 759-767. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000500001>.
- Watkins, C. B., Erkan, M., Nock, J. F., Lungerman, K. A., Beaudry, R. M. e Moran, R. E. (2005). Harvest date effects on maturity, quality, and storage disorders of 'Honeycrisp' apples. *HortScience*, 40, 164-169.