

VARIABILIDADE DE ÍNDICES DE FIRMEZA EM FIGO UTILIZANDO PONTEIRA CILÍNDRICA E PRATOS PLANOS¹

FRANCIANE COLARES SOUZA² & ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA FERRAZ³

RESUMO - O figo 'Roxo de Valinhos' é um produto deteriorável e sensível ao manuseio. A pequena resistência mecânica do figo maduro exige cuidados especiais na colheita, acondicionamento, transporte e comercialização. A firmeza é uma medida em frutas e hortaliças, pois expressa em parte a relação tensão-deformação, útil na avaliação do ponto de colheita do produto e da qualidade durante o armazenamento. No entanto, a inexistência de um padrão para as medidas muitas vezes conduz a decisões inadequadas quanto à escolha do índice de firmeza. Neste trabalho, compararam-se quatro índices de firmeza obtidos a partir da curva força-deformação resultante dos ensaios mecânicos de penetração com ponteira cilíndrica e compressão entre pratos planos e paralelos com o objetivo de identificar o índice de menor variabilidade e potencialmente mais indicado para avaliação de firmeza do figo. Os resultados indicaram que a inspeção das curvas força-deformação é importante para estabelecer intervalos para avaliação de índices de firmeza. Dentre os índices de firmeza considerados, a energia de deformação até a deformação específica de 10%, utilizando-se de compressão entre pratos planos e paralelos, mostrou ser o mais indicado para avaliação de firmeza de figos devido ao menor coeficiente de variação exibido.

Termos para indexação: *Ficus carica* L., resistência mecânica, avaliação de qualidade, textura, energia de deformação.

VARIABILITY OF FIG FIRMNESS INDEXES USING CYLINDRICAL PROBE AND PARALLEL PLATES COMPRESSION

ABSTRACT - 'Roxo de Valinhos' fig is a perishable handling sensitive product. The low mechanical resistance of the mature fig fruit demands special care during harvesting, packing, transportation and commercialization. Firmness is an important textural attribute for vegetables, expressing the tension-strain measure useful to evaluating harvesting point and temporal quality. However, the non existence of a standard for measuring firmness may lead to inadequate decisions in choosing the proper index. In this work, four firmness indexes extracted from force-deformation curves as result of mechanical penetration tests with cylindrical probe and compression tests between flat and parallel plates were compared aiming to identify the index with least variability to be used in figs. Results indicated that previous force-deformation curves inspection is important to establishing firmness evaluation intervals. Among the considered firmness indexes, the deformation energy up to 10% deformation, using flat plate compression is the best index to evaluate fig firmness since it showed the lowest coefficient of variation.

Index terms: *Ficus carica* L., mechanical resistance, quality evaluation, texture, deformation energy.

O figo 'Roxo de Valinhos' (*Ficus carica* L.) é um produto sensível ao manuseio e facilmente deteriorável. A pequena resistência mecânica do figo maduro exige cuidados especiais na colheita, acondicionamento, transporte e comercialização. A cultura da figueira apresenta grande importância econômica para o Estado de São Paulo. Em 2007, foram exportadas 1,6 mil toneladas de figos,

totalizando 6,6 milhões de dólares (Brasil, 2008).

Segundo Mohsenin (1986), a firmeza é um atributo textural importante em frutas e hortaliças, pois expressa uma medida da relação tensão-deformação, útil na avaliação do ponto de colheita do produto e da qualidade durante o armazenamento. A dificuldade de extração de corpos de prova adequados para ensaios mecânicos (Mohsenin, 1986), geometria e distribuição não-uniforme de

¹(Trabalho 088-08). Recebido em: 07-04-2008. Aceito para publicação em: 24-10-2008. Parte do projeto de pesquisa "Qualidade do figo 'Roxo de Valinhos' armazenado sob atmosfera modificada com variação de temperatura", financiado pela Fapesp (Proc. n. 06/55157-8).

²Mestre em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, franciane_souza@yahoo.com.br.

³Professor Livre Docente, Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, carlos@agr.unicamp.br.

massa, anisotropismo e heterogeneidade dificultam o estudo do comportamento mecânico de tecidos vegetais. Isso é particularmente verdadeiro para o figo, pois exibe tecidos diferenciados, grande descontinuidade pela presença do ostíolo e cavidade interior (Figura 1A), assimetria geométrica e resistência mecânica distinta entre hemisférios (Souza & Ferraz, 2005). Essas características impedem a utilização de procedimento padronizado e as equações para a obtenção do módulo de elasticidade indicadas no ASAE Standards (1994). No entanto, diante da inexistência de uma metodologia padronizada, a escolha do índice de firmeza ou do procedimento pode ser inadequada. Idealmente, busca-se um índice que apresente boa discriminação e pequena variabilidade. Penteadó (1998), utilizando ensaio de penetração em figos, encontrou valores elevados de coeficiente de variação (CV), próximos de 40%, para o índice de firmeza baseado na força máxima. Outros autores (Alayunt et al., 1998a; Alayunt et al., 1998b; Çelikel & Karaçali, 1998; Neves et al., 2002) apresentam valores de firmeza obtidos para figos, porém não citam os respectivos CV. Altos valores de CV, evidentemente, não ajudam nas tomadas de decisão. Percebe-se que a questão das medidas de firmeza não está resolvida e não se restringe somente ao figo. Gomes & Ferraz (2005), investigando a variabilidade de parâmetros mecânicos na avaliação de firmeza da uva 'Niagara Rosada', obtiveram CV igual a 41% para o índice de firmeza baseado na força máxima, geralmente utilizado, e menor variabilidade para índices baseados no módulo de elasticidade e na deformação específica na força máxima, com CV de 18% e 20%, respectivamente. Esses elementos indicam que um estudo sobre a variabilidade dos índices de firmeza para o figo é necessário.

Utilizou-se o figo 'Roxo de Valinhos' (*Ficus carica* L.), adquirido de um produtor do município de Campinas-SP, da safra de verão 2006/2007. Os figos foram colhidos no mesmo dia no período da manhã e levados até a unidade de beneficiamento, onde foram selecionados aqueles com massa de 80 ± 10 g, aproximadamente 50% da superfície apresentando coloração arroxeadada e isentos de danos físicos ou microbiológicos visíveis. Em seguida, foram transportados para o Laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Biológicos (FEAGRI/UNICAMP), onde, no mesmo dia, foram identificados e medidos dois diâmetros perpendiculares, na região equatorial, para cálculo do diâmetro médio.

Foram escolhidos ensaios de compressão utilizando ponteira e pratos planos. A ponteira cilíndrica escolhida, de 2mm de diâmetro e bordas

arredondadas, permite penetração adequada com alta concentração de tensão e pequena deformação global. Ensaio preliminar com figo mostrou que ponteira cilíndrica com diâmetro de 1,5mm produz níveis baixos de força na ruptura, dificultando as comparações, e que a ponteira com diâmetro maior, de 3,0mm, deforma excessivamente a região adjacente à penetração, sendo assim ambas inadequadas. Diferentemente, a compressão com pratos planos não produz ruptura localizada e integra a resposta de uma região do figo consideravelmente maior. Nos ensaios, utilizou-se uma máquina universal de ensaios (Texture Analyser TA500, Lloyd Instruments, Inc.), operando a uma taxa de deformação de 1mm/s. Para o ensaio de penetração, utilizando-se uma célula de carga de 50N, cada figo foi apoiado em recipiente côncavo, posicionando a superfície de contato perpendicularmente à direção de deslocamento da ponteira (Figura 1B), realizando-se três perfurações ao longo do equador. O ensaio foi conduzido até a deformação de 6mm, valor suficiente para romper a epiderme do figo, indicado pela força máxima, mostrado na Figura 2. No ensaio de compressão entre pratos planos foi utilizada célula de carga de 500N. Os figos foram colocados em contato com as superfícies planas (Figura 1C) e comprimidos até atingir a deformação de 15mm, correspondendo a aproximadamente 25% de seu diâmetro (Figura 2). Para cada tipo de ensaio foram realizadas cinquenta repetições. Para identificar o intervalo de menor variabilidade e comum a todas as curvas força-deformação específica, estas foram traçadas em um mesmo gráfico. Buscou-se, por inspeção, um intervalo logo após a deformação inicial, que representasse o efeito de pequenas deformações, supondo-se que grandes deformações introduzem elevada variabilidade nas medidas. Os índices de firmeza avaliados fora do intervalo foram força máxima (F_{\max}), força máxima pela deformação correspondente (F_{\max}/δ) e energia de deformação até a força máxima ($ED_{F_{\max}}$). Esses índices foram comparados com índices de força (F_e) e energia de deformação (ED_e) a uma dada deformação específica ϵ , calculados para valores extremos e intermediário dentro do intervalo escolhido. Os índices de firmeza foram comparados buscando-se identificar o índice com menor variabilidade, representado pelo menor CV (Wu & Abbot, 2002).

No ensaio de penetração (Figura 3A), as curvas apresentam variação moderada entre si, para valores de ϵ inferiores a 1%, seguido por intervalo entre 1,5% e 3,0%, caracterizado por relação aproximadamente linear, e pelo último intervalo caracterizado por grande variação no comportamento

das curvas. Esta observação sugere a escolha de deformações específicas compreendidas entre 1,5% e 3,0% como melhor intervalo para extrair-se informações sobre o comportamento mecânico dos figos, devido à menor variação observada. Consequentemente, escolheram-se as deformações específicas de 1,5%, 2,0% e 3,0% para as análises de variabilidade dos índices de firmeza. Para a compressão (Figura 3B), as curvas exibiram comportamento aproximadamente linear desde o início, verificando-se, por inspeção, que esse comportamento foi semelhante para todas as curvas obtidas, até atingir, aproximadamente, a deformação específica de 10%. Este parece ser o intervalo indicado para avaliação dos índices de firmeza, uma vez que, a partir dele, observa-se também grande variação no comportamento das curvas. Assim, foram escolhidas as deformações específicas de 5,0%, 7,5% e 10,0% para avaliação dos índices de firmeza. Para o ensaio de penetração (Figura 3A), verifica-se que as variações são aparentemente maiores, o que pôde ser confirmado pelos valores de CV. Tais variações podem ser atribuídas à não-homogeneidade dos tecidos evidenciada pelas penetrações localizadas.

Os índices de firmeza obtidos para os ensaios entre pratos planos apresentaram menores valores de CV que os ensaios de penetração (Tabela 1), sugerindo serem potencialmente melhores indicadores da firmeza. Os índices associados à força máxima apresentaram CV muito próximos para ambos os ensaios, exceto para o índice $ED_{F_{máx}}$, uma vez que a ocorrência da $F_{máx}$ foi num intervalo de deformação muito pequeno. Para as deformações

nos intervalos escolhidos, os valores do CV decresceram tanto para a F_{ϵ} como para a ED_{ϵ} , atingindo os menores valores para 10% de ϵ . Para $F_{10\%}$ (18,94%) e $ED_{10\%}$ (16,31%), esses valores são bastante aceitáveis para produtos agrícolas (Gomes, 1987) e muito inferiores àqueles baseados na $F_{máx}$, sugerindo que deformações menores que a da $F_{máx}$ produzem índices com menor variabilidade. Observa-se também que os índices F_{ϵ} e ED_{ϵ} apresentaram CV semelhantes, não havendo ganhos com a integração, sendo preferível utilizar o primeiro por ser mais facilmente obtido. Os diferentes CV obtidos para os índices de firmeza analisados evidenciam a importância da escolha adequada dos índices, como demonstrado por Gomes & Ferraz (2005) para uva 'Niagara Rosada', já que a alta variabilidade é intrínseca aos produtos agrícolas e variações no comportamento mecânico são comuns, como identificado por Rodrigues & Ferraz (1997) para macadâmia, Araújo et al. (2002) para castanha de caju e Souza et al. (2006) para frutos da macaúba.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a inspeção das curvas força-deformação é importante para estabelecer intervalos para avaliação de índices de firmeza. O ensaio de compressão entre pratos planos e paralelos apresentou os menores valores de coeficiente de variação, indicando ser o mais adequado para análise de firmeza em figos.

Dentre os índices estudados, a energia de deformação até a deformação específica de 10% utilizando-se de compressão entre pratos planos e paralelos mostrou ser o mais indicado para avaliação de firmeza de figos, devido ao menor coeficiente de variação exibido.

TABELA 1 - Valores médios dos índices de firmeza de figos obtidos a partir dos ensaios mecânicos de penetração e ensaios de compressão entre pratos planos e paralelos, utilizando 50 repetições.

Ensaio de Penetração com ponteira cilíndrica									
	$F_{máx}$ (N)	$F_{máx}/$ ($N.mm^{-1}$)	$ED_{F_{máx}}$ (N.mm)	= 1,5 %		= 2,0 %		= 3,0%	
				F (N)	ED (N.mm)	F (N)	ED_{γ} (N.mm)	F (N)	ED_{γ} (N.mm)
Média	1,64	0,58	2,70	0,51	0,24	0,70	0,44	1,06	1,01
D.P.	0,46	0,15	1,10	0,17	0,09	0,21	0,14	0,29	0,29
CV (%)	28,05	25,86	40,74	33,33	37,50	30,00	31,82	27,36	28,71
Ensaio de Compressão entre Pratos Planos e Paralelos									
	$F_{máx}$ (N)	$F_{máx}/$ ($N.mm^{-1}$)	$ED_{F_{máx}}$ (N.mm)	=5,0 %		= 7,5 %		= 10,0%	
				F (N)	ED (N.mm)	F (N)	ED_{γ} (N.mm)	F (N)	ED_{γ} (N.mm)
Média	20,13	1,41	162,84	4,75	7,56	7,11	16,47	9,82	31,39
D.P.	4,99	0,35	40,22	0,96	1,58	1,41	3,28	1,86	5,12
CV (%)	24,79	24,82	24,70	20,21	20,90	19,83	19,91	18,94	16,31

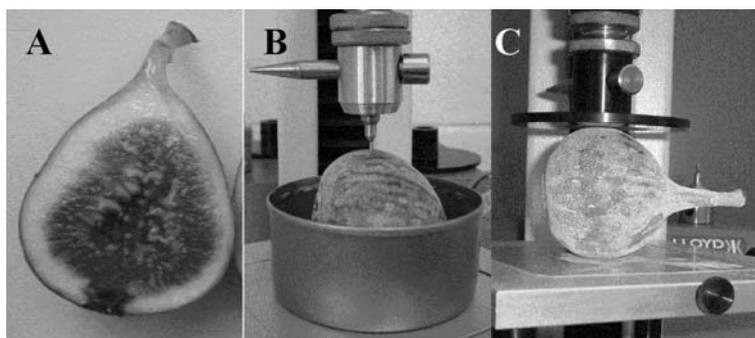


FIGURA 1 – (A) Representação esquemática da composição interna do figo, mostrando a não-homogeneidade do material no corte transversal. (B) Posicionamento inicial do figo para os ensaios de penetração e (C) compressão entre pratos planos e paralelos.

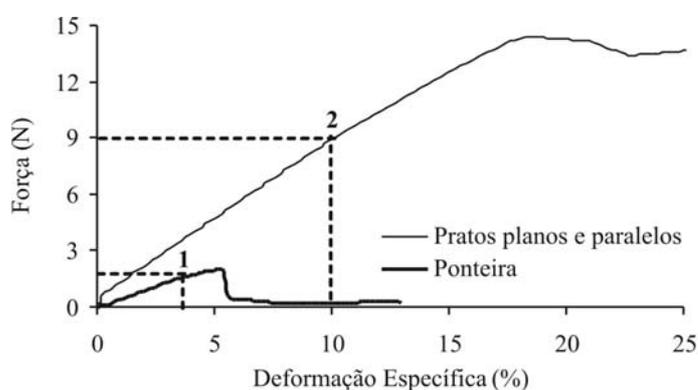


FIGURA 2 - Diagramas força x deformação específica representativos dos ensaios de penetração (1) e compressão entre pratos planos e paralelos (2). O ponto indicado em cada diagrama corresponde ao respectivo valor máximo de deformação específica estabelecido para a determinação dos índices de firmeza.

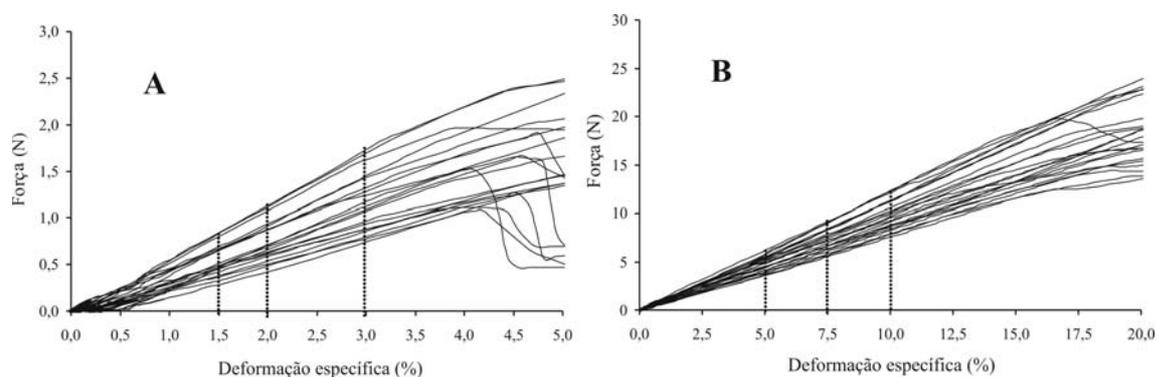


FIGURA 3 - Comportamento representativo dos diagramas força-deformação específica obtidos nos ensaios de penetração com ponteira cilíndrica (A) e compressão entre pratos planos e paralelos (B). As linhas verticais pontilhadas em cada diagrama correspondem aos respectivos valores de deformação específica estabelecidos para determinação dos índices de firmeza, força e energia de deformação a uma dada deformação específica.

REFERÊNCIAS

- ALAYUNT, F.N.; ÇAKMAK, B.; CAN, H.Z. Friction and rolling resistance coefficients of fig. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.480, p.301-304, 1998a.
- ALAYUNT, F.N.; ÇAKMAK, B.; CAN, H.Z.; AKSOY, U. Vibration damage trial on some fig cultivars. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.480, p.305-310, 1998b.
- ARAÚJO, M. C.; FERRAZ, A. C. O.; AUGUSTO, P. E. D. Relações força-deformação na compressão de castanha de caju em duas direções perpendiculares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador-BA. **Anais...** CD-ROM.
- ASAE STANDARD. **Compression test of food materials of convex shape**. St Joseph, 1994. p.472-476. (ASAE S368.2)
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Frutas. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br>>. Acesso em: 14.jul.2008.
- ÇELIKEL, F.G.; KARAÇALI, I. Effects of harvest maturity and precooling on fruit quality and longevity of 'Bursa Siyahi' figs (*Ficus carica* L.). **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.480, p.283-288, 1998.
- GOMES, D.; FERRAZ, A. C. O. Variabilidade de parâmetros mecânicos de bagos de uva 'Niagara Rosada'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 11., 2005. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: Embrapa Uva e Vinho, 2005 (Documento, 55).
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1987. 467p.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2.ed. New York: Gordon and Breach, 1986. 891p.
- NEVES, L.C.; RODRIGUES, A.C.; VIEITES, R.L. Polietileno de baixa densidade (PEBD) na conservação pós-colheita de figos cv. 'Roxo de Valinhos'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, n.1, p. 57-62, 2002.
- PENTEADO, S. R. **Uso de atmosfera modificada e embalagens ativas, na conservação do figo 'Roxo de Valinhos' (*Ficus carica* L.)**. 1998. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1998.
- RODRIGUES, A. L. G.; FERRAZ, A. C. O. Using impact load and conical indentors to crack macadamia nuts shells. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRUIT, NUT AND VEGETABLE PRODUCTION ENGINEERING, 5., 1997, Davis. **Proceedings...**
- SOUZA, F. C.; FERRAZ, A. C. O. Resistência mecânica e coeficiente de atrito do figo 'Roxo de Valinhos' para projeto de embalagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., Canoas. **Anais...** Canoas, RS: ULBRA, 2005. CD-ROM.
- SOUZA, F. C.; GOMES, D.; FERRAZ, A. C. O.; INAMASU, R. Y. Caracterização física e mecânica do fruto da macaúba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** CD-ROM.
- WU, T.; ABBOTT, J.A. Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices. **Postharvest Biology and Technology**, St Louis, v.24, p.59-68, 2002.