

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E ANATÔMICAS CAUSADAS POR DANOS
MECÂNICOS DURANTE O BENEFICIAMENTO DE MAÇÃS E FRUTOS
CÍTRICOS**

Cândida Raquel Scherrer Montero
Engenheira Agrônoma, MSc. (UFRGS)

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Ênfase em Horticultura

Porto Alegre (RS), Brasil
Outubro de 2010

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

M77Ba Montero, Cândida Raquel Scherer.
Alterações fisiológicas e anatômicas causadas por danos mecânicos durante o beneficiamento de maçãs e frutos cítricos / Cândida Raquel Scherer Montero. — Porto Alegre : C.R.S. Montero, 2010.

xiv, 143f. il.

Tese(Doutorado - Horticultura) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

1.Maçã : Cítricos : Pós-colheita : Danos mecânicos. I. Título.

CDD: 635

CÂNDIDA RAQUEL SCHERRER MONTEIRO
Engenheira Agrônoma - UFRGS
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM FITOTECNIA


Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 01.10.2010
Pela Banca Examinadora


RENAN DO BELDER
Orientador - PPG Fitotecnia



RINALDO PIRES DOS SANTOS
Co-orientador - PPG Botânica/UFRGS


CESAR VALMOR ROMALDI
UFPeI


AURI BRACKMANN
UFEM


LUCIMARA ROGÉRIA ANTONIOLI
EMBRAPA Uva e Vinho
Bento Gonçalves/RS

Homologado em: 09.11.2010
Por


PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia


PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

DEDICO

*Ao meu amor, Rodrigo
Montero e a minha querida avó,
Irma Maciel Fidelis (In
memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Ao final de quase quatro anos de intensos estudos e muito trabalho, tenho plena consciência de que não cheguei aqui sozinha, e felizmente tenho muito a agradecer.

À Deus por iluminar minhas escolhas.

Aos meus pais pelo apoio, incentivo e amor que sempre me deram.

Às minhas irmãs, Carolina e Cristina, que sempre me apoiaram e me aconselharam nos momentos mais difíceis da minha caminhada, obrigada maninhas queridas. À minha irmã Cris e ao meu cunhado Gustavo pelo auxílio com os gráficos da tese.

Ao meu amado marido Rodrigo, por estar ao meu lado nos bons e não tão bons momentos e por ser uma pessoa maravilhosa e um companheiro insubstituível. Agradeço ainda a tua preciosa ajuda com os programas Corel Draw e Photo Paint.

Às minhas queridas bolsistas Lígia L. Schwarz, Liege C. dos Santos e Cristiane S. Andreazza, pelo excelente desempenho e profissionalismo com que encararam todos esses anos de trabalho comigo. Vocês fizeram uma enorme diferença, muito obrigada.

Aos meus orientadores, professor Renar J. Bender e Rinaldo P. dos Santos, pelos conselhos, pela amizade e incentivo ao longo do meu trabalho.

Aos amigos, colegas e professores do Laboratório de Anatomia Vegetal, por toda ajuda e companheirismo, em especial a Juliana Troleis, pelo constante apoio e excelente companhia.

Aos meus queridos colegas de pós-graduação, pelo companheirismo, troca de idéias e saudáveis discussões com chimarrão na sala dos alunos. Sou grata a todos vocês, os que já não estão, e os recém chegados, por poder aprender com os trabalhos de todos, e com as dúvidas de vocês em relação ao meu trabalho. Em especial agradeço ao meu colega e amigo Mateus P. Gonzatto pelos conselhos e ajuda na parte das análises estatística. Agradeço as colegas Loana, Viviane e Leosane pela ajuda com a obtenção das maçãs para meus experimentos, bem como pelo companheirismo e amizade.

À Granja Andreazza e à Ecocitros pela doação dos frutos para os meus experimentos.

À CAPES pela bolsa concedida.

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E ANATÔMICAS CAUSADAS POR DANOS MECÂNICOS DURANTE O BENEFICIAMENTO DE MAÇÃS E FRUTOS CÍTRICOS¹

Autora: Cândida Raquel Scherrer Montero

Orientador: Renar João Bender

Co-orientador: Rinaldo Pires dos Santos

RESUMO

Danos mecânicos têm sido responsáveis por grandes perdas de produtos frescos colhidos além de reduzirem a longevidade destes produtos. Este trabalho teve por objetivo medir as forças ocorrentes no embalamento de maçãs e laranjas e identificar os pontos de ocorrência de forças prejudiciais aos frutos. Objetivou-se ainda avaliar os efeitos dos danos mecânicos em maçãs e frutos cítricos submetidos a danos mecânicos de impacto e compressão. Para medir as forças na primeira parte deste estudo foi utilizada uma esfera instrumentada equipada com extensômetros. A esfera foi colocada substituindo um fruto durante os procedimentos de embalamento das maçãs e dos cítricos. Quatro estabelecimentos de embalamento foram avaliados. No laboratório, maçãs das cultivares Fuji Suprema e Royal Gala, laranjas cultivar Valência, limas ácidas Tahiti, tangor Murcott, tangerinas cultivar Rainha, Montenegrina, Michal e Ponkan foram submetidas a impactos (quedas de 10, 20, 40, 80, 100 ou 160 cm) e compressões (10, 20, 40, 80, 160 ou 330 N). As variáveis analisadas na segunda parte deste estudo foram: cor da casca, incidência de podridões e distúrbios fisiológicos, perda de massa fresca, acidez titulável, sólidos solúveis totais, teor de ácido ascórbico, desaparecimento do amido na polpa, firmeza de polpa, vazamento de eletrólitos, extravasamento do óleo e do suco durante a aplicação dos tratamentos, produção de CO₂ e análise da anatomia dos tecidos danificados e sadios. Forças de compressão e impacto ocorrem durante o embalamento e transporte de maçãs e cítricos. Nas maçãs estas podem chegar a 26 Kg no transporte com empilhadeira ou paleteira, e nos cítricos as forças mais expressivas ocorrem durante o embalamento em caixas e sacola, com forças de 9,35 e 6,30 Kg, respectivamente. Os estudos dos efeitos dos danos mecânicos indicam que ocorreram modificações fisiológicas e qualitativas internas e externas nas maçãs e nos cítricos em função da danificação, e que estas respostas variam para espécie em estudo e em função da intensidade dos tratamentos. Destes resultados destacam-se a modificação do sabor e do conteúdo nutricional em frutos cítricos, bem como a elevada susceptibilidade da tangerina 'Ponkan' a oleocelose quando submetida a compressões. As maçãs danificadas mostram diminuição na firmeza de polpa, e alterações significativas na região injuriada por dano mecânico, onde ocorre inibição da quebra do amido em açúcares e danos às membranas celulares. Danos mecânicos provocam incrementos na respiração celular e avanço nos processos de degradação, indicando avanço na senescência de maçãs e frutos cítricos.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (142p.) Outubro, 2010.

FISIOLOGICAL AND ANATOMICAL ALTERATIONS CAUSED BY MECHANICAL DAMAGE DURING APPLE AND CITRIC FRUIT HANDELING¹

Author: Cândida Raquel Scherrer Montero

Advisor: Renar João Bender

Co-Advisor: Rinaldo Pires dos Santos

ABSTRACT

Mechanical damages are held responsible for high losses of fresh produce, besides the effects on reduction of shelf life. The objective of the present work was to measure the forces during packing of apples and oranges and to identify the points of occurrence of the most harming forces to the fruit. It was also intended to evaluate the effects of mechanical damage on apples and citrus fruits submitted to impacts and compressions. The first part of this work consisted of measurements of forces with an instrumented sphere (IS) equipped with extensometers; the IS was placed as a substitute for a fruit during the packaging procedures. Four packing houses were evaluated. In the laboratory, 'Fuji Suprema' and 'Royal Gala' apples, 'Valência' oranges, 'Tahiti' limes, 'Murcott' tangor, 'Rainha', 'Montenegrina', 'Michal' and 'Ponkan' tangerines were submitted to impacts (10, 20, 40, 80, 100 or 160 cm) and compression (10, 20, 40, 80, 160 or 330 N) treatments. The following variables were analysed: skin color, decay and physiological disorders incidence, fresh weight loss, titratable acidity, total soluble solids, ascorbic acid content, mesocarp starch hydrolysis, flesh firmness, electrolyte leakage, oil and juice leakage during treatment applications, CO₂ production, and anatomical analysis of the injured and healthy tissue. Wide-ranging compression and impact forces occur during the packaging and transport procedures of apples and citrus fruits. On apples forces up to 26 Kg during transport with a hydraulic hauler were determined. On citrus fruit the most significant forces were determined during packaging into wooden boxes (9,35 kg) or into 10kg bags (6,3 Kg). The studies of the effects of mechanical damage indicate that there are physiological and internal and external qualitative modifications taking place on apples and citrus related to the injury and that these responses vary within species and the intensity of the treatment. Some of these results are very meaningful: the modifications on flavor and nutritional value of the citrus fruit, as well as the great susceptibility of 'Ponkan' tangerines to oleocellosis when submitted to compression forces. As for the injured apples, reduction of flesh firmness and significant changes on the injured area by mechanical damage were observed as well as inhibition of starch breakdown and membrane damage. Mechanical damage triggers increases in respiratory rates and enhances the degradation processes indicating senescence processes of apples and citrus fruit.

¹ Doctoral Thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (142p.) October, 2010.

SUMÁRIO

Página

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 A cultura da macieira.....	5
2.2 A cultura dos cítricos	6
2.3 Danos mecânicos.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Medições das forças envolvidas no manuseio de cítricos e maçãs	28
3.1.1 Sistema de aquisição de dados	28
3.1.2 Forma de aquisição de dados	29
3.2 Efeitos dos danos mecânicos aplicados em laboratório.....	32
3.2.1 Material experimental.....	32
3.2.2 Tratamentos de compressão e impacto.....	34
3.2.3 Variáveis avaliadas	36
3.3 Delineamento experimental e análise estatística	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Diagnóstico das forças durante o manuseio pós-colheita de frutos cítricos e maçãs	41
4.1.1 Forças envolvidas no manuseio de laranjas	41
4.1.2 Forças envolvidas no embalamento de maçãs.....	60
4.2 Efeitos de danos mecânicos em frutos cítricos e maçãs.....	67
4.2.1 Efeitos de danos mecânicos em maçãs.....	67
4.2.2 Efeitos de danos mecânicos em frutos cítricos.....	96
5 CONCLUSÕES	123
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Local, detalhamento das pilhas e calibres avaliados no embalamento de maçãs e data das avaliações	31
2. Procedimentos avaliados em cada estabelecimento de embalamento de cítricos, observações da medição e data da medição.....	32
3. Forças máximas recebidas pela esfera instrumentada em três eixos durante a descarga de frutos da caçamba do caminhão em dois estabelecimentos. Porto Alegre, 2007.	43
4. Forças máximas recebidas pela esfera instrumentada em três eixos durante a descarga nos terminais de seleção. Porto Alegre, 2007	47
5. Forças máximas recebidas pela esfera instrumentada em três eixos durante o ensacamento do fruto, esfera instrumentada posicionada no fundo da sacola. Porto Alegre, 2007	49
6. Forças máximas recebidas pela esfera instrumentada em três eixos durante o enchimento de caixas, esfera instrumentada posicionada no fundo da caixa. Porto Alegre, 2007.	52
7. Forças máximas recebidas pela esfera instrumentada em três eixos durante o enchimento de caixas de madeira, esfera posicionada abaixo da caixa. Porto Alegre, 2007.	54
8. Forças máximas recebidas pela esfera instrumentada em três eixos na montagem de uma pilha de caixas, esfera posicionada no fundo da caixa. Porto Alegre, 2007.	55
9. Forças medidas pela esfera instrumentada durante a formação de uma pilha de 56 caixas (oito camadas) de maçãs calibre 135 e 90, local 1. Porto Alegre, 2007.....	63
10. Forças medidas pela esfera instrumentada durante a formação de uma pilha de 49 caixas (sete camadas) de maçãs calibre 70, local 2. Porto Alegre, 2007.....	64
11. Forças detectadas pela esfera instrumentada durante a movimentação da pilha de 56 caixas (oito camadas) de maçãs calibre 135 e 90 por empilhadeira, local 1. Porto Alegre, 2007.	65
12. Forças detectadas pela esfera instrumentada durante a movimentação da pilha de 49 caixas (sete camadas) de maçãs calibre 70 com a paleteira, local 2. Porto Alegre, 2007.	65

13. Curvas de regressão e coeficientes de determinação (r^2) para variável perda de massa fresca em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009. . 102
14. Correlação entre o percentual de frutos com oleocelose e o percentual de frutos com sintomas de podridão em tangerinas cultivar Ponkan. Porto Alegre, 2009..... 105
15. Coloração do pericarpo representada pela luminosidade (L)*, ângulo de cor ou matiz da cor (hue) e cromaticidade (chroma) em tangerinas 'Ponkan' com sintoma de oleocelose e sadias. Porto Alegre, 2008. 109
16. Avaliação das seções longitudinais do pericarpo de frutos cítricos: área média das cavidades de óleo, distância média da superfície e densidade média de cavidades de óleo. Porto Alegre, 2009. 111
17. Avaliação das seções transversais do pericarpo de frutos cítricos: densidade, área e perímetro médios das cavidades de óleo. Porto Alegre, 2009. 111
18. Curva de regressão e coeficiente de determinação (r^2) para variáveis acidez titulável e ratio em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009. . 119
19. Curva de regressão e coeficiente de determinação (r^2) para variável teor de vitamina C em em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009. . 122

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Esfera instrumentada com três anéis concêntricos e com extensômetros capazes detectar forças em três eixos ortogonais. Fonte: Müller e Bender. Porto Alegre, 2006.	29
2. Fluxograma das etapas de manuseio em um packing house de citros. Procedimentos avaliados com auxílio da esfera instrumentada (*).	30
3. Posicionamento da esfera instrumentada na caixa de maçãs na instalação dos ensaios (a) e imagem de um palete de 8 camadas de caixas tipo internacional (b). Vacaria, 2007.	31
4. Sistema de aplicação de compressões constituído por um levante hidráulico, duas placas acrílicas e a esfera instrumentada conectada a um computador (a) detalhe da aplicação do tratamento em uma maçã (b). Porto Alegre, 2008.	36
5. Queda de frutos da caçamba do caminhão para esteira. São Sebastião do Caí, 2007.	42
6. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a queda de laranjas da caçamba do caminhão. Porto Alegre, 2007.	42
7. Silo de madeira com capacidade para seis toneladas utilizado no armazenamento de laranjas para consumo de mesa (a), interior do silo (b), parte inferior do silo e frutos comprimidos (c e d). São Sebastião do Caí, 2007.	44
8. Forças registradas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante o enchimento do silo de armazenamento. Porto Alegre, 2007.	45
9. Posicionamento da esfera instrumentada para medição de forças de impacto durante o procedimento de seleção. São Sebastião do Caí, 2007.	46
10. Forças registradas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a queda de laranjas no terminal de seleção. Porto Alegre, 2007.	46
11. Posicionamento da esfera instrumentada (a), enchimento da sacola de laranjas de 20 Kg (b), procedimento de ajuste final da sacola antes do fechamento (c). São Sebastião do Caí, 2007.	48
12. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante o enchimento da sacola de 20 Kg. Porto Alegre, 2007.	49

13. Procedimentos de embalagem em caixas de capacidade de 20 Kg, estabelecimento 1 (a), e de 15 Kg, estabelecimento 2 (b). São Sebastião do Caí, 2007.....	50
14. Forças registradas pela esfera instrumentada no eixo x durante o enchimento de caixa plástica (20 Kg), estabelecimento 1. Porto Alegre, 2007.....	51
15. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a seleção de frutos no cocho de seleção. Porto Alegre, 2007.....	53
16. Forças registradas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a formação de um pallet de quatro camadas com caixas desencontradas. Porto Alegre, 2007.....	55
17. Empilhamento de caixas de laranjas de 15 Kg (a), caixas desencontradas (b). São Sebastião do Caí, 2007.....	55
18. Forças registradas nos três eixos x, y e z da esfera instrumentada durante a formação de um palete de 56 caixas (8 camadas) com maçãs de calibre 135. Esfera posicionada na camada inferior da pilha. Porto Alegre, 2007.....	61
19. Sobre-enchimento de caixas. Fonte: Renar João Bender. Caxias do Sul, 2008.....	62
20. Movimentação da pilha de 56 caixas de maçãs de calibre 135 com uma paleteira. Esfera posicionada na camada inferior da pilha, eixo X. Setas pontilhadas indicam suspensão da pilha e setas inteiras descarga da pilha. Porto Alegre, 2007.....	65
21. Lesões decorrentes de danos mecânicos em maçãs cultivar Fuji Suprema, decorrentes de: impactos a uma altura de 40 cm (a) e compressões de 125 N (b). Setas indicam local da lesão. Porto Alegre, 2008.....	68
22. Extravasamento do suco resultante do tratamento de impacto em maçãs 'Fuji Suprema'. Seta indica local de liberação do suco. Porto Alegre, 2009...	69
23. Extravasamento de suco resultante de impactos em maçãs cultivar Fuji Suprema em função da altura de queda. Porto Alegre, 2009.....	69
24. Produção de CO ₂ em maçãs 'Fuji Suprema' (a e c) e 'Royal Gala' (b e d) submetidas a danos mecânicos por impacto (a e b) e compressão (c e d) ao longo de sete dias. Porto Alegre, 2009.....	70
25. Produção de CO ₂ em maçãs 'Fuji Suprema' e 'Royal Gala' em função da intensidade do dano mecânico por impacto (a) e compressão (b). Porto Alegre, 2009.....	71
26. Perda de massa fresca em maçãs em maçãs 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2009.....	74
27. Firmeza de polpa em maçãs 'Royal Gala' submetidas a compressões (a), impactos (b), e em maçãs 'Fuji Suprema' submetidas a compressões (c) e impactos (d). Porto Alegre, 2009.....	75
28. Luminosidade da cor (a e b), valor do ângulo hue (c e d) e valor da cromaticidade (e e f) da cor na coloração de recobrimento do epicarpo (a, c	

e e) e na coloração de fundo (b, d e f), acessados no tecido sadio e lesionado de maçãs 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' submetidos a danos mecânicos de impacto. Porto Alegre, 2009.....	79
29. Luminosidade da cor (a e b), ângulo hue da cor (c e d) e cromaticidade da cor (e e f) na coloração de recobrimento do epicarpo (a, c e e) e na coloração de fundo (b, d e f) em maçãs 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' submetidas a compressões. Porto Alegre, 2009.....	80
30. Teores de acidez titulável, sólidos solúveis totais e ratio em maçãs 'Fuji Suprema' e 'Royal Gala' submetidas a compressões (a, c e e), impactos (b, d e f). Porto Alegre, 2009.	85
31. Índice iodo amido em maçãs 'Royal Gala' sete dias após tratamentos de impacto a uma altura de 80 cm e compressão a 120 N. Porto Alegre, 2009.	89
32. Marcação pelo teste iodo amido da área lesionada por impacto a uma altura de 80 cm (a) e compressão a 120 N (b) ao final de 15 dias a temperatura ambiente (24° C ± 2°C) em maçãs 'Royal Gala'. As barras indicam 1 cm. Porto Alegre, 2009.	90
33. Vazamento de eletrólitos em maçãs cultivar Royal Gala submetidas a danos mecânicos por impacto (a) e compressão (b). Porto Alegre, 2009.....	91
34. Seções longitudinais (a, b e c) e transversais (d e e f) de maçãs cultivar Gala Brookfield coradas com azul de toluidina. Tratamento testemunha (a e d), dano mecânico por compressão (b e e), e dano mecânico por impacto (c e f). Barras indicam 100 µm (a, b e c) 50 µm (d, e e f). Porto Alegre, 2008. ...	93
35. Seções transversais de maçãs cultivar Fuji Suprema coradas com azul de toluidina. Tratamento testemunha (a), dano mecânico por compressão (b), e dano mecânico por impacto (c). Barras indicam 50 µm (a, c) e 100 µm (b). Porto Alegre, 2008.	94
36. Reação de PAS (Ácido Periódico/Schiff) em seções transversais (a, b e c) e longitudinais (d, e, f, g, h e i) de maçãs 'Gala Brookfield' (a, b, c, d e e f) e 'Royal Gala' (g, h e i). Tratamento testemunha (a, d e g), tratamento de dano mecânico por compressão a 100 N (b, e e h) e de dano mecânico por impacto a 80 cm de altura (c, f e i). Barra igual a 100 µm para a, b, e, g, h e i e 200 µm para d, e e f. Presença de amido (b, h e i). Porto Alegre, 2008....	94
37. Seções transversais de maçãs cultivar Gala Brookfield coradas com calcofluor white e visualizadas em microscopia de fluorescência. Tratamento testemunha (a), dano mecânico de impacto (b) e de compressão (c). Barras indicam 50 µm (a e b) e 100 µm (c). Porto Alegre, 2008.	95
38. Produção de CO ₂ em tangor 'Murcott' (a e b), laranja 'Valência' (c e d), lima ácida 'Tahiti' (e e f) e tangerina 'Montenegrina' (g e h) submetidas a danos mecânicos por impacto (a, c, e e g) e compressão (b, d, f, h) ao longo de sete dias. Porto Alegre, 2009.	99

39. Produção de CO ₂ em função da intensidade dos danos mecânicos de compressão (a) e impacto (b) em tangor 'Murcott', tangerina 'Montenegrina', laranja 'Valência' e lima ácida 'Tahiti'. Porto Alegre, 2009..	100
40. Perda de massa fresca em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raínha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009.....	102
41. Incidência de frutos com podridão ao final de sete dias a 20° C ± 2°C após tratamentos de danos mecânicos de compressão (a) e impactos (b). Nos tratamentos de compressão 0=testemunha; 1= 31/30/15/15/10 N; 2=62,5/60/30/30/20 N; 3=125/90/60/60/40; 4=250/140/120/120/60 N para laranja 'Valência', tangerinas 'Michal', 'Raínha', 'Montenegrina' e 'Ponkan' respectivamente; e 5= 180N para tangerina 'Raínha'. Médias seguidas da mesma letra ou não identificadas por letras não diferem significativamente por Duncan (p<0,05). Porto Alegre, 2007 a 2009.	104
42. Tangerinas cultivar Ponkan submetidas a compressões de 60 N (a) e 40 N de força (b). Frutos com sintomas de podridão por <i>Penicillium digitatum</i> ocorrendo acima da lesão por oleocelose decorrente de dano mecânico. Porto Alegre, 2008.	105
43. Percentual de tangerinas cultivar Ponkan com sintomas de podridão e com oleocelose submetidas a danos mecânicos de compressão. Porto Alegre, 2009.....	105
44. Luminosidade da cor (a e b), valor do ângulo hue (c e d) e valor da cromaticidade (e e f) da cor no pericarpo em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raínha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a, c e e) e impactos (b, d e f). Os valores de luminosidade, chroma e hue para lima ácida 'Tahiti' são lidos no eixo Y da direita. Porto Alegre, 2007 a 2009.....	108
45. Tangor 'Murcott' (a) submetido a 30 N de compressão e tangerina 'Ponkan' (b) submetida a tratamento de compressão a 60 N. Porto Alegre, 2008 e 2009.....	108
46. Frutos com extravasamento do óleo no pericarpo após aplicação do tratamento de compressão em função da intensidade dos tratamentos em laranja Valência, lima ácida 'Tahiti', tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raínha' e 'Ponkan'. Porto Alegre, 2008 e 2009.	110
47. Cavidades secretoras de óleo no pericarpo de frutos cítricos em seção transversal: tangerina 'Michal' (a e b), laranja 'Valência' (c e d), lima ácida 'Tahiti' (e e f), tangerina 'Ponkan' (g e h) e tangerina 'Rainha' (i). Figuras a, c, e, g e i barras = 1000 µm e figuras b, d, f e h barras = 500 µm. Porto Alegre, 2008 a 2009.....	112

48. Cavidades secretoras de óleo no pericarpo de frutos cítricos em seção longitudinal: tangerina 'Michal' (a e b), tangerina 'Rainha' (c e d), laranja 'Valência' (e e f), lima ácida 'Tahiti' (g e h) e tangerina 'Ponkan' (i e j). Figuras a, c, e, g e i barra = 1000 µm e figuras b, d, f, h e j barra = 500 µm. Porto Alegre, 2008 a 2009. 113
49. Teores de acidez titulável, sólidos solúveis totais e ratio em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Rainha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a, c e e) e impactos (b, d e f). Porto Alegre, 2007 a 2009..... 118
50. Teor de vitamina C em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Rainha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Os teores de vitamina C da tangerina 'Michal', tangor 'Murcott' e laranja 'Valência' estão representados no eixo Y da direita e o das demais espécies no eixo Y da esquerda. Porto Alegre, 2007 a 2009. 121

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura atual busca produção aliada à qualidade de seus produtos, principalmente quando se trata de mercados externos. Segundo Andrigueto e Kososki (2005), o cenário internacional sinaliza que cada vez mais será valorizado o aspecto qualitativo na fruticultura. É usual dizer-se que em pós-colheita dificilmente há melhoria da qualidade de um produto colhido, no máximo é possível manter sua qualidade por algum período de tempo. Como frutas frescas são tecidos vivos e, por esta razão, estão sujeitas a mudanças contínuas após a colheita, sabe-se que estas mudanças não podem ser paradas, mas podem ser reduzidas até certo limite (KADER, 1992), é neste princípio que atuam as tecnologias pós-colheita. Assim, a qualidade de um produto colhido é passível de redução durante o processamento e manuseio pós-colheita e são muitos os fatores que reduzem a qualidade.

Colheita em estágio de maturação inadequado, poucos cuidados no manuseio, na colheita e durante as operações de embalagem e transporte, descuido quanto ao controle sanitário, retardos no resfriamento ou resfriamento inadequado, armazenagem acima ou abaixo da temperatura ótima para o produto, falta de umidade relativa apropriada e exposição ao etileno para produtos sensíveis são alguns condicionantes que influenciam na qualidade. Cada um

destes fatores, isoladamente, ou em conjunto, contribuirá para a redução da qualidade dos produtos hortícolas. Além disso, deve-se considerar que a perda de qualidade de produtos perecíveis é cumulativa e cada incidente durante o manuseio irá reduzir a qualidade para o consumidor final. É consenso entre muitos pesquisadores que destes, dois são os fatores mais importantes para manter a qualidade dos vegetais colhidos: a injúria ou dano mecânico e a temperatura. A injúria mecânica foi determinada pelo USDA como sendo a causa que lidera a perda de qualidade em nível de atacado e varejo para alguns produtos hortícolas como: alface, batata e moranguinho (SARGENT *et al.*, 1995). As perdas advindas dos danos mecânicos podem ser de ordem primária, onde o produto é descartado, como por deterioração, pelo rompimento do fruto ou ainda modificações externas perceptíveis o suficiente para que o mesmo seja descartado. As perdas podem ser ainda de ordem secundária, resultantes da alteração do metabolismo e posteriores perdas qualitativas, neste caso, o produto é depreciado perdendo em parte seu valor comercial e/ou características de interesse ao consumidor.

Kays (1991) classifica a injúria mecânica como mais um estresse ao qual o fruto está exposto após a colheita. Para este autor, o estresse mecânico é um fator dominante nas fases de manuseio pós-colheita, transporte, e armazenagem. Durante esse período, estresses mecânicos produzem uma gama de injúrias físicas aos produtos colhidos que reduzem o seu valor comercial. De modo geral, os danos mecânicos aumentam a susceptibilidade às doenças e à perda de água e, com frequência, encurtam significativamente a longevidade potencial dos produtos hortícolas.

Em tomates cultivados na Florida e na Califórnia (EUA), por exemplo, a causa primária de perdas são doenças causadas por patógenos. No entanto, a maioria dos organismos que causam podridões requer uma porta de entrada para infecção ocorrer, ou seja, minimizar qualquer tipo de injúria também evitará a entrada de patógenos que requerem ferimentos para penetrar no tecido, e assim as perdas subsequentes.

Uma maneira de se avaliar o problema da ocorrência de danos mecânicos é a quantificação de sua ocorrência durante o manuseio pós-colheita, fazendo amostragens de produtos hortícolas em cada ponto de interesse da cadeia para identificar aqueles locais com mais problemas. Este tipo de abordagem permite quantificar os danos mecânicos, mas não permite saber a magnitude das forças capazes de provocá-los, ou seja, não permite medir as forças de impacto ou compressão sobre os frutos nem identificar o momento exato em que estas ocorrem para sugerir mudanças mais precisas.

Atualmente há uma maneira bastante eficiente de medir estes estresses através do uso de esferas instrumentadas. A esfera instrumentada é um equipamento com dimensões semelhantes aos frutos que contém em seu interior componentes eletrônicos que identificam e quantificam forças. Com a esfera instrumentada é possível fazer um bom diagnóstico em tempo real do que efetivamente ocorre durante o manuseio pós-colheita.

No entanto, para poder propor alternativas ao embalador é preciso convencê-lo de que é necessário mudar o manuseio vigente por outro, o que muitas vezes requer algum transtorno de adaptação e também pode implicar em algum custo. Neste sentido, são necessários experimentos que comprovem

modificações significativas nos produtos colhidos em função dos estresses por dano mecânico ocorrentes na prática.

Hipótese científica: o manuseio incorreto durante a cadeia de pós-colheita provoca danos mecânicos em frutos que resultam em alterações metabólicas e anatômicas.

Desta forma, este trabalho teve por objetivos quantificar as forças envolvidas no embalamento de maçãs e frutos cítricos e identificar os pontos onde ocorrem as forças mais significativas capazes de provocar danos mecânicos nestas espécies; quantificar as alterações sofridas pelos frutos em função de danos mecânicos de impacto e compressão em termos de: respiração celular, ocorrência de distúrbios fisiológicos e podridões, sabor, teores de vitamina C, firmeza de polpa e qualidade interna e externa dos frutos. E finalmente este trabalho objetivou avaliar o tecido vegetal lesionado por danos mecânicos de impacto e compressão e as principais modificações anatômicas decorrentes da danificação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da macieira

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) pertence à família das Rosaceae, subfamília Maloidae (Pomoidae). Atualmente, a cultura está distribuída nos Estados do RS, SC, PR, SP, MG e BA, sendo Santa Catarina o maior produtor, e o Rio Grande do Sul o segundo produtor nacional (Petri & Leite, 2008). A atividade ocupa uma área aproximada de 34 mil hectares e envolve cerca de 1900 produtores em SC (AMAP, 2006) e 654 no RS (AGAPOMI, 2008). O município de Vacaria é o maior produtor de maçã do RS e tem sua base econômica voltada à pomicultura. O setor é um importante empregador e já representa um dos mais importantes segmentos do agronegócio da fruticultura brasileira. O Brasil passou a ser auto-suficiente na produção de maçãs no ano de 1998, quando as exportações ultrapassaram as importações (Petri & Leite, 2008).

As cultivares mais plantadas no Brasil são a Gala e a Fuji (Kreuz *et al.*, 2006). A primeira cultivar tem sua colheita em fevereiro e março e a segunda é colhida em março e abril. Além do período de colheita, as duas principais cultivares se diferenciam pelo aspecto da armazenagem, sendo a cultivar Fuji a que apresenta melhor desempenho (Kreuz & Argenta, 2003).

2.2 A cultura dos cítricos

No ano de 2009 a produção nacional de laranjas foi de 18.340.000 t, ocupando uma área de 833.667 ha (IBGE, 2010), sendo o Brasil o maior produtor mundial deste fruto. A laranjeira é uma planta de folhas perenes que pertence à família das Rutáceas. Existem duas espécies de laranjeiras, as doces (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) e as azedas (*Citrus aurantium* Lineu).

Segundo a classificação hortícola a laranja 'Valência' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) é classificada como uma laranja comum ou do mediterrâneo. Esta é a cultivar mais importante no mundo e a mais plantada no Sul do Brasil (Schwarz, 2006). Os frutos são esféricos com casca de coloração laranja e polpa de mesma cor. Esta cultivar apresenta alta porcentagem de suco e boa relação entre açúcares totais e acidez total.

A produção nacional de tangerinas foi de 1.272.979 t no ano de 2007 ocupando a posição de terceiro maior produtor de tangerinas no mundo, atrás apenas da China e da Espanha. O Rio Grande do Sul foi o terceiro maior produtor nacional de tangerinas no ano de 2006 (IBGE, 2008).

Tangerinas, também pertencentes à família das Rutáceas, apresentam duas principais classificações, a de Swingle e a de Tanaka, sendo a última preferida, pois engloba um maior número de espécies (Swingle & Reece, 1967 apud Schwarz & Brugnara, 2009). Segundo Tanaka há dois grupos de tangerinas: Anisodora e Citriodora. No segundo grupo estão as tangerinas *Citriodora reticulata* e *C. deliciosa* que englobam uma série de variedades conhecidas e muito cultivadas como a tangerina Ponkan (*C. reticulada*) e a Montenegrina (*C. deliciosa*).

Em nível nacional, 60% das tangerinas produzidas são da cultivar 'Ponkan' sendo esta considerada a "rainha das tangerinas" (CCSM, 2001). A 'Ponkan' também é a tangerina mais cultivada no mundo (Schwarz, 2009). Esta tangerina se caracteriza por apresentar frutos grandes (7,5 - 8,5 cm de diâmetro), de formato achatado, e costuma apresentar um pescoço na região peduncular com o ápice deprimido. A casca é espessa e com abundante quantidade de óleo essencial quando comparada à das mexericas. Além disso, é pouco aderida aos gomos, facilitando o descasque, mas prejudicando sua conservação.

A tangerina 'Montenegrina' aparece na classificação hortícola como uma mexeriqueira ou tangerineira do Mediterrâneo (*C. deliciosa*) e é a variedade mais cultivada dentre as tangerineiras no estado do Rio Grande do Sul (Schwarz & Brugnara, 2009). Esta tangerina caracteriza-se por apresentar frutos achatados, de casca fina pegada aos gomos e fácil de descascar, além de apresentar um pequeno pescoço na região peduncular. A 'Montenegrina' é uma variedade de boa conservação em câmara fria (Belloto, 1989 apud Schwarz, 2009).

A tangerina 'Rainha' (*C. deliciosa*) é uma mutação da tangerina 'Montenegrina' sendo mais precoce que esta última. Esta tangerina apresenta menos sementes e a frutificação efetiva é menor, ou seja, carrega menos que a tangerina 'Montenegrina' (Bender, 2010).

As tangerinas das cultivares Murcott e Michal são híbridos sendo, a primeira um tangor (híbrido de tangerineira com laranjeira) oriundo de genitores desconhecidos, e a segunda um híbrido natural entre as tangerineiras 'Clementina' e 'Dancy' (Schwarz & Brugnara, 2009). Segundo os mesmos

autores, em termos hortícolas e comerciais, os híbridos de tangerineiras, os tangoreiros e tangeleiros são tratados em geral como tangerineiras.

O tangor 'Murcott' tem frutos de tamanho entre 6,5 e 7,5 cm de diâmetro e formato achatado na zona peduncular e estilar, com casca fina e lisa muito aderida aos gomos e de coloração laranja (Schwarz & Brugnara, 2009). Esta variedade é importante economicamente no estado de São Paulo.

A tangerineira 'Michal' produz frutos de tamanho entre 6,5 e 7,5 cm de diâmetro, são moderadamente fáceis de descascar e com coloração avermelhada. Os frutos produzem elevado teor de suco de boa qualidade (Schwarz & Brugnara, 2009).

O popular limão 'Tahiti' pertence à classificação hortícola de limeira ácida (*Citrus latifolia* Tanaka) (Hodgson, 1967 apud Koller, 1994). Seus frutos, considerados monotípicos ou com pouca variação morfológica em distintos locais, apresentam tamanho grande, formato oval, oblongo, levemente elíptico e desprovido de sementes. A ausência de sementes ocorre porque o fruto é um híbrido triplóide ($3n = 27$) e produz pólen e óvulos inviáveis e frutos paternocárpicos. A casca da lima ácida Tahiti é fina, de coloração amarela pálida quando os frutos estão maduros, sendo a cor e a textura importantes características para a comercialização. O mercado prefere frutos firmes e de coloração verde-escura (Junqueira, 2009).

2.3 Danos mecânicos

Os danos mecânicos são definidos como deformações plásticas, rupturas superficiais e destruição dos tecidos vegetais provocados por forças externas. Adicionalmente, levam a modificações físicas (danos físicos) e/ou alterações

fisiológicas, químicas e bioquímicas que modificam a cor, o aroma, o sabor e a textura dos vegetais (Mohsenin, 1986). Os danos mecânicos são considerados causas primárias de perdas após a colheita (Chitarra & Chitarra, 1990), e são dois os prejuízos advindos dos danos mecânicos: as perdas consideradas primárias e as secundárias. As perdas primárias levam ao descarte do produto gerando desperdício e prejuízos diretos à cadeia produtiva sendo, estes os prejuízos mais evidentes relacionados aos danos mecânicos. As perdas secundárias estão relacionadas às modificações que não levam necessariamente ao descarte imediato do produto, mas o alteram significativamente do ponto de vista qualitativo, o que pode gerar descontentamento por parte da cadeia produtiva e do consumidor.

Quantificações de perdas que geram descarte são escassas, no entanto, há estimativas que os valores passam de 20% ao longo da cadeia pós-colheita (Bender, 2007). De acordo com dados da IBRAF (2005), estas perdas para frutas podem chegar a 40% correspondendo a perdas de 10 milhões de t.ano⁻¹. Os danos mecânicos estão presentes em 77% do total de perdas em maçãs, 74,3% em pêras, 43,2% em nectarinas e 53,7% em pêssegos (Chitarra & Chitarra, 1990).

As perdas variam em função da susceptibilidade dos produtos ao dano. Por essa razão, há trabalhos de quantificação dos danos em cada espécie e cultivares dentro da mesma espécie. Para cenouras, Lana e colaboradores (2002) quantificaram as principais causas do descarte do produto fresco e concluíram que os danos mecânicos vêm em primeiro lugar, sendo responsáveis por 37,4% das perdas que ocorrem nas cenouras colhidas. Em pêssegos, Martins *et al.*

(2006) avaliaram duas safras no estado de São Paulo em amostragem estratificada por cultivar e observaram que os danos pós-colheita variaram de 4,9 a 44,5% dos frutos amostrados e que o nível de dano esteve relacionado unicamente à procedência do fruto. Além disso, o trabalho constatou correlação entre a frequência de frutos com dano mecânico e a frequência de frutos com sintomas de doenças nas diferentes amostras ($r=0,52$), o que, segundo os autores, já era esperado, uma vez que a maioria dos patógenos pós-colheita coloniza os frutos através de ferimentos. Em goiabas, Martins e colaboradores (2007) quantificaram a incidência de danos mecânicos no mercado de São Paulo e constataram que 63% dos frutos apresentavam algum tipo de injúria mecânica. Mesmo com alguns trabalhos que quantificaram os danos mecânicos que ocorrem na prática, ainda faltam informações a respeito de muitas espécies de importância para a fruticultura nacional. Este tipo de estudo é importante para dimensionar os prejuízos advindos dos danos mecânicos vinculados à cadeia pós-colheita, mas não é a única alternativa para diagnosticar o que ocorre durante o manuseio de produtos frescos colhidos.

Outra maneira eficiente de estudar danos mecânicos é medir as forças que provocam estes danos na prática, para isso, faz-se uso de dispositivos instrumentáveis portáteis ou esferas instrumentadas.

Com relação ao uso de instrumentos portáteis para detecção de impactos durante o processamento pós-colheita de frutas, pode-se dividir em duas categorias distintas, os instrumentos capazes de detectar acelerações e os instrumentos capazes de detectar compressões (Bollen, 2006). Segundo Müller (2008 a e b), os instrumentos compostos de sensores de aceleração são

utilizados para quantificar os impactos sofridos por frutas durante a seleção e o transporte. O equipamento mais amplamente utilizado é o *Impact Recording Device* (IRD), desenvolvido pela Universidade de Michigan (Zapp, 1990). Ainda de acordo com Müller (2008), equipamentos com acelerômetros são capazes de detectar impactos, funcionando no modo dinâmico, e caso se deseje medir forças estáticas de compressão, outro equipamento é necessário. Müller (2008) propôs o uso de extensômetros para medir compressões, os quais são sensores de deformações mecânicas baseados em transdutores que tem resistência elétrica variável de acordo com a deformação mecânica, compressão ou tração que sofrem.

Muitos trabalhos avaliaram as forças durante o manuseio de frutos colhidos utilizando acelerômetros, tais como: níveis de impacto em frutos cítricos (Ferreira *et al.*, 2006b), impactos no beneficiamento de tomates (Ferreira *et al.*, 2006 e 2009), detecção de pontos críticos no beneficiamento de batatas (Ferreira & Netto, 2007), avaliação de danos por impacto no beneficiamento de maçãs (Brown *et al.*, 1990), entre outros. Por utilizar acelerômetros, a maior parte dos trabalhos encontrados na literatura avalia danos mecânicos de impacto. Trabalhos que relatam diagnósticos dos danos provocados por compressão são muito menos comuns. Recentemente, Luengo *et al.* (2010) avaliaram a compressão que ocorre em tomates dentro de caixas tipo 'k', e para isso os pesquisadores utilizaram uma caixa com uma balança posicionada no fundo da mesma aliada a uma célula de carga hidráulica.

Os trabalhos com danos mecânicos são geralmente de quatro tipos: os que avaliam e quantificam as perdas decorrentes do dano, os que investigam as

forças envolvidas durante o manuseio, capazes de provocar danos mecânicos, os que estudam a predisposição dos frutos aos efeitos de danos mecânicos e, por último, aqueles que investigam os efeitos dos danos mecânicos nos produtos colhidos. Neste último caso, geralmente são realizados estudos em condições de laboratório visando reproduzir a dano recorrente na prática e investigar as modificações na fisiologia e/ou qualidade externa e interna dos frutos danificados.

A injúria mecânica é uma das fontes mais sérias de perda de qualidade durante o período pós-colheita. Ferimentos causam aumento da taxa de respiração e produção de etileno e estabelecem sítios de entrada para microorganismos que causam podridão (Kays, 1991). Há fatores pré-colheita que são fontes de injúria mecânica em tecidos de plantas como granizo, rachaduras de crescimento, ou ferimentos por insetos. No contexto da pós-colheita são particularmente importantes as injúrias que ocorrem da colheita até a utilização final. As injúrias podem ocorrer a qualquer momento na cadeia pós-colheita. Em maçãs, as perfurações no fruto aumentam progressivamente a medida em que o produto se move do pomar (26%), para o packinghouse (30%), para o varejo (36%), e para o depósito de exposição (50%). Em algumas espécies (por exemplo: uvas, alface, maçãs e batatas) a injúria mecânica tem sido a causa primária de perdas (Ceponins *et al.*, 1973 apud Kays, 1991).

Em relação aos tipos de estresse mecânico existem três que são considerados os mais importantes: a fricção, o impacto e a compressão.

A fricção é o resultado do movimento do produto com um objeto adjacente podendo culminar em abrasão da superfície. Este tipo de dano ocorre durante o transporte onde irregularidades na pista de rolagem podem resultar em vibrações

que podem ser transmitidas ao produto. O principal problema ocorre em produtos carnosos como peras (Key *et al.*, 1982), por exemplo, onde a injúria induzida por fricção está geralmente limitada ao epicarpo e a algumas camadas de células circundantes. A superfície escurece rapidamente por processos enzimáticos de oxidação dos constituintes das células injuriadas. Já o estresse por impacto ocorre quando o produto sofre uma queda de uma altura suficiente para causar injúria. Em frutos com baixa resistência de polpa essa altura pode ser apenas de alguns poucos centímetros. A injúria associada a este tipo de dano é a machucadura. Com a machucadura, a injúria está restrita à parte interna do tecido e, em muitos produtos, pode apenas ser detectada como uma área encharcada após o descascamento. Com o tempo, a exposição do conteúdo interno das células danificadas ao ar nos espaços intercelulares resulta em sintomas típicos de escurecimento do tecido (Mattus *et al.*, 1959 apud Kays, 1991).

O impacto pode ainda causar colapso de segmentação ou separação do tecido em fragmentos, ou ainda colapso por deslizamento, onde células se rompem ou se separam por superfícies definidas dentro do tecido. Rachaduras ou divisão são comuns em tubérculos de batata, melancia, repolho, tomate, entre outros (Monhsenin, 1977).

A injúria induzida por compressão é frequentemente encontrada durante o manuseio, transporte e estocagem. Empilhar um produto em demasia é talvez a causa mais comum da compressão. A injúria envolvida neste caso pode ser a rachadura, como em tomates onde o diâmetro do fruto é expandido até o ponto de colapso; corte interno como descrito para batatas (Sherif, 1976 apud Kays, 1991); ou deformação permanente. Um estudo mostra que 33 a 60% dos pomelos

transportados dos Estados Unidos ao Japão chegaram seriamente deformados, sendo que a injúria ocorreu mais nos frutos localizados na base da carga (Hale & Smoot, 1973 apud Kays, 1991).

Os tecidos vegetais têm três componentes primários que determinam o seu comportamento mecânico (Pitt, 1982 apud Kays, 1991): as células do parênquima “per se”, a ligação intercelular entre células vizinhas e o espaço intercelular. A pressão de turgor e a força da parede celular controlam as propriedades mecânicas das células do parênquima. A pressão de turgor dentro da célula é modulada pelo movimento bidirecional da água através da membrana plasmática. O movimento da água permite o equilíbrio dos potenciais da água internos e intercelulares. Controlando ou reprimindo a extensão externa do protoplasma, está a parede celular, que é estruturalmente o componente único mais rígido da célula.

Para entender melhor como os danos por estresse mecânico ocorrem em tecidos de plantas, é importante examinar o que ocorre com a célula quando uma carga é aplicada. Inicialmente, a célula começa a mudar de formato, decrescendo as dimensões na direção da força. O conteúdo celular não se comprime, ou comprime-se muito pouco. Portanto, a mudança em formato altera a razão superfície-volume da célula aumentando sua pressão de turgor. Para equilibrar os potenciais da água interno e externo, a água deve mover-se para fora da célula para compensar o aumento da pressão de turgor. Se a magnitude do estresse é suficientemente baixa e por uma duração curta, a deformação do tecido, em sua maior parte, é elástica e com a recuperação da maioria das células e de seu formato original. Períodos mais longos de compressão resultam em maior fluxo

líquido de água e menor recuperação. Se a magnitude do estresse é grande o suficiente, a resistência da parede é excedida e a célula se rompe (Kays, 1991).

A união intercelular adiciona outra dimensão às propriedades mecânicas do tecido. As células vizinhas são unidas por pectinas: a lamela média. Fisicamente a lamela média é plástica por natureza, com as ligações de pectina permitindo às células mudarem de posição vagarosamente durante a compressão. Se o estresse por corte na lamela média exceder a sua força de coesão, as células separar-se-ão, mas não necessariamente ocorrerá o rompimento. Quando o desligamento ocorre, a separação plana usualmente procede até um ângulo de 45° na direção da força aplicada (Kays, 1991).

O espaço intercelular é também um importante componente das propriedades reológicas e de força do tecido. Parte da área entre células adjacentes não é lamela média, mas representa o espaço de ar e o fluido intercelular. Quando o espaço intercelular é suficientemente amplo, como em pêssego, este fornece espaço para reorientação de células quando comprimidas. Assim o volume do tecido pode mudar significativamente. Em produtos muito densos, como por exemplo, tubérculos de batata ou raízes de reserva de batata doce, o espaço intercelular é pequeno e existe pouca compressão do tecido (Kays, 1991).

Quando um tecido vegetal é submetido a estresses de fricção, impacto, ou compressão suficientemente elevados, este tecido sofre colapso mecânico. O colapso do tecido pode ocorrer por uma das quatro formas: clivagem, deslizamento, escoriação (machucadura ou 'bruising'), ou curvatura (Holt & Schoorl, 1982).

Clivagem ocorre quando o colapso acompanha a linha de máximo estresse por corte, deixando dois pedaços essencialmente intactos (Diehl *et al.*, 1980). Quando uma força de compressão resulta em um colapso acompanhando os planos a um ângulo de aproximadamente 45° em relação à direção da carga, as duas secções do tecido escorregam ou deslizam relativamente uma a outra. Este tipo de colapso é o deslizamento e já foi demonstrado em maçãs (Miles & Rehkugler, 1973 apud Kays, 1991) e em batatas (Diehl & Hamann, 1980).

No entanto, o modo de colapso mais comum em produtos colhidos é a escoriação ou machucadura. Este tipo de colapso ocorre quando as células se rompem expondo seu conteúdo interno ao ar e ocasionando oxidação enzimática que causa descoloração.

As plantas e as partes que as compõem variam amplamente em sua susceptibilidade aos danos mecânicos (Kays, 1991). Vários fatores interferem no nível de injúria causado por um dado estresse, como por exemplo: a cultivar, o grau de hidratação celular, o estágio de maturação, o peso e o tamanho do produto, as características da casca, e as condições ambientais como, por exemplo, temperatura do fruto, a orientação celular e do tecido no local do impacto; o formato do objeto causador do impacto; a energia com a qual o órgão choca-se com o objeto e o respectivo ângulo (Sargent, 1992; Miller, 2003).

Diferenças na susceptibilidade aos danos mecânicos podem ser substanciais mesmo entre cultivares. Por exemplo, em uma pesquisa realizada pelo Potato Marketing Board na Grã-Bretanha sobre danos mecânicos entre cultivares de batata, foram obtidas as seguintes diferenças para percentual de

danos: 13,3% na cultivar Golden Wonder para 36,7% na Kerrs Pink (Anon, 1974 apud Kays, 1991).

A firmeza da batata influencia marcadamente o grau de danos entre as cultivares. Quando os tubérculos são muito túrgidos, a suscetibilidade às rachaduras e cisão aumenta durante a colheita e o manuseio. Quando os tecidos estão mais flácidos eles são mais suscetíveis à mancha escura, uma desordem causada por ruptura celular induzida mecanicamente e subsequente descoloração por oxidação do aminoácido tirosina (Kays, 1991).

Estádio de maturação é também uma variável importante. Muitos frutos sofrem distintas mudanças de textura na medida em que amadurecem. O amolecimento da polpa aumenta grandemente o potencial para o surgimento de danos mecânicos. Assim muitas frutas para venda comercial são colhidas antes que alcancem a completa maturação. Pêssegos colhidos no estágio de vez sofrem significativamente menos escoriação do que aqueles de maturação mais avançada (Hung & Prussia, 1989).

A susceptibilidade ao dano mecânico aumenta com o aumento do tamanho e do peso do produto. Em alguns casos, pode estar relacionado parcialmente às diferenças de maturação. Sargent *et al.* (1992) observaram que a sensibilidade ao “bruising” interno ou machucadura aumentava preponderantemente em tomates maduros. Essa característica, entretanto, varia conforme a espécie. Resultados distintos foram encontrados para abacates da cultivar Hass, em que frutos menos maduros mostraram-se mais suscetíveis ao dano mecânico por impacto (Arpaia *et al.*, 1987).

A rigidez da casca e outras propriedades mecânicas são fatores importantes, governando diferenças no dano entre produtos e cultivares diferentes de uma mesma espécie. Por exemplo, a rigidez da casca do tomate é um fator crítico na resistência do fruto à rachadura (Little *et al.*, 1982). Ambos, o formato da superfície celular e a deposição de cutina parecem afetar a força da casca (Hankinson & Rao, 1979 apud Kays, 1991). Com tubérculos de batata, a espessura da periderme e a sua conformação modulam o grau de dano por abrasão durante a colheita e o manuseio (Wilkcockson *et al.*, 1980).

Condições ambientais como temperatura, umidade relativa, e concentração de oxigênio podem também alterar significativamente a resposta do fruto ao estresse mecânico. Pode ser por efeito direto nas propriedades mecânicas do tecido e/ou pelo desenvolvimento dos sintomas de injúrias depois do ferimento. O efeito da temperatura foi bastante estudado. Ferreira *et al.* (1995), determinaram aumento na incidência dos danos mecânicos em três alturas de queda em função de temperaturas mais baixas de morangos das cultivares Chandler, Oso Grande e Sweet Charlie. Crisosto *et al.* (1993) estudando cerejas determinaram que a temperatura do fruto abaixo de 10°C no momento do impacto aumentou significativamente o dano por machucadura para as quatro cultivares testadas. O aumento da temperatura durante o manuseio pós-colheita reduziu a quantidade de machucados visíveis em maçãs cultivar McIntosh (Prange *et al.*, 2001).

Thomson *et al.* (1996) investigaram o escurecimento devido às machucaduras em maçãs das cultivares Golden Delicious, Granny Smith e Jonathan em relação à temperatura do fruto no momento do dano (0, 10 e 20°C) e seguido de 4 dias de armazenagem a 0, 10 e 20°C. Os autores observaram que a

temperatura da cv. Golden Delicious no momento da injúria não teve efeito no escurecimento do machucado, mas para as outras cultivares, as temperaturas mais baixas estavam associadas com maior escurecimento e injúrias mais evidentes. Os autores concluíram ainda que o escurecimento se desenvolveu mais em maçãs que eram armazenadas a 0°C.

Tubérculos de batata são mais propensos à escoriação quando gelados do que quando quentes (Ophouis, 1958 apud Kays, 1991). Nesse sentido, o dano pode ser reduzido pelo aquecimento dos tubérculos removidos da estocagem antes do manuseio. Segundo Lipez (1970) apud Kays (1991), a variação devido à temperatura, à umidade relativa, à luz, e à concentração de oxigênio modulam fortemente as respostas qualitativas e quantitativas aos danos mecânicos.

Entre os estudos que investigaram os efeitos provocados pelos danos mecânicos aos produtos frescos estão aqueles que avaliaram as respostas fisiológicas dos frutos em termos de respiração celular e produção de etileno. Há ainda estudos que avaliaram perdas qualitativas externas, como as modificações na coloração, relacionadas tanto à região danificada quanto ao fruto como um todo, e estudos que determinaram modificações internas nos frutos, nas características que influenciam o sabor ou o teor de nutrientes, como as vitaminas.

A respiração, principal processo fisiológico em órgãos vegetais colhidos, é afetada por diversos fatores: temperatura, composição da atmosfera e estresses químicos, biológicos e físicos (Kays, 1991; Kader *et al.*, 1992; Moretti *et al.*, 2000). Os órgãos vegetais submetidos a vibrações e danos mecânicos em geral aumentam suas taxas respiratórias se comparados aos produtos não injuriados

(FAO,1993; Sargent *et al.*, 1989a; Sargent *et al.*, 1989b). Em batata, a incidência de injúrias mecânicas aumentou a taxa respiratória em 100% em todas as cultivares mantidas a 25°C (Schippers, 1977). Além disso, à medida que os tubérculos passaram pelas diferentes etapas do manuseio foi constatado aumento na respiração dos mesmos (Pisarczyk, 1982).

Estudos no Brasil mostraram aumentos significativos nas taxas respiratórias em tubérculos de batata, passando de 10 a 18 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ para 26 a 35 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ em cultivares suscetíveis (Silva *et al.*, 1993a e b). Ainda no Brasil, Henz *et al.* (2005) observaram aumentos na taxa respiratória de mandioquinha salsa de 3,8 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ para 8,3 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ a 5°C e de 15,3 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ para 34,4 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ a 24°C em função da injúria mecânica.

MacLeod *et al.* (1976) concluíram que ao aumentar-se o número de impactos a 40 cm de altura, aumentou-se a evolução de gás carbônico e do etileno em tomates. Por outro lado, Silva & Calbo (1992) observaram que tomates submetidos à compressão apresentaram redução na produção de gás carbônico e atraso no amadurecimento. Contrariando a maioria dos trabalhos que relataram incrementos nas taxas respiratórias em frutos submetidos a danos por impacto, Steffens *et al.* (2008) não encontraram diferenças para alturas de queda de 20 cm aplicadas às maçãs da cultivar Gala em relação a testemunha num período de 1 a 9 dias após a aplicação dos tratamentos de impacto.

De maneira geral, as injúrias mecânicas estressam o vegetal, causam aumento da produção de etileno e distúrbios relativos à compartimentalização celular. A atividade do 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) sintase foi

rapidamente induzida no tecido do mesocarpo de abóbora após o ferimento, seguidos de aumentos nos níveis de ACC e na produção de etileno (Hyodo *et al.*, 1993). Há ainda aumento na taxa respiratória e na velocidade de deterioração e redução da vida pós-colheita do vegetal que foi submetido à injúria mecânica (Luengo *et al.*, 2003). Para maçãs 'Gala' submetidas a quedas a uma altura de 20 cm ocorreu resposta de incremento na produção de etileno 9 dias após o tratamento de impacto (Steffens *et al.*, 2008).

Wills *et al.* (1998) relatam como consequência dos danos mecânicos a aceleração da taxa de perda de água, acréscimo na taxa respiratória e diminuição da matéria seca dos produtos. No Brasil, observou-se incrementos na perda de matéria fresca para mandioquinha salsa injuriada de 1,39% para 6,1% a 5°C e de 4,1% para 8,3% a 24°C após quatro dias de avaliações (Henz *et al.*, 2005). Segundo os autores, a exposição dos tecidos injuriados provavelmente acelerou a perda de matéria fresca. Martinez-Romero *et al.* (2002) também concluíram que o dano mecânico em damascos aumentou a perda de massa fresca dos frutos. No entanto, os autores salientam que esta perda pode ter sido também decorrente do aumento significativo da taxa respiratória após o dano mecânico.

Um estudo com lima ácida Tahiti e aplicação de três tipos de danos, por impacto, compressão e corte, mostrou que todos os danos levaram à maior intensidade de perda de massa fresca durante o armazenamento. Este estudo mostrou ainda que, dentre as injúrias, o corte levou à maior perda de massa se comparado com as demais (Durigan *et al.*, 2005).

Outro aspecto importante quando se estudam danos mecânicos é a formação de portas de entrada para o estabelecimento de patógenos a partir do

dano, de forma que estes conseguem penetrar no tecido com maior facilidade, ocasionando a deterioração. Henz *et al.* (2005) observaram incremento de 66 para 84% na deterioração por microorganismos em mandioquinha salsa danificada após 4 dias a 24°C e não observaram o mesmo em tubérculos armazenados a 5°C. Segundo os pesquisadores, provavelmente a bactéria responsável pela podridão mole, neste tipo de produto, permaneça latente, iniciando a doença sob condições favoráveis como temperatura acima de 20°C e 75% de UR.

Segundo Chitarra & Chitarra (1990), os danos físicos alteram as reações bioquímicas normais dos frutos, modificando-lhes a coloração e o sabor, e diminuindo-lhes a vida útil. Além dos típicos sintomas externos e internos, as injúrias mecânicas são, geralmente, acompanhadas de um elevado número de respostas fisiológicas e podem provocar rompimento das células da epiderme associadas às reações enzimáticas que provocam coloração marrom e depreciam o produto (Radie *et al.*, 1997; Samim & Banks, 1993). Alguns estudos mostram alteração na cor dos frutos pela aplicação de danos mecânicos. Em damascos, a mudança de coloração (índice de cor a/b) durante a armazenagem foi maior para os frutos que foram danificados (Martinez-Romero *et al.* 2002), ou seja, ocorreu aceleração no processo de mudança de cor indicando avanço da maturação dos frutos.

Outro estudo realizado com goiabas mostrou que a área injuriada apresentou-se mais escurecida (dada pela variável de luminosidade - L*) durante a avaliação do que a área intacta, observando-se, inclusive, um retardo no amadurecimento indicado pelo maior ângulo Hue ao longo do amadurecimento

nestas mesmas áreas (Mattiuz & Durigan, 2001b). Os autores mencionam ainda que a modificação na coloração das goiabas pelo dano, inibindo a mudança da cor verde para amarela, pode influenciar a decisão de compra do consumidor, já que a aparência é um dos fatores mais importantes para a aquisição de um determinado vegetal nas gôndolas dos supermercados. Em estudos com lima ácida Tahiti, a injúria por impacto levou os frutos a uma maior perda da cor verde, principalmente nas regiões lesionadas (Durigan *et al.*, 2005). Neste caso, também pode haver redução da aceitação do produto no mercado já que este dá preferência aos frutos de coloração verde escura (Junqueira, 2009).

Alterações químicas que influenciam a qualidade final do produto podem ser mais um dos efeitos dos danos mecânicos, tais como redução no teor de carotenóides, vitamina C e acidez titulável (Moretti *et al.*, 1998). Estes pesquisadores, estudando tomates, demonstraram haver alterações significativas na acidez titulável, no teor de vitamina C, na atividade enzimática da poligalacturonase, nos carotenóides totais e na consistência em função do dano provocado por impacto. Os teores de ácidos orgânicos e vitamina C, neste estudo, foram menores nos frutos injuriados, sendo que em relação à vitamina C houve uma perda de até 15% no tecido locular danificado. Neste mesmo estudo, os pesquisadores verificaram a percepção das alterações de aroma e sabor através de análises sensoriais. Nas análises sensoriais foi possível identificar diferenças nos frutos injuriados, levando a conclusão de que a desordem fisiológica causada pelo impacto altera o sabor e o aroma dos tomates, reduzindo a aceitação do produto. Durigan *et al.* (2005) também determinaram redução nos teores de vitamina C em função de danos por impacto em lima ácida Tahiti. No

mesmo estudo, os autores mencionam reduções nos teores de sólidos solúveis e acidez titulável em função do dano por impacto e salientam que os efeitos estressantes do dano promoveram a senescência mais rápida do fruto em relação ao controle.

Obenland *et al.* (2008) estudando laranjas cultivar Navel, encontraram aumento dos níveis de etanol em decorrência da lavagem e embalagem no packing house. Os autores relatam que o metabolismo dos frutos foi alterado devido à injúria mecânica durante o processo de beneficiamento.

Alterações físicas, tais como as reduções da firmeza de polpa, podem ocorrer em maçãs e pêssegos podendo ser uma consequência direta do dano mecânico ou indireta pela aceleração do metabolismo dos frutos. Egan (1992), estudando tomates, observou que impactos reduziram a firmeza dos frutos de 1,6 para 1,3 Kgf/cm². Em goiabas, Mattiuz & Durigan (2001b) estudaram o comportamento de duas cultivares de goiaba em resposta ao dano mecânico e observaram diferenças entre elas, sendo que a cultivar Paluma manteve maior firmeza que a Pedro Sato, demonstrando maior resistência ao dano por impacto. As substâncias pécticas presentes na parede celular são os principais componentes químicos responsáveis pelas mudanças de textura dos frutos e hortaliças. Mudanças de textura ocorrem naturalmente em produtos colhidos na medida em que estes amadurecem, perdem massa, e senescem. Pelas evidências de modificação na firmeza de polpa, variável que se relaciona à textura do fruto, é provável que esta esteja relacionada com modificações nos componentes da parede celular.

Mudanças de textura durante o amolecimento dos frutos ocorrem através de alterações estruturais e de composição dos constituintes polissacarídicos que formam a parede celular dos mesmos. Mudanças na textura têm sido correlacionadas com a expressão de uma gama de enzimas (hidrolases e transglicosilases) e com alterações nas ligações covalentes e não-covalentes entre os polímeros. Os polissacarídios que constituem a parede celular são as pectinas, hemiceluloses e celuloses. Pectinas e hemiceluloses formam uma matriz na qual está embebido o “esqueleto” de microfibrilas de celulose. Existem ainda componentes menores que incluem proteínas estruturais e enzimáticas, compostos hidrofóbicos e moléculas inorgânicas. A solubilização e a despolimerização dos polissacarídios de parede celular têm sido observadas na maioria dos frutos, mas a extensão relativa e o tempo podem variar entre espécies e até entre cultivares de uma mesma espécie resultando em diferentes taxas de amolecimento. Geralmente ocorrem mudanças estruturais durante o amolecimento dos tecidos, tanto na matriz de pectinas como na matriz de hemicelulose/celulose (Lashbrook, 2005).

As mudanças na matriz de pectinas levarão a um inchaço da parede celular e a deterioração do tecido (Hadfield & Bennet, 1998). Adicionalmente, a perda de integridade do tecido, que já é conhecida por afetar a machucadura, pode causar grandes mudanças na parede celular, possivelmente sem mudanças adicionais na atividade enzimática por causa da acessibilidade aos substratos (Brummel & Labavitch, 1997).

Segundo Huber *et al.* (2001), desordens de textura podem refletir, em parte, em condições alteradas de apoplasto (pH, balanço de íons) causados

ativamente ou passivamente por disfunções nas membranas induzidas por estresse. E finalmente, a biossíntese de etileno induzida pelo ferimento pode estar envolvida, uma vez que favorece mudanças associadas ao amadurecimento dos tecidos (Yokotami *et al.*, 2005).

No machucado decorrente do impacto, ocorre uma rápida opressão do tecido de forma a não haver suficiente para extrusão de água através da parede celular, resultando em ruptura da parede. Com esta ruptura, os conteúdos celulares são liberados no apoplasto e alteram o pH e a força iônica, os quais levam às desordens de textura (Huber *et al.*, 2001). A matriz da parede celular torna-se fortemente hidratada e um sistema mais aberto, o que também ocorre durante o amadurecimento que leva ao amolecimento pela aumentada exposição da parede a enzimas hidrolizantes (Brummel *et al.*, 2006). Billy *et al.* (2007) estudaram a relação entre a textura e a composição das pectinas em duas cultivares de maçã durante a estocagem e concluíram que o ácido galacturônico é o marcador bioquímico mais relevante relacionado à textura. Estes mesmos pesquisadores, no entanto, salientam ser necessário relacionar as mudanças observadas na parede celular aos aspectos microscópicos como tamanho e formato das células, espessura da parede celular, bem como à turgidez celular (conteúdo de água, pressão osmótica, volume do espaço intercelular) para poder explicar mudanças de textura no fruto em escala macroscópica.

Em suma, mudanças na anatomia dos tecidos são mediadas através de uma série de alterações bioquímicas nas células dos tecidos. Ferimentos provocam um aumento na respiração e nos mRNAs, mRNAs, proteínas e metabólitos (McGlasson & Pratt, 1964). Em tomates, por exemplo, a atividade das

enzimas hidroxicinamato-CoA ligase e O-metiltransferase aumentam muito e parecem estar atuando na formação de unidades monoméricas que formam ligninas através da atividade das oxidases. Entender quais as principais alterações que ocorrem nos polissacarídios que constituem a parede celular dos frutos ajudará a explicar como se dá o processo do amolecimento e deterioração decorrente do dano mecânico.

Frutos de diferentes espécies diferem entre si anatômica e morfológicamente. Por essa razão há também distintas respostas metabólicas em diferentes espécies. Algumas desordens fisiológicas ocorrem somente em determinadas espécies e não em outras, como é o caso da oleocelose em frutos cítricos. Este distúrbio está relacionado ao rompimento das cavidades de óleo presentes no pericarpo do fruto ocasionando manchas na superfície. Em citros, afirma-se que pode ocorrer queimadura por oleocelose em função da injúria mecânica (SARDI, 2005).

Para poder entender as distintas respostas fisiológicas e bioquímicas das espécies frutíferas aos danos mecânicos é importante estudar cada caso individualmente levando em consideração a constituição de cada material estudado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em duas etapas. A primeira constituiu-se da coleta de dados de forças durante o manuseio pós-colheita de maçãs e laranjas realizada com auxílio de uma esfera instrumentada em estabelecimentos comerciais de embalagem de frutas. A segunda etapa foi realizada em laboratório onde foram aplicados tratamentos de danificação com posterior investigação de seus efeitos sobre os frutos.

3.1 Medições das forças envolvidas no manuseio de cítricos e maçãs

3.1.1 Sistema de aquisição de dados

Para medir as forças a que os frutos são submetidos durante o manuseio foi empregada uma esfera instrumentada desenvolvida nos laboratórios da Faculdade de Agronomia e da Escola de Engenharia da UFRGS por Müller (2008). A esfera instrumentada (Figura 1) faz parte de um sistema de análise formado por quatro partes: uma esfera de alumínio composta por três anéis instrumentados com extensômetros (dispositivos sensores das deformações mecânicas); uma placa de circuito impresso colada nos extensômetros localizada no interior da esfera, junto com os amplificadores de instrumentação para extensômetros; uma caixa externa contendo um sistema de aquisição de dados, que faz a conversão dos sinais analógicos oriundos da esfera em sinais digitais

para comunicação com o computador, e o software específico para operação da unidade (MÜLLER *et al.*, 2008). Desta forma, a esfera é colocada juntamente com os frutos em várias etapas do manuseio e à medida que as forças ocorrem elas são identificadas pelo software em tempo real. O software opera em ambiente Windows e apresenta os dados de compressão nos três eixos da esfera instrumentada em representação gráfica. Ainda segundo Müller (2010), a esfera instrumentada foi desenvolvida para medir compressões, no entanto ela é capaz de medir os impactos. Por possuir extensômetros, a esfera apresenta uma resposta lenta aos impactos quando comparada às esferas equipadas com acelerômetros, podendo subestimar os impactos durante as medições.



FIGURA 1. Esfera instrumentada com três anéis concêntricos instrumentados e com extensômetros capazes de detectar forças em três eixos ortogonais. Fonte: Müller e Bender. Porto Alegre, 2006.

3.1.2 Forma de aquisição de dados

Os dados das forças foram coletados durante o manuseio em casas de embalagem de cítricos e de maçãs. Em ambos os casos o diagnóstico foi realizado durante o procedimento padrão do estabelecimento e com a equipe do local, de forma a detectar as forças reais envolvidas nas práticas de manuseio em cada unidade de embalagem de frutas. A maior parte dos procedimentos que ocorrem num packing house (Figura 2) foram investigados.

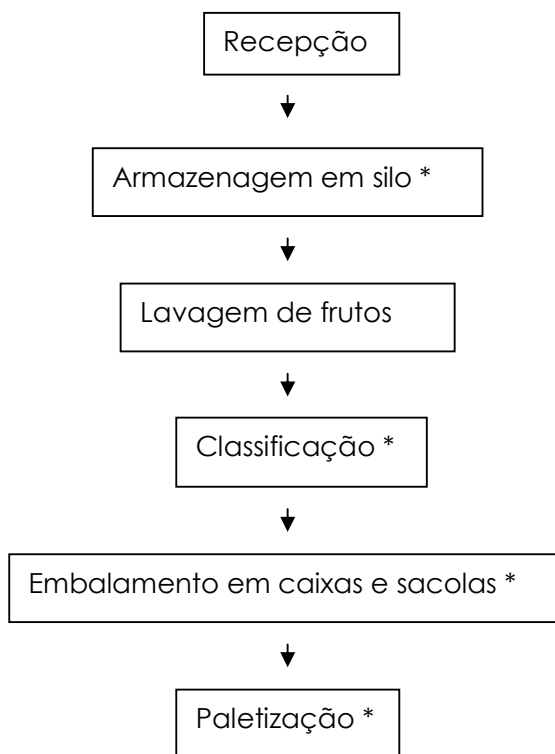


FIGURA 2. Fluxograma das etapas de manuseio em um packing house de citros. Procedimentos avaliados com auxílio da esfera instrumentada (*).

Para o diagnóstico de forças durante o embalamento das maçãs, ensaios de compressão foram realizados com a esfera instrumentada em dois estabelecimentos de beneficiamento de maçãs na região de Vacaria, estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2006 e 2008. A etapa estudada foi a formação e movimentação de paletes de caixas de maçãs (Tabela 1).

Durante os experimentos, a esfera instrumentada foi posicionada dentro de uma das caixas substituindo uma das maçãs e preenchida da maneira usual no estabelecimento, com o uso de bandejas separadoras (Figura 3 a). Nos primeiros ensaios a esfera instrumentada foi mantida em uma posição fixa dentro da caixa (Figura 3 a), e avaliaram-se as três camadas inferiores de um palete. Já no segundo local, avaliou-se também a posição da esfera dentro da caixa nas

camadas inferiores da mesma. Foram investigados ainda tamanhos de paletes (Tabela 1), conforme manuseio local. Posteriormente, foi avaliada a movimentação de um palete com paleteira e empilhadeira (Figura 3 b).

Cada ensaio conduzido durante a experimentação resulta em um gráfico, onde constam todas as forças detectadas pela esfera instrumentada durante o período do ensaio. Nas tabelas são apresentados os resultados médios das maiores magnitudes de força encontrados em um ensaio, e o somatório das forças medidas pela esfera nos três eixos foi obtido pela soma vetorial de seus componentes dada pela fórmula: $\sqrt{(fx)^2 + (fy)^2 + (fz)^2}$.



FIGURA 3. Posicionamento da esfera instrumentada na caixa de maçãs na instalação dos ensaios (a) e imagem de um palete de 8 camadas de caixas tipo internacional (b). Vacaria, 2007.

TABELA 1. Local, detalhamento das pilhas, calibres avaliados no embalamento de maçãs e data das avaliações.

Local	Tamanho das pilhas ou paletes	Calibre	Data
Estabelecimento 1	56 caixas (oito camadas)	135 e 90	12/2006
Estabelecimento 2	49 caixas (sete camadas)	70	08/2007

Para diagnosticar as forças ocorrentes durante o manuseio dos cítricos, ensaios com a esfera instrumentada foram realizados em dois estabelecimentos de embalamento (packing houses) na Região do Vale do Rio Caí - RS. Nestes estabelecimentos os seguintes procedimentos de manuseio de laranjas foram

avaliados: descarga de frutos transportados a granel do caminhão, enchimento do silo de armazenamento, descarga no terminal de seleção, embalagem utilizando sacolas e caixas, e formação de paletes de caixas (Tabela 2).

TABELA 2. Procedimentos avaliados em cada estabelecimento de embalagem de cítricos, observações da medição e data da avaliação.

Procedimento	Local	Observação	Data
Descarga do caminhão	Estabelecimento 2	Esfera na calha de recebimento	11/11/06
	Estabelecimento 1	Esfera na calha de recebimento	29/09/07
Enchimento do silo	Estabelecimento 2	Um terço da capacidade máxima (8 t)	11/11/06
Descarga no terminal de seleção	Estabelecimento 2	Esfera no terminal de seleção	11/11/06
Ensacamento	Estabelecimento 1	Sacolas de 20 Kg	06/06/07
	Estabelecimento 1	Sacolas de 20 Kg	29/09/07
Enchimento de caixa		Caixa plástica (20 Kg)	06/06/07
	Estabelecimento 1	Caixa de madeira (16 Kg)	06/06/07
	Estabelecimento 1	Caixa de madeira (16 Kg)	29/09/07
	Estabelecimento 2	Caixa de madeira (16 Kg)	11/11/06
	Estabelecimento 2	Caixa de madeira (16 Kg) posicionada acima dos frutos	11/11/06
Formação de uma pilha de caixas	Estabelecimento 2	Caixa de madeira de 15 Kg	11/11/06

As repetições realizadas nestes ensaios são função do tipo de avaliação e da maior ou menor intervenção dos experimentos no andamento dos trabalhos no estabelecimento. Neste sentido, alguns ensaios foram repetidos inúmeras vezes durante as visitas, como a descarga de frutos do caminhão, enquanto outros ainda precisam ser repetidos, como o enchimento do silo de armazenamento.

3.2 Efeitos dos danos mecânicos aplicados em laboratório

3.2.1 Material experimental

Maçãs das cultivares Royal Gala, Gala Brookfield e Fuji Suprema foram colhidas em pomares comerciais em Caxias do Sul e Vacaria. Em Vacaria os

pomares tinham idade de 10 anos, e as macieiras estavam enxertadas sobre o porta-enxerto M9. A cultivar Royal Gala constituindo a cultivar principal e a Fuji Suprema a cultivar secundária ou polinizadora.

A distribuição das plantas no pomar é de três linhas de 'Royal Gala' intercaladas para uma linha de 'Fuji Suprema', visando uma adequada polinização. O sistema de cultivo é de alta densidade, sendo o espaçamento utilizado de 1,0 m entre plantas e de 3,5 m entre linhas. As linhas estão direcionadas em norte-sul, sendo a forma de condução da copa em líder central com tutoramento.

Em Caxias do Sul foram colhidas as maçãs da cultivar Gala Brookfield, em pomares de seis anos em espaçamento de 3,8 m entre linhas e 0,8 m entre plantas sobre o porta-enxerto M9. Os plantios estão direcionados no sentido norte-sul, sendo a condução em líder central com tutoramento e a cultivar polinizadora é a Fuji Suprema. As maçãs foram colhidas em: 27/04/09 para 'Fuji Suprema' e 11/05/09 para 'Royal Gala'.

As laranjas cultivar Valência e as tangerinas cultivar Montenegrina foram colhidas em um pomar comercial convencional no município de Montenegro-RS. O pomar de dez anos de idade da cultivar Valência foi implantado em espaçamento de 2,5 m entre plantas e 5,5 m entre linhas e as cultivares copas estavam enxertadas sobre o porta enxerto *Poncirus trifoliata* (L.) Raf..

As tangerinas cultivar Montenegrina, Ponkan e a lima ácida Tahiti estavam distribuídas em espaçamento de 6 m entre linhas e 3 m entre plantas e enxertadas sobre *P. trifoliata* (L.) Raf.. Enquanto que as tangerinas cultivar Rainha foram implantadas com espaçamento de 4,5 m X 2,5 m também sobre o mesmo

porta-enxerto. As tangerinas Montenegrina e Ponkan foram colhidas em pomares localizados no município de Montenegro enquanto que a Rainha e a lima ácida foram colhidas em pomares localizados em São Sebastião do Caí-RS. As colheitas ocorreram em: 24/09/09 (cv. Montenegrina), 28/08/08 (cv. Rainha), 30/05/08 (cv. Ponkan), 15/08/09 (cv. Valência), 27/06/08 (cv. Michal), 22/07/09 (cv. Tahiti), e 12/10/09 (cv. Murcote).

Durante a colheita, foram observados o estágio de maturação e o tamanho dos frutos, de modo a obter frutos homogêneos. O estágio de maturação foi acessado pela coloração externa dos frutos.

Após a colheita, os frutos foram cuidadosamente transportados em caixas de papelão com separadores para o laboratório de pós-colheita da Faculdade de Agronomia da UFRGS onde foram submetidos aos tratamentos.

3.2.2 Tratamentos de compressão e impacto

Tratamentos de danos mecânicos de dois tipos foram realizados: impactos e compressões. Os impactos consistiram de quedas dos frutos sobre uma superfície rígida de cerâmica por duas vezes a alturas que variaram de 20, 40, 80, 100 e 160 cm.

As compressões foram aplicadas com auxílio de um equipamento constituído por um levante hidráulico fixo em uma placa metálica rígida, onde os frutos foram colocados um a um entre a prensa do equipamento em série com a esfera instrumentada (Figura 4). Desta forma, à medida que o levante hidráulico era acionado comprimindo simultaneamente os frutos e a esfera instrumentada, as forças de compressão eram identificadas por um software capaz de adquirir os dados percebidos pela esfera instrumentada.

Os tratamentos de compressão foram aplicados nas diferentes espécies em estudo dependendo da maior ou menor resistência do fruto em relação ao tratamento, determinado em testes preliminares, nestes os frutos eram submetidos a variáveis até o seu rompimento. Assim, forças menores do que as capazes de romper os frutos foram selecionadas para posterior aplicação durante a experimentação.

As laranjas foram submetidas a compressões de 31, 62,5, 125 e 250 Newtons. No tangor 'Murcott' as compressões foram de 15, 30, 60 e 120 N; na tangerina 'Michal' as compressões foram de 30, 60, 90 e 140 N; nas tangerinas 'Raíinha', 'Montenegrina' e na lima ácida 'Tahiti' as compressões foram de 15, 30, 60 e 120 Newton, e na 'Raíinha' aplicou-se ainda um tratamento de 180 N; e para tangerina 'Ponkan' as compressões foram de 10, 20, 40 e 60 N.

Nas maçãs as compressões foram de 40, 80, 160 e 330 N para todas as cultivares investigadas.

Após o tratamento os frutos foram mantidos à temperatura ambiente ($22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) por sete dias, quando foram avaliados. Nos ensaios com o teste iodo amido para maçãs, as avaliações ocorreram aos um, sete e quinze dias após o tratamento.



FIGURA 4. Sistema de aplicação de compressões constituído por um levante hidráulico, duas placas acrílicas e a esfera instrumentada conectada a um computador (a) detalhe da aplicação do tratamento em uma maçã (b). Porto Alegre, 2008.

3.2.3 Variáveis avaliadas

As análises de acidez titulável (AT) e sólidos solúveis (SS) foram determinadas a partir do suco dos frutos. A AT foi determinada em percentagem de ácido cítrico ou málico, pela titulação de uma solução de 10 mL de suco e 90 mL de água destilada com uma solução 0,1 N de NaOH até atingir pH 8,1 (AOAC, n°942.15, 2002). O teor de SS foi determinado por refratometria e a leitura corrigida para 20°C (AOAC, n°932.12, 2002).

A integridade das membranas foi avaliada por meio da análise de vazamento de eletrólitos seguindo a metodologia de Felício et al. (2006). Com vazador foram obtidos 9 discos da polpa dos tecidos saudáveis e lesionados das maçãs medindo 2 mm de espessura e 9 mm de diâmetro. Estes discos foram lavados em água destilada e encubados em solução de manitol 0,4 M por três horas a 30°C e em agitação. O vazamento de eletrólitos no tempo zero e após as três horas foi determinado com auxílio de um condutímetro. Os tecidos foram posteriormente congelados em freezer, triturados em dispersor desintegrador

(turrax) e novamente medida a condutividade elétrica. Os resultados foram expressos em % de extravasamento de eletrólitos através da fórmula: % extravasamento = (valor da leitura após 3 hs/valor leitura após trituração) x 100.

A firmeza de polpa foi determinada com auxílio de um penetrômetro digital de bancada e expressa em Newton. A variável firmeza foi determinada nos tecidos sadios e lesionados das maçãs nos tratamentos de impacto, onde a lesão era visível externamente.

A perda de massa fresca foi determinada por diferença da massa dos frutos entre o início e o final do período de avaliação e expressa em percentual em relação à massa inicial.

O desaparecimento do amido nas maçãs foi determinado pelo teste iodo amido de acordo com a escala de Werner (1989) (Girardi *et al.*, 2002).

A cor de superfície do epicarpo dos frutos foi avaliada com auxílio de um medidor de cores (Konica/Minolta, modelo CR400). Os resultados foram expressos em médias de três leituras ao longo do eixo equatorial do fruto, no caso das maçãs avaliou-se a resposta em termos de coloração de fundo e de recobrimento do epicarpo, e nas regiões lesionadas por impacto e sadias. Os valores de Hue e Chroma foram determinados pelas equações: $Chroma^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$; $Hue = \arctang(b/a) * 180/\pi$ (MINOLTA, 1993).

O extravasamento do óleo do pericarpo foi avaliado nos cítricos submetidos a compressões com um papel absorvente colocado entre o fruto e a superfície de contato durante a aplicação dos tratamentos. A identificação do extravasamento ou liberação do óleo era visualizada através das manchas de óleo presentes no

papel absorvente. Os dados foram expressos em percentual de frutos apresentando extravasamento de óleo.

Avaliação do extravasamento de suco das maçãs danificadas por impacto foi avaliada logo após o tratamento de danificação por identificação visual, realizada por contagem do número de frutos apresentando o sintoma e expresso em percentagem.

Amostras coletadas do tecido sadio e lesionado do mesocarpo e epicarpo das maçãs e do pericarpo dos cítricos foram imersas em solução de glutaraldeído 1% e formaldeído 4% (em tampão fosfato 0,1 M, pH 7,2) e, logo após, desidratadas em série etílica para posterior inclusão em resina acrílica a base de hidroxietilmetacrilato (Technovit 7100; Gerrits & Smid, 1983). Seções de 3 µm de espessura foram obtidas em micrótomo de guias Leitz e montadas em lâminas histológicas. As secções foram coradas com Azul de Toluidina 0,05% (O'Brien & McCully, 1981) ou uma combinação de Azul de Astra 0,5% e Fucsina Básica 0,5% (Kraus *et al.*, 1997). Alternativamente, foram utilizados Calcofluor White, para localização de celulose, em microscopia de fluorescência (Hughes & McCully, 1975), e reação de PAS (ácido periódico – Reagente de Schiff), para identificação de polissacarídios totais (O'Brien & McCully, 1981). As lâminas histológicas foram visualizadas em microscópio óptico Leica DM, com sistemas de campo claro e epifluorescência, equipado com câmara digital Leica DFC500. Posteriormente as fotomicrografias dos cítricos foram submetidas a análise para área e distância da superfície nos programas Corel Draw e Image J.

A respiração celular foi avaliada pela produção de CO₂ e expressa em mL de CO₂/Kg de fruto/hora. Após a aplicação dos tratamentos os frutos foram

colocados em frascos de vidro vedados por uma hora e mantidos à temperatura ambiente ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) durante os períodos de determinação da produção de CO_2 . Essas determinações ocorreram 0, 1, 2, 4, 6, 24, 48 e 168 horas (sete dias) após a aplicação do tratamento. A produção de CO_2 foi avaliada com auxílio de um analisador de CO_2 equipado com detector de zirconio (marca Climasul) o qual era diariamente calibrado com leituras de um padrão de CO_2 conhecido.

O teor de ácido ascórbico foi determinado nos frutos cítricos via reação do corante 2,6-diclorofenol indofenol. Uma amostra de 2 mL de suco dos frutos foi diluída em 100 mL de ácido oxálico (4:1000) e filtrada, 1,1 mL de EDTA (0,1 M) foi adicionado para estabilizar o ácido ascórbico (Hernandez *et al.*, 2006; Kechinski, 2007). Uma alíquota de 10 mL do extrato foi misturada com 3 mL de tampão citrato de sódio (pH 4,5) (Fernandez *et al.*, 2007; Kechinski, 2007). Uma alíquota de 1,5 mL do extrato final foi adicionada a 1,5 mL de solução do corante e misturada em uma cubeta descartável de poliestireno. A absorbância da amostra foi lida a 530 nm em um espectrofotômetro UV-VIS, modelo T6 (PG Instruments, London, UK).

As análises de firmeza de polpa, vazamento de eletrólitos e estimativa do teor de amido foram realizadas nas maçãs apenas, enquanto que as análises de teor de ácido ascórbico e extravasamento de óleo do pericarpo foram avaliadas somente nos cítricos. Todas as outras variáveis foram avaliadas em maçãs e nos frutos cítricos.

3.3 Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos foram realizados em três repetições de seis frutos cada em um delineamento completamente casualizado. Os dados foram submetidos à

análise de regressão ou a análise de variância ou correlação conforme o experimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico das forças durante o manuseio pós-colheita de frutos cítricos e maçãs

4.1.1 Forças envolvidas no manuseio pós-colheita de laranjas

A esfera instrumentada detectou forças de impacto e de compressão nos diversos procedimentos avaliados nos estabelecimentos de embalagem de frutos cítricos.

As forças medidas pela esfera instrumentada durante a descarga do caminhão para a esteira foram provenientes de impactos dos frutos contra a esfera instrumentada, em sua maioria, ou do arremesso da esfera contra a superfície da esteira (Figura 5), representados graficamente pelos picos nos gráficos (Figura 6). As forças recebidas pelos frutos durante esta etapa do processamento foram em 1,11 Kg em média no estabelecimento 1 e 1,98 Kg em média no estabelecimento 2 (Tabela 3).



FIGURA 5. Queda de laranjas da caçamba do caminhão para esteira. São Sebastião do Caí, 2007.

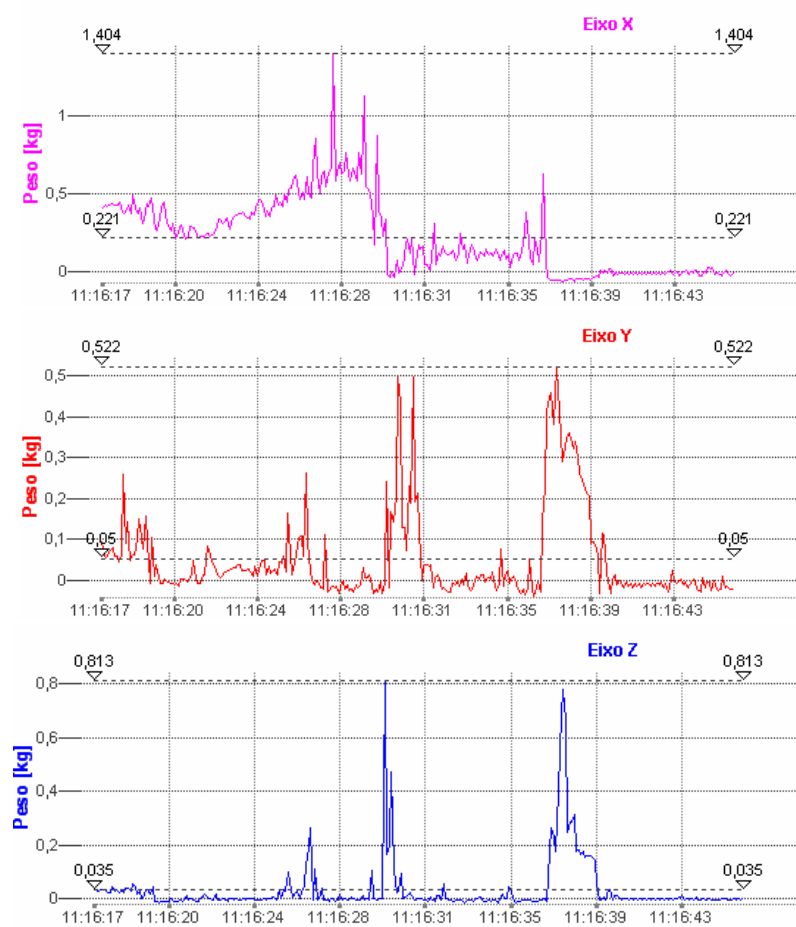


FIGURA 6. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a queda de laranjas da caçamba do caminhão para a esteira. Porto Alegre, 2007.

TABELA 3. Forças máximas detectadas pela esfera instrumentada em três eixos durante a descarga de laranjas da caçamba do caminhão para esteira em dois estabelecimentos. Porto Alegre, 2007.

Estabelecimento 1				
N° de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	0,12	0,75	0,16	0,78
2	0,03	1,54	0,32	1,57
3	0,32	0,34	1,12	1,21
4	0,19	0,2	0,36	0,45
5	0	0,16	0,12	0,20
6	0,94	1,91	1,37	2,53
7	1,31	0,21	0,89	1,60
8	0,51	0,24	0,62	0,84
9	0,18	0,45	0,82	0,95
10	0,69	0,39	0,57	0,98
Média	0,43	0,62	0,64	1,11
Desvio padrão	0,42	0,60	0,40	0,65

Estabelecimento 2				
N° de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma Vetorial
1	1,40	0,52	0,81	1,70
2	1,13	0,93	1,49	2,09
3	1,37	0,19	0,33	1,42
4	0,63	5,4	0,4	5,45
5	1,16	1,13	1,02	1,91
6	0,08	0,88	0,41	0,97
7	0,26	0,56	0,62	0,87
8	0,38	1,42	0,45	1,54
9	1,13	0,37	0,42	1,26
10	0,45	1,94	1,62	2,57
Média	0,80*	1,33	0,76	1,98
Desvio padrão	0,49	1,52	0,47	1,32

Durante o enchimento do silo de armazenamento foram encontradas forças de até 3,4 Kg na soma dos três eixos (Figura 7). Os gráficos mostram forças pontuais de impactos no início das medições indicando choques dos frutos com a esfera e compressões crescentes após este período. Este ensaio durou 19 minutos e não resultou no completo enchimento do silo de armazenamento, indicando que as forças provavelmente seriam maiores se o silo estivesse

completo. Além disso, vale salientar que os frutos permanecem suportando estas forças pelo período de tempo em que estiverem armazenados neste silo. Foram identificados frutos comprimidos nas camadas inferiores do silo e também problemas de rompimento de frutos na parte interna do silo (Figuras 7).



FIGURA 7. Silo de madeira com capacidade para seis toneladas utilizado no armazenamento de laranjas para consumo de mesa (a), interior do silo (b), parte inferior do silo e frutos comprimidos (c e d). São Sebastião do Caí, 2007.

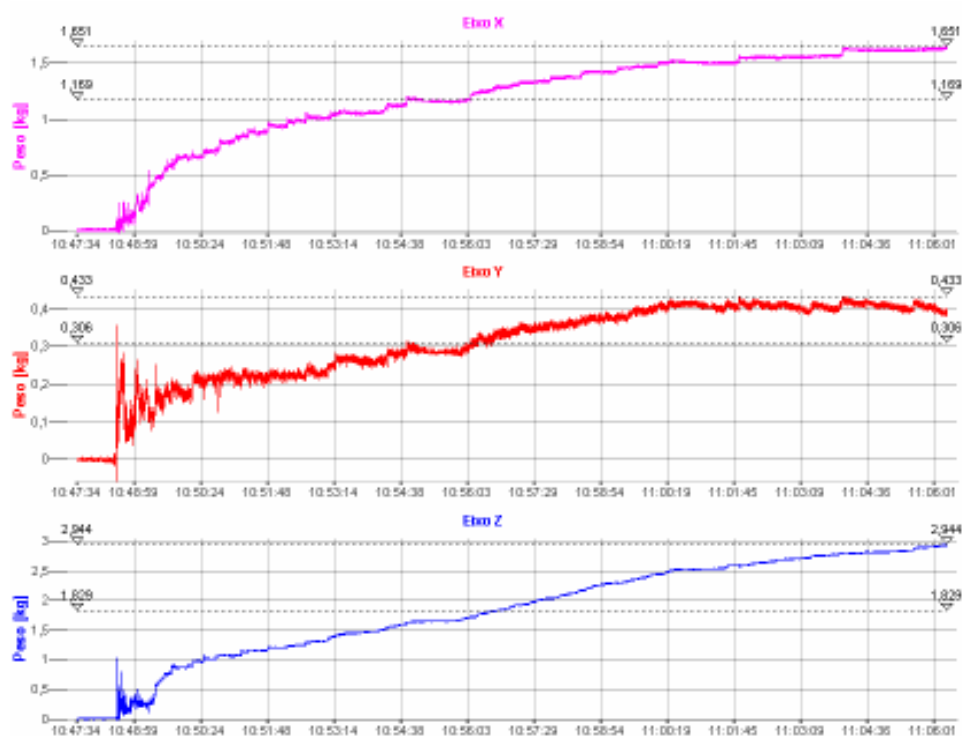


FIGURA 8. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante o enchimento do silo de armazenamento de laranjas. Porto Alegre, 2007.

Durante o procedimento de queda no terminal de seleção as forças detectadas foram provenientes de choques dos frutos com outros frutos, ou contra a superfície de madeira do próprio terminal de seleção (Figura 9), ou seja, são forças pontuais ou impactos (Figura 10).

As forças recebidas pelos frutos durante esta etapa do processamento somaram 2,06 Kg na média dos três eixos (Tabela 4).



FIGURA 9. Posicionamento da esfera instrumentada para medição de forças de impacto durante o procedimento de descarga nos terminais de seleção de citros. São Sebastião do Caí, 2007.

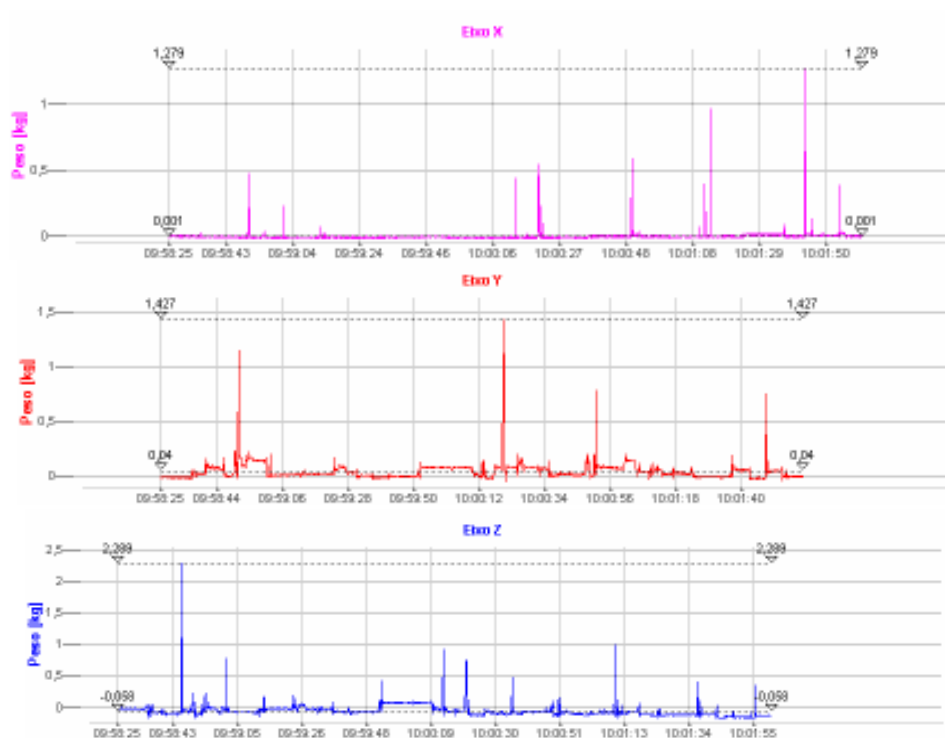


FIGURA 10. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a queda de laranjas no terminal de seleção. Porto Alegre, 2007.

TABELA 4. Forças máximas de impacto detectadas pela esfera instrumentada em três eixos durante a descarga de frutos cítricos nos terminais de seleção. Porto Alegre, 2007.

Estabelecimento 2				
N° de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	0,37	0,8	1,12	1,43
2	0,94	0,79	0,38	1,29
3	0,18	0,26	2,53	2,55
4	1,28	1,43	2,29	2,99
Média	0,69	0,82	1,58	2,06
Desvio padrão	0,51	0,48	1,01	0,84

Durante o procedimento de ensacamento, os frutos são transferidos, por gravidade, para a sacola a partir do terminal de seleção. Uma vez repleta a sacola, existe um procedimento de acomodação dos frutos para facilitar a amarração superior da mesma. Este ajuste, realizado pelo operador, consiste em chocá-la contra o piso de duas a três vezes. Nos ensaios de embalamento a esfera instrumentada foi colocada dentro da sacola antes do início do procedimento e removida, após o término do mesmo, incluindo o procedimento final de ajuste para amarração da sacola (Figura 11).

Diversos impactos foram detectados no início do experimento devido aos choques dos frutos contra a esfera, após os quais foram detectados platôs resultantes das forças de compressão exercidas pela massa dos frutos acima dela durante o procedimento (Figura 12). O procedimento realizado pelo operador para acomodar os frutos nas sacolas, antes de fechá-las, também foi detectado pela esfera instrumentada, representados por picos e depressões no final do ensaio (setas, Figura 12). Estas foram as maiores forças detectadas pela esfera instrumentada durante este procedimento.



FIGURA 11. Posicionamento da esfera instrumentada na sacola (a), enchimento da sacola (20 Kg) de laranjas (b), procedimento de ajuste final da sacola antes do fechamento (c). São Sebastião do Caí, 2007.

As forças médias encontradas nos três eixos da esfera instrumentada para o ensacamento de laranjas atingiram a 4,5 Kg na primeira avaliação e 6,3 Kg na segunda avaliação, no mesmo estabelecimento (Tabela 5).

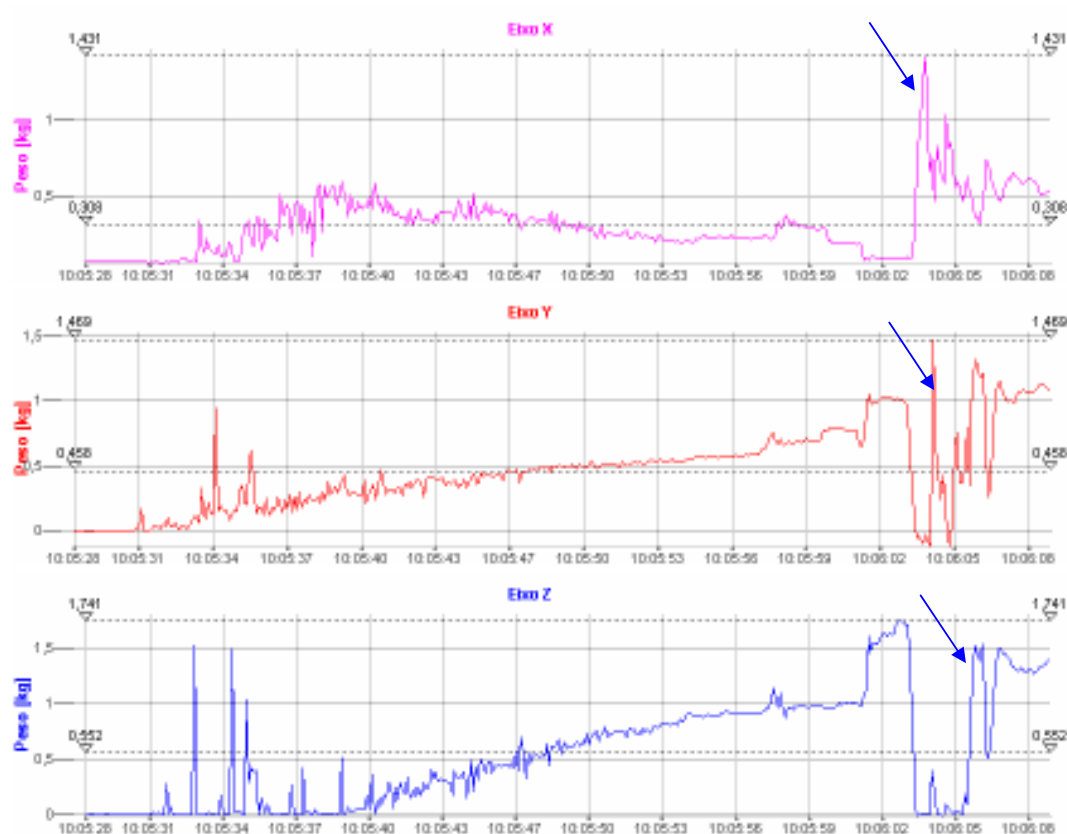


FIGURA 12. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante o enchimento da sacola de laranjas de 20 Kg. Porto Alegre, 2007.

TABELA 5. Forças máximas detectadas pela esfera instrumentada em três eixos durante o ensacamento de laranjas. A esfera instrumentada foi posicionada no fundo da sacola. Porto Alegre, 2007.

Estabelecimento 1 – 29/09				
Nº de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	6,63	1,2	0,8	6,79
2	1,43	1,47	1,74	2,69
3	1,15	2,46	3	4,05
Média	3,07	1,71	1,85	4,51
Desvio padrão	2,76	0,59	0,99	1,87
Estabelecimento 1 – 06/06				
Nº de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	3,36	2	1,29	4,12
2	3,15	3,24	3,11	5,49
3	8,93	2,49	0,85	9,31
Média	5,15	2,58	1,75	6,30
Desvio padrão	2,68	0,51	1,07	2,41

O embalagem de laranjas em caixas é realizado diferentemente nos dois estabelecimentos avaliados. No estabelecimento 1, a caixa é colocada fora do terminal de seleção (Figura 13 a), e no estabelecimento 2 a caixa é colocada sobre os frutos, no terminal de seleção (Figura 13 b). Neste último, investigaram-se as forças recebidas pelos frutos dentro e abaixo da caixa, e nos demais casos, apenas dentro da caixa.



FIGURA 13. Procedimentos de embalagem em caixas com capacidade de 20 Kg nos estabelecimentos de embalagem de citros 1 (a), e com 15 Kg no estabelecimento 2 (b). São Sebastião do Caí, 2007.

No embalagem com caixas, a esfera instrumentada detectou as maiores forças durante o enchimento de caixas plásticas (20 Kg), que foram de 5,06 Kg, em média nos três eixos, já em caixas de madeira (15 Kg) as forças detectadas foram menores (Tabela 6). Este resultado pode ser explicado pela capacidade de cada caixa que é de 20 Kg para a caixa plástica e de 15 Kg para a de madeira. E ainda, ao procedimento utilizado para preencher as caixas, uma vez que nas caixas de madeira os frutos são colocados um a um dentro da caixa, enquanto que na caixa plástica eles são derrubados a partir do terminal de seleção, o que gera uma série de impactos que podem ser visualizados na Figura 14.

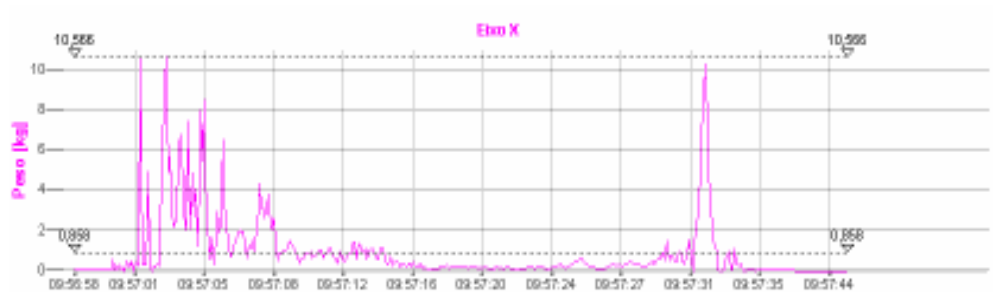


FIGURA 14. Forças detectadas pela esfera instrumentada no eixo x durante o enchimento de caixa plástica (20 Kg) de laranjas no estabelecimento de embalagem de citros 1. Porto Alegre, 2007.

TABELA 6. Forças máximas detectadas pela esfera instrumentada em três eixos durante o enchimento de caixas de laranjas. A esfera instrumentada foi posicionada no fundo da caixa. Porto Alegre, 2007.

Estabelecimento 2 – caixa de madeira de 15 Kg				
Nº de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma Vetorial (Kg)
1	0,89	0,54	0,86	1,35
Estabelecimento 1 - caixa de madeira 15 Kg - 29/09/07				
Nº de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	3,02	0,37	0,75	3,13
2	3,28	0,39	0,27	3,31
3	0,23	1,11	0,17	1,15
4	0,18	2,63	0,45	2,67
5	0,52	1,15	0,35	1,31
6	0,01	0,53	0,14	0,55
7	0,42	1,12	0,05	1,20
8	0,05	0,45	0,42	0,62
9	0,13	0,3	0,51	0,61
Média	0,87	0,89	0,35	1,62
Desvio padrão	1,26	0,72	0,21	1,08
Estabelecimento 1 – caixa plástica (20 Kg) 06/06/07				
Nº de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	10,57	1,61	1,5	10,80
2	2,03	0,91	2,76	3,54
3	0,38	4,82	1,29	5,00
4	2,77	0,8	0,17	2,89
5	2,96	0,71	0,39	3,07
Média	3,74	1,77	1,22	5,06
Desvio padrão	3,53	1,56	0,92	3,31
Estabelecimento 1 – caixa de madeira (15 Kg) 06/06/07				
Nº de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	2,22	0,27	0,26	2,25
2	0,88	0,28	1,8	2,02
3	2,33	0,83	1,09	2,70
Média	1,81	0,46	1,05	2,33
Desvio padrão	0,66	0,26	0,63	0,31

No procedimento de enchimento de caixas de madeira onde estas eram colocadas sobre os frutos a serem selecionados, as forças medidas pela esfera instrumentada, que foi colocada com os frutos abaixo da caixa, foram maiores, como já era esperado. Os resultados encontrados demonstraram que as forças

máximas neste procedimento chegaram a 13,8 Kg em um dos ensaios, e na média de oito ensaios as forças detectadas foram de 9,44 Kg sobre a esfera instrumentada (Tabela 7). As principais forças sofridas nesta etapa decorrem de compressões resultantes da massa da carga, representada pela caixa e pelos frutos acima da esfera e são indicadas pelos platôs nos gráficos (Figura 15).

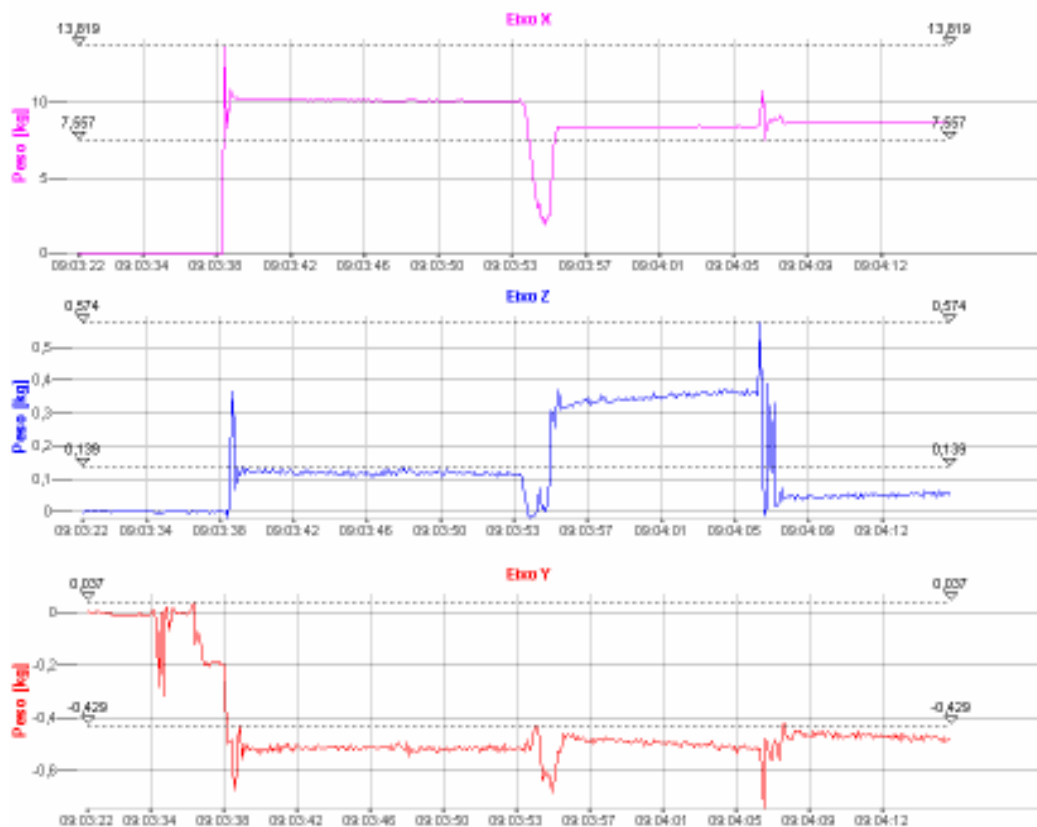


FIGURA 15. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z, durante a seleção de laranjas no terminal de seleção, quando E.I. foi posicionada abaixo da caixa de madeira (16 Kg), simulando o procedimento utilizado no estabelecimento 2. Porto Alegre, 2007.

TABELA 7. Forças máximas detectadas pela esfera instrumentada em três eixos durante o enchimento de caixas de madeira com laranjas. A esfera foi posicionada abaixo da caixa. Porto Alegre, 2007.

Estabelecimento 2 – caixa de madeira 16 Kg				
N° de ensaios	Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma vetorial (Kg)
1	13,82	0,04	0,57	13,83
2	9,27	0	0,77	9,30
3	9,53	0	0	9,53
4	3,88	0,09	1,25	4,08
5	12,35	0,47	0,55	12,37
6	7,72	0,21	1,13	7,81
7	7,96	0,6	0,5	8,00
8	9,39	0,92	1,77	9,60
Média	9,24	0,29	0,82	9,44
Desvio padrão	3,01	0,34	0,55	2,11

Na formação de uma pilha de quatro camadas de caixas de laranjas foram detectadas forças de 1,06 Kg. O mesmo procedimento de formação de uma pilha foi avaliado quando as caixas se apresentavam desencontradas (Figura 16 b). Neste caso, as forças foram de até 2,14 Kg no somatório dos três eixos (Tabela 8). No gráfico resultante do ensaio observam-se forças dinâmicas nos picos dos gráficos seguidas de um platô, forças estáticas (Figura 17). As forças dinâmicas representam o impacto sofrido pelos frutos ao posicionar-se uma caixa acima de outra na montagem da pilha, enquanto que os platôs nas figuras são as compressões sofridas pela massa das camadas de caixas suportadas pela esfera e pelas laranjas. Quando as caixas estão desencontradas as forças sobre a esfera são maiores indicando que, neste caso, os frutos suportam grande parte da carga anteriormente suportada pela borda da caixa (Figura 16 e 17 e Tabela 8).



FIGURA 16. Empilhamento de caixas de laranjas de 15 Kg (a), caixas desencontradas (b). São Sebastião do Caí, 2007.



FIGURA 17. Forças detectadas pela esfera instrumentada nos três eixos, x, y e z durante a formação de um palete de quatro camadas com caixas de laranjas desencontradas. Porto Alegre, 2007.

TABELA 8. Forças máximas detectadas pela esfera instrumentada em três eixos na montagem de uma pilha de caixas de laranjas, esfera posicionada no fundo da caixa. Porto Alegre, 2007.

Estabelecimento 2			
Eixo X (Kg)	Eixo Y (Kg)	Eixo Z (Kg)	Soma Vetorial (Kg)
1,05	0,16	0,06	1,06
2,10*	0,29	0,31	2,14

*Caixas desencontradas

O manuseio pós-colheita cuidadoso é o mais importante passo para oferecer um maior volume de alimentos aos consumidores e prevenir perdas entre a colheita e o consumo, no entanto, este manuseio cuidadoso é, por muitas vezes, negligenciado (Fatima *et al.*, 2009).

Perdas pós-colheita incluindo frutos cítricos variam de 5-40% do total produzido no Paquistão (Ghafoor *et al.*, 2010). Em 2005, um diagnóstico apontou perdas de 45% do total produzido para frutos cítricos e, segundo Karachi *et al.*

(2005) as perdas se devem à estocagem imprópria, colheita não técnica, embalagem e manuseio inadequados.

No Brasil, são poucos os trabalhos recentes que mencionam os percentuais de perdas pós-colheita de frutos cítricos. Bueno *et al.* (1999) mencionam perdas regionais para a cidade de Lavras (Minas Gerais), sendo que os maiores volumes de perdas de frutos cítricos ocorreram com as laranjas doces (9,50%) e tangerinas 'Ponkan' (10,72%).

Com base nas medições realizadas com a esfera instrumentada é possível afirmar que durante o manuseio pós-colheita as laranjas sofrem inúmeras forças de impacto e compressão que são cumulativas durante o processamento do fruto e passíveis de provocar danos ao produto. Estas forças variam dependendo da etapa do beneficiamento e da forma como a mesma é realizado em cada estabelecimento.

Dos procedimentos investigados em packing houses, os frutos sofreram as maiores forças no enchimento de caixas no terminal de seleção e no ensacamento de frutos, especialmente no ajuste final para fechamento da sacola. Nestas etapas, a esfera chegou a detectar, em um dos ensaios realizados, forças de até 13,8 kg, o equivalente a 135 N.

Conforme Fagundes & Yamanishi (2002), o Ministério da Agricultura do Abastecimento e Reforma Agrária (MAPA) considera que o Brasil perde, anualmente, mais de 1 bilhão de dólares com frutas e hortaliças. Por exemplo: as porcentagens de perdas de mamão são estimadas em 23,7%. Segundo os autores, as perdas estão relacionadas com o porte do estabelecimento comercial, geralmente supermercados, que trabalham com maior volume de frutas ou com o

manuseio inadequado dos frutos pelos funcionários ou pelos próprios consumidores.

Nos ensaios realizados com a esfera instrumentada, as forças detectadas durante os distintos procedimentos e a observação do manuseio permitem identificar práticas inadequadas que potencializam a ocorrência de danos mecânicos capazes de prejudicar os frutos. Destas práticas, três se destacaram: o uso do silo de armazenamento, o embalamento em caixas e o embalamento em sacolas.

O uso do silo para o armazenamento de frutos está relacionado ao transporte a granel e seu uso é muito comum para frutos destinados à indústria. O uso deste tipo de silo para frutos de mesa é inadequado para acondicionar este produto. No ensaio realizado, as forças medidas provavelmente subestimam a compressão que um fruto pode sofrer nas camadas inferiores de um silo, visto que durante os quase 20 minutos do ensaio o silo não foi carregado até sua máxima capacidade. No entanto, apesar das medições de forças neste procedimento não terem atingido grandes magnitudes, deve-se salientar que estes frutos permanecem no silo até que sejam processados e embalados para venda, indicando que as camadas mais abaixo deste silo estão suportando as forças das camadas superiores durante períodos de tempo que podem chegar a dois dias.

Além deste aspecto, o ambiente de um silo com compartimentos capazes de armazenar até seis toneladas de frutas se torna pouco ventilado e propício ao desenvolvimento de microorganismos, principalmente *Penicillium*, agente causal da podridão verde e azul, responsáveis por perdas expressivas no

armazenamento pós-colheita de frutos cítricos. Existem ainda problemas estruturais nos silos como as varas de sustentação e as imperfeições da madeira das paredes, como as arestas, que podem provocar rompimento dos frutos ou ferimentos e assim potencializam a contaminação por patógenos de pós-colheita.

Por todas estas razões, a prática do silo deve ser repensada e se possível substituída, evitando, desta forma, prejuízos decorrentes dos danos mecânicos e de podridões pós-colheita. Repensar o uso do silo de armazenamento envolve repensar o transporte realizado a granel, visto que o sistema de transporte a granel necessita de um local onde os frutos possam ser descarregados prontamente assim que a carga chega ao estabelecimento. Apesar de ainda não existirem dados que mostrem as forças e as condições nas quais este transporte a granel é realizado, pode-se inferir pela situação atual das rodovias esburacadas que provavelmente este sistema seja prejudicial aos frutos. Neste sentido, uma alternativa que elimine o uso do silo seria a alteração no sistema de transporte, utilizando caixas ao invés de transportar a granel.

No embalagem com uso de caixas de comercialização, dois procedimentos distintos foram acompanhados. No estabelecimento 1, os frutos são deixados cair do terminal de seleção para a caixa e a esfera instrumentada registrou as forças de impacto neste caso. Sugere-se a redução da altura de queda entre a caixa e a saída dos terminais de seleção para atenuar as forças de impacto dos frutos com a caixa.

No estabelecimento 2, o procedimento de enchimento de caixa onde a caixa a ser preenchida é posicionada sobre os frutos é considerado inadequado pelas grandes forças de compressão detectadas. Na média foram detectados

9,44 Kg sobre a esfera instrumentada. Neste caso, este procedimento poderia ser modificado com o uso de uma mesa auxiliar ao lado do operador, onde o mesmo poderia apoiar a caixa a ser preenchida, evitando as forças de compressão excessivas sobre as laranjas.

No ensacamento, as laranjas sofrem uma queda de uma altura de aproximadamente um metro a partir do terminal de seleção. Uma vez repleta de laranjas, a sacola é içada manualmente e largada contra o piso algumas vezes, com o intuito de acomodar os frutos, o que gerou forças significativas sobre a esfera instrumentada. Tentativas de se evitar tal procedimento ou atenuá-lo deveriam ser consideradas para reduzir as forças incidentes sobre a fruta e seus possíveis prejuízos. Uma maneira alternativa de fazer este ajuste final poderia ser o uso de uma mesa vibratória, no entanto, seriam também importantes estudos sobre as forças de vibração sobre os frutos com o uso desta mesa. Também sugere-se a redução da altura de queda da sacola que poderia ser feita com uso de uma caixa da mesma forma que é realizado o procedimento de enchimento das caixas plásticas (Figura 12 a). Além disso, poder-se-ia utilizar algum material protetor para tentar reduzir as forças de impacto atuantes durante a queda e a acomodação dos frutos na sacola. Existem estudos que recomendam a utilização de superfícies emborrachadas, estas se caracterizam por sua elasticidade e absorvem melhor o impacto e, em consequência, proporcionam menor incidência de danos mecânicos, como foi observado em tomates por Magalhães *et al.* (2007).

Ao se avaliar as forças sofridas pelos frutos no processamento, a intensidade das forças e o tempo de exposição dos frutos a estas forças são

importantes. No caso do enchimento de caixas, talvez a intensidade seja maior e é preocupante, principalmente, porque em parte pode ser evitada por mudanças no procedimento. No entanto, as menores forças detectadas no silo, se em comparação com outros procedimentos, não podem ser desprezadas visto que o fruto aí permanece por maiores períodos de tempo.

Seguramente são necessários estudos adicionais de medição de forças durante o processamento de frutos cítricos durante o embalamento para que se tenha informações acerca das forças envolvidas em todas as etapas, algumas das quais não foram investigadas neste trabalho, como a higienização, a escovação e o transporte, e também para que se possa usar a informação gerada como fator de convencimento para propor mudanças durante o manuseio.

4.1.2 Forças envolvidas no embalamento de maçãs

Durante o embalamento das maçãs a esfera instrumentada detectou forças de impacto e compressão associadas à formação de uma pilha. Os impactos equivalem aos picos nos gráficos, enquanto que as compressões correspondem aos platôs (Figura 18).

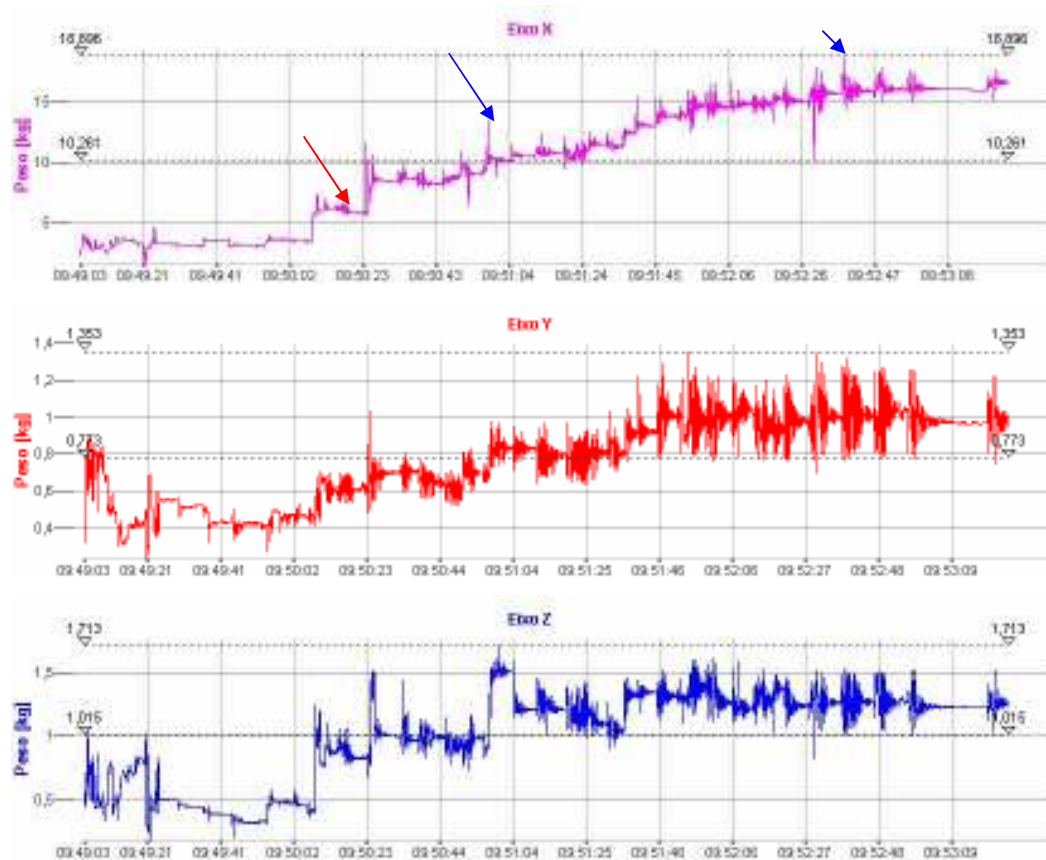


FIGURA 18. Forças registradas nos três eixos x, y e z da esfera instrumentada durante a formação de um palete de 56 caixas (8 camadas) com maçãs de calibre 135. Esfera posicionada na camada inferior do palete. Porto Alegre, 2007.

Em ambos os estabelecimentos foram determinadas forças significativas que variaram de 6 a 19 Kg na camada inferior da pilha durante o procedimento de paletização (Tabelas 9 e 10). Dos locais estudados, o primeiro apresentou as maiores forças envolvidas neste procedimento, provavelmente associado à altura do palete, que neste caso, era formado por oito camadas. Enquanto que no segundo local, o palete era constituído por sete camadas. Este resultado indica que o uso de paletes de 8 camadas (56 caixas) pode aumentar

consideravelmente a força exercida nas camadas inferiores da pilha, ocasionando possíveis problemas de danos mecânicos e prejuízos posteriores.

Durante a paletização a posição da caixa na pilha é relevante e determina as forças às quais os frutos estarão submetidos (Tabelas 9 e 10). Como já era esperado, as camadas inferiores estão expostas às maiores forças decorrentes da carga excessiva na formação do palete.

Uma das possíveis explicações para as forças encontradas nestes ensaios é o sobre-enchimento das caixas. Segundo Bender e colaboradores (2008), com o enchimento das caixas, as maçãs ultrapassam a borda superior da mesma para poder atender ao peso mínimo exigido da caixa padrão de papelão ondulado que é de 40 libras ou 18 Kg líquidos (Figura 19). Ainda segundo os mesmos autores, as caixas de papelão ondulado são fabricadas para suportar um determinado peso, mas o sobre-enchimento anula esta possibilidade e o problema toma maiores proporções na medida em que há o empilhamento das caixas, como na formação de uma pilha.



FIGURA 19. Sobre-enchimento de caixas de maçãs. Fonte: Renar João Bender. Caxias do Sul, 2008.

Não ocorreram grandes diferenças entre a posição da esfera nas camadas dentro da caixa (Tabela 10), de tal forma que a posição da caixa na pilha é mais

importante do que a posição das maçãs dentro da caixa para determinar as forças durante o embalamento.

Nestes experimentos foram detectadas forças de impacto e de compressão durante a formação do palete, no entanto, é importante salientar que uma vez formada a pilha, esta fica aguardando para ser movimentada e transportada durante um determinado período de tempo, que pode ser de semanas. Durante este período de tempo, o peso de um palete deveria ser suportado pelas caixas, assim, estas deveriam ser projetadas para suportar as forças durante um período considerável tempo. Estes ensaios são pontuais, e não estão sendo considerados os tempos de exposição dos frutos às forças observadas, mas certamente o tempo de exposição pode ser relevante na ocorrência de danos mecânicos e de seus efeitos sobre as maçãs.

TABELA 9. Forças medidas pela esfera instrumentada durante a paletização de 56 caixas (oito camadas) de maçãs calibre 135 e 90, estabelecimento de embalamento de maçãs 1. Porto Alegre, 2007.

Forças nos três eixos da E.I. (Kg)				
X	Y	Z	XYZ	Posição da caixa na pilha de maçãs cal 135
18,90*	1,35	1,71	19,02*	camada inferior
9,18	0,96	1,27	9,32	segunda camada
9,84	1,28	1,79	10,09	terceira camada
Forças nos três eixos da E.I. (Kg)				
X	Y	Z	XYZ	Posição da caixa na pilha de maçãs cal 90
8,51	1,81	3,59	9,41	camada inferior
3,52	0,52	1,81	3,99	segunda camada
3,03	0,75	1,59	3,50	terceira camada

*Valores de força máxima nos três eixos.

TABELA 10. Forças medidas pela esfera instrumentada durante a paletização de 49 caixas (sete camadas) de maçãs calibre 70, no estabelecimento de embalagem 2. Porto Alegre, 2007.

Forças nos três eixos da E.I. (Kg)					
X	Y	Z	XYZ	Posição da Esfera na caixa	Posição da caixa na pilha
5,83	1,64	0,25	6,06*	primeira camada/lateral	camada inferior
1,08	1,33	0,04	1,71	primeira camada/lateral	segunda camada
1,56	1,53	0,03	2,19	primeira camada/lateral	terceira camada
0,56	1,47	0,03	1,58	primeira camada/lateral	quarta camada
0,03	0,83	0,07	0,83	primeira camada/lateral	quinta camada
0,30	0,85	0	0,91	primeira camada/lateral	sexta camada
5,45	1,36	0,63	5,66	segunda camada/lateral	camada inferior
3,54	1,64	0,84	3,99	segunda camada/lateral	segunda camada

*Valores de força máxima nos três eixos.

As forças detectadas pela esfera durante a movimentação de uma pilha com a paleteira ou com a empilhadeira variaram de 9 a aproximadamente 26 Kg, sendo maiores do que as detectadas durante a formação do palete, dependendo do local e/ou tamanho da pilha e do calibre das maçãs (Tabelas 11 e 12). Assim como na formação da pilha, existem forças dinâmicas e estáticas envolvidas na movimentação, representadas por picos e platôs, onde as setas vermelhas indicam movimento de suspensão e as azuis de descarga da pilha pela empilhadeira (Figura 20).

Maiores valores de força durante o procedimento também foram encontradas no primeiro local estudado, com paletes compostos por oito camadas de caixas. No entanto, comparando com os resultados de formação do palete, as forças detectadas durante o movimento de suspensão e descarga pela empilhadeira são maiores em praticamente todas as posições estudadas.

TABELA 11. Forças detectadas pela esfera instrumentada durante a movimentação da pilha de 56 caixas (oito camadas) de maçãs calibre 135 e 90 por empilhadeira, estabelecimento de embalagem 1. Porto Alegre, 2007.

Força nos três eixos da esfera instrumentada (Kg).				
X	Y	Z	XYZ	Posição da caixa na pilha de maçãs calibre 135
19,72	1,63	2,13	19,90	camada inferior
25,59	2,05	1,86	25,74	camada inferior
23,87	2,16	2,40	24,09	camada inferior
9,84	1,28	1,79	10,09	segunda camada
10,59	1,52	2,73	11,04	terceira camada

Força nos três eixos da esfera instrumentada (Kg).				
X	Y	Z	XYZ	Posição da caixa na pilha de maçãs calibre 90
9,87	1,78	3,54	10,64	camada inferior
3,76	0,62	2,16	4,38	segunda camada
3,43	0,61	1,68	3,87	terceira camada

*Valores de força máxima nos três eixos.

TABELA 12. Forças detectadas pela esfera instrumentada durante a movimentação da pilha de 49 caixas (sete camadas) de maçãs calibre 70 com a paleteira, estabelecimento de embalagem 2. Porto Alegre, 2007.

Força nos três eixos da esfera instrumentada (Kg).					
X	Y	Z	XYZ	Posição da Esfera na caixa	Posição da caixa na pilha
8,21	3,53	1,66	9,09	primeira camada/lateral	camada inferior
0,69	0,82	0	1,07	primeira camada/lateral	segunda camada
2,19	2,14	0,12	3,07	primeira camada/lateral	terceira camada
0,56	1,47	0	1,58	primeira camada/lateral	quarta camada
0,07	0,47	0,04	0,48	primeira camada/lateral	quinta camada
0,43	0,87	0	0,97	primeira camada/lateral	sexta camada
7,34	2,14	1,60	7,81	segunda camada/lateral	primeira camada
4,21	1,64	0,84	4,59	segunda camada/lateral	segunda camada

*Valores de força máxima nos três eixos.

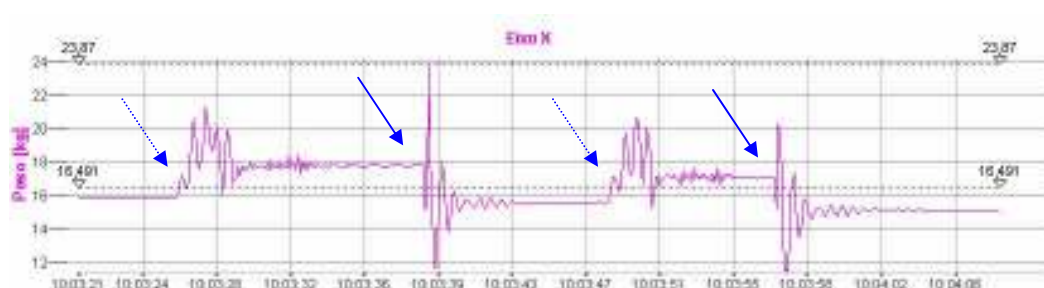


FIGURA 20. Movimentação da pilha de 56 caixas de maçãs de calibre 135 com uma paleteira. Esfera posicionada na camada inferior da pilha, eixo X. Setas pontilhadas indicam suspensão da pilha e setas inteiras descarga da pilha. Porto Alegre, 2007.

Segundo Bender *et al.* (2008), a movimentação de uma pilha com a empilhadeira ou paleteira indica que o transporte pode ser muito severo em termos de efeitos sobre a qualidade de maçãs. Apesar disso, tanto o transporte quanto a formação do palete são necessários, logo, deve-se pensar em uma forma de atenuar os efeitos das forças encontradas nestes experimentos. Uma das formas de atenuar estas forças seria reduzir a altura das pilhas, já que, uma camada a mais numa pilha aumenta as forças de compressão exercidas sobre os frutos, também é importante não arremessar as caixas na pilha e sim colocá-las. Ainda, segundo Bender *et al.* (2008), uma forma mais eficaz de lidar com o problema seria redesenhar a caixa de papelão ondulado, dando-lhe as dimensões necessárias para poder acondicionar o conteúdo exigido pela legislação sem que ocorra um sobre-enchimento e evitando, assim, que os frutos suportem o peso da carga, uma vez que, no sobre-enchimento de caixas as cantoneiras da caixa não mais suportam as forças exercidas pelas camadas acima dela, que passam a ser suportadas pelas maçãs (Bender *et al.*, 2008).

Forças de compressão podem ser aplicadas pelo manuseio do colhedor; pelo peso de um bin, quando esse apresenta profundidade excessiva; por uma pilha muito alta de caixas; por equipamentos, como empilhadeiras, ou equipamentos de limpeza e enceramento, que apresentam estreitamentos na linha de movimentação ocasionando bloqueio repentino do fluxo de maçãs à medida que avançam na máquina classificadora (Brown *et al.*, 1993).

No presente estudo foram investigadas principalmente as forças de compressão que ocorrem durante o empilhamento e a movimentação dos paletes. No entanto, durante o manuseio pós-colheita, maçãs passam por um

processamento que envolve outras etapas como a movimentação do Bin do campo ao packing house, procedimentos de higienização e de classificação. De um modo geral, machucados podem ser atribuídos às seguintes operações de manuseio dentro das casas de embalagem: manuseio dos bins, transferência entre os componentes da linha de embalagem (dos lavadores para secadores, etc.), sincronização entre os componentes (do dosador para o classificador) e a velocidade de operação do embalagem (Brown *et al.*, 1993). Desta forma, durante o processamento existem procedimentos, não avaliados neste estudo, que merecem investigação para que se tenha uma idéia mais completa dos pontos de possível ocorrência de forças capazes de produzir danos mecânicos e também para que se possa intervir na tentativa de amenizar as maiores forças envolvidas no processamento e, assim, reduzir os prejuízos advindos dos danos mecânicos.

4.2 Efeitos de danos mecânicos em maçãs e frutos cítricos

4.2.1 Efeitos de danos mecânicos em maçãs

Danos mecânicos por impacto e compressão apresentam características distintas. Danos mecânicos por impacto são muito severos, pois ocasionam oxidação dos tecidos da polpa pelo rompimento de células e extravasamento do conteúdo celular e seu efeito visual externo é percebido rapidamente, em aproximadamente duas horas após a ocorrência do dano. Compressões, por outro lado, geram danos menos severos, e, ao contrário das lesões nítidas observadas decorrentes dos impactos, as forças de compressão não produzem lesões evidentes e visíveis externamente. Muitas vezes nem após o corte é possível identificar com clareza a lesão (Figura 21). Por esta razão é mais fácil

estudar a formação da lesão provocada por danos mecânicos de impacto do que aquelas provocadas por compressão.

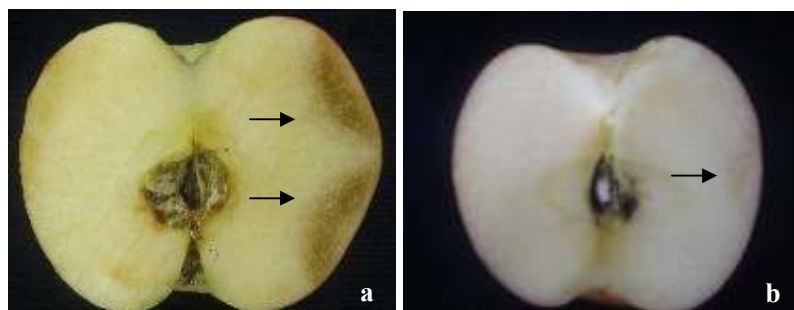


FIGURA 21. Lesões decorrentes de danos mecânicos em maçãs cultivar Fuji Suprema, decorrentes de impactos a uma altura de 40 cm (a) e compressões de 125 N (b). Setas indicam local da lesão. Porto Alegre, 2008.

Além dos efeitos visuais externos já descritos, as maçãs da cultivar Fuji Suprema quando submetidas a impactos apresentaram rompimento interno seguido da liberação de suco na porção calicial (Figura 22 a). A porção calicial do fruto parece ser mais sensível à liberação do suco e o fruto geralmente não apresenta nenhum rompimento no epicarpo.

Em contrapartida, observou-se o rompimento do epicarpo e a liberação de suco na porção peduncular, neste caso, geralmente associado ao dano provocado pelo pedúnculo durante o choque (Figura 22 b). Neste estudo, observou-se o extravasamento de suco resultante do choque das maçãs 'Fuji Suprema' contra uma superfície rígida, onde o percentual de frutos com sintoma foi de aproximadamente 39% para a altura de queda de 100 cm. A liberação de suco variou significativamente em função da intensidade do tratamento (Figura 23). Menores alturas de queda também resultaram em extravasamento do suco, indicando a predisposição desta cultivar ao rompimento celular interno e extravasamento de suco quando submetida aos impactos.



FIGURA 22. Extravasamento do suco resultante do tratamento de impacto em maçãs 'Fuji Suprema'. Liberação do suco na porção calicial (a) e peduncular (b). Seta indica local de liberação do suco. Porto Alegre, 2009.

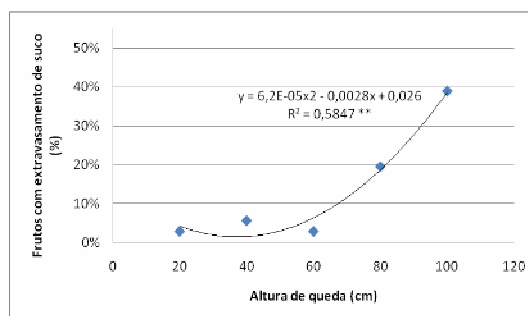


FIGURA 23. Extravasamento de suco resultante de impactos em maçãs cultivar Fuji Suprema em função da altura de queda. Porto Alegre, 2009.

Danos mecânicos provocaram incremento nas taxas respiratórias em ambas as cultivares de maçã (Figura 24 e 25). Houve um incremento maior no período entre quatro e seis horas após a aplicação dos tratamentos e uma redução nas taxas de produção de CO₂ após 24 horas do mesmo. O tratamento de queda a uma altura de 160 cm para cultivar Fuji Suprema é uma exceção. Neste tratamento há um incremento significativo na produção de CO₂ posterior ao período de 24 horas de aplicação do tratamento (Figura 24 a).

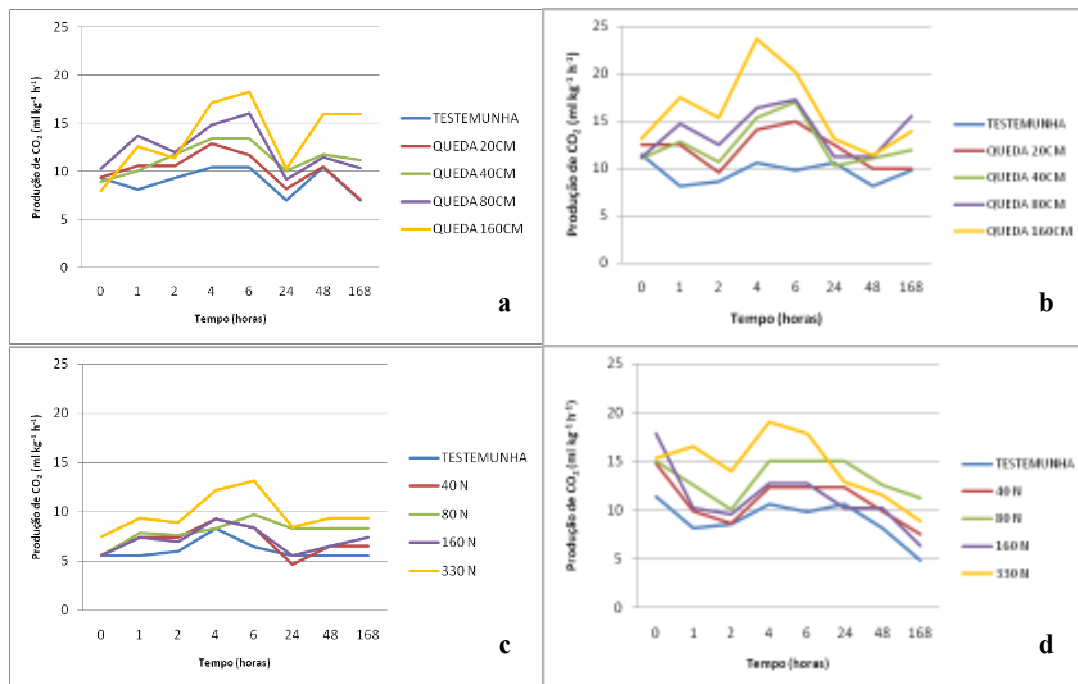


FIGURA 24. Produção de CO₂ em maçãs 'Fuji Suprema' (a e c) e 'Royal Gala' (b e d) submetidas aos danos mecânicos por impacto (a e b) e compressão (c e d) durante sete dias sob temperatura ambiente (20 ± 2°C. Porto Alegre, 2009).

Para a maioria dos tratamentos de impacto e compressão, o incremento nas taxas respiratórias ocorre nas primeiras horas após o tratamento, principalmente entre 4 e 6 horas. É possível visualizar a resposta dos tratamentos de acordo com a intensidade dos mesmos pela separação das curvas no caso dos frutos expostos às forças de impacto (Figura 24 a e b). Nesta situação, as maçãs expostas ao tratamento de queda a uma altura maior são aquelas que apresentam maiores incrementos nas taxas respiratórias ao longo do experimento. Já no caso dos tratamentos de compressão, a separação das curvas não é visualizada com tanta clareza, ainda assim, o tratamento de maior intensidade produziu o maior efeito sobre as taxas respiratórias (Figura 24 c e d).

Os efeitos da intensidade dos tratamentos sobre a respiração celular podem ser melhor entendidos pela análise de regressão (Figura 25). As curvas de

resposta da respiração aos danos mecânicos provocados por impacto e compressão são regressões polinomiais. Em ambas as cultivares há efeito da intensidade dos danos mecânicos sobre a atividade respiratória, com incremento das taxas respiratórias em função da intensidade dos tratamentos. As taxas respiratórias das maçãs submetidas aos impactos tiveram um incremento que variou, em média, de 19% a 55%, do tratamento menos intenso ao mais intenso para maçãs 'Fuji Suprema', e de 38% a 100% para a 'Royal Gala' em média.

Nas maçãs submetidas a compressões, o incremento variou, em média, de 24% a 66% na cv. Fuji Suprema, considerando o tratamento menos intenso ao mais intenso, e de 16% a 82% na cv. Royal Gala.

Comparando-se a resposta das taxas respiratórias nos dois tipos de danos mecânicos percebe-se que, em termos absolutos, as taxas respiratórias chegam a valores mais elevados quando os frutos são submetidos aos impactos em ambas as cultivares.

Entre as cultivares estudadas, a 'Royal Gala' apresentou incrementos maiores nas taxas respiratórias em função dos danos mecânicos aplicados.

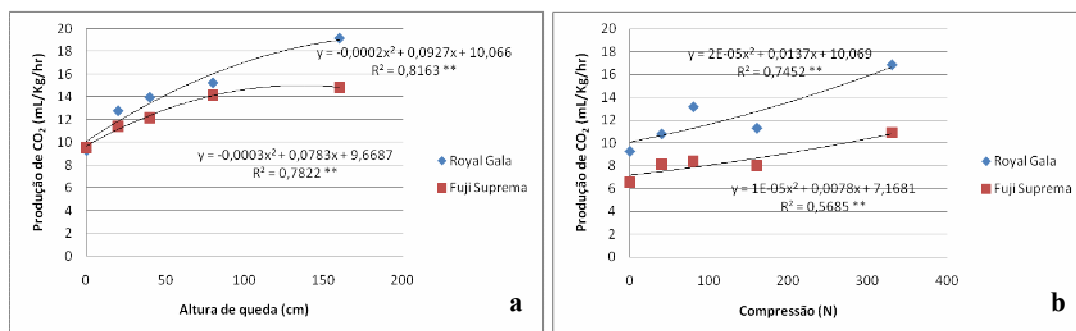


FIGURA 25. Produção de CO₂ em maçãs 'Fuji Suprema' e 'Royal Gala' em função da intensidade do dano mecânico por impacto (a) e compressão (b). Porto Alegre, 2009.

Taxas respiratórias são indicadores de atividade metabólica de hortaliças, podendo indicar quão rápido senescem (Blanke, 1991). De um modo geral, frutos e outros produtos hortícolas com altas taxas respiratórias tendem a ter vida de prateleira curta, enquanto que aqueles com baixas taxas respiratórias tendem a ter maior vida de prateleira (Kader, 1985; Blanke, 1991; Wills *et al.*, 1998).

Os vegetais submetidos à vibrações e danos mecânicos, em geral, aumentam suas taxas respiratórias em comparação com as testemunhas (Pisarczyk *et al.*, 1982; Saltveit *et al.*, 1982; Mao *et al.*, 1995). No entanto, nem todos os trabalhos que investigam a respiração celular em produtos frescos danificados encontram respostas significativas de incremento para essa variável. No trabalho de Steffens e colaboradores (2008) não houve respostas significativas em função de danos mecânicos de impacto a uma altura de queda de 20 cm. Ao contrário do proposto por Steffens (2008), o presente trabalho evidenciou incremento nas taxas respiratórias das maçãs em função dos tratamentos de dano mecânico aplicados. Há um acréscimo na taxa respiratória, principalmente nas primeiras horas após o tratamento, seguida de posterior redução após vinte e quatro horas do mesmo. Uma possível explicação para estas diferenças pode estar nos períodos de avaliação após a aplicação do dano mecânico. No presente trabalho, avaliou-se a intensidade respiratória ao longo do tempo incluindo curtos intervalos, de horas apenas, após o tratamento em resposta a dois tipos de danos mecânicos, impactos e compressões e quatro intensidades de dano mecânico. O trabalho de Steffens (2008) testou duas quedas a 20 cm e as avaliações da respiração ocorreram com intervalos de dias após o tratamento. Avaliações em períodos mais longos após a exposição ao

dano mecânico poderiam ser a razão pela qual os autores não determinaram respostas significativas em termos de incremento nas taxas respiratórias de maçãs.

Outros trabalhos, no entanto, obtiveram incremento nas taxas respiratórias em função dos danos mecânicos em produtos hortícolas, como peras (Agar & Michan, 2000), goiabas (Mattiuz; Durigan, 2001a), mandioquinha salsa (Henz *et al.*, 2005) e lima ácida Tahiti (Durigan *et al.*, 2005).

Os incrementos nas taxas respiratórias podem estar relacionados às tentativas de reparo dos tecidos aos processos degradativos provenientes da danificação. Uma das explicações para a ascensão respiratória que ocorre durante o climatério está relacionada com uma reação homeostática dos tecidos (tentativa de reparo) aos processos degradativos de senescência incipiente (Romani, 1987 apud Argenta, 2002).

A perda de massa fresca variou significativamente em função dos tratamentos de impacto e compressão para ambas as cultivares de maçãs estudadas (Figura 26). Ocorreu aumento da perda de massa fresca das maçãs e este aumento foi dependente da intensidade dos tratamentos aplicados. Maiores intensidades de força de compressão ou altura de queda produziram maiores perdas na massa fresca das maçãs. Os incrementos na perda de massa fresca nos tratamentos mais intensos testados em relação à testemunha foram de 35% para 'Fuji Suprema' e 52% para 'Royal Gala' no caso dos danos por impacto, e de 32% para 'Fuji Suprema' e 57% para 'Royal Gala' no caso das compressões.

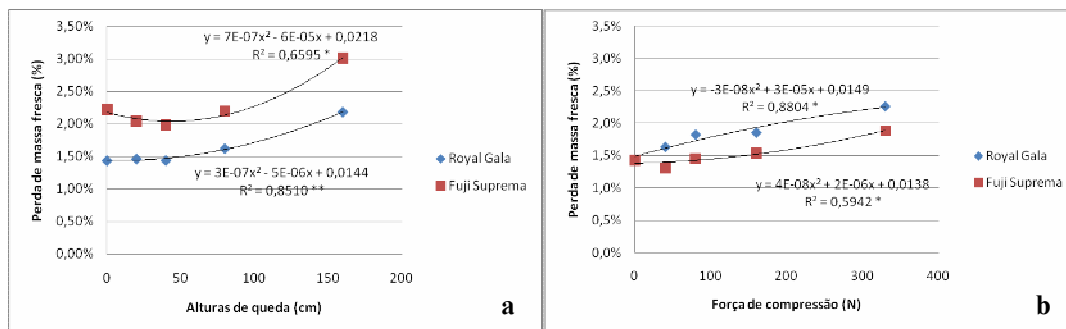


FIGURA 26. Perda de massa fresca em maçãs em maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Fuji Suprema’ submetidas a impactos (a) e compressões (b). Porto Alegre, 2009.

A perda de massa em produtos frescos é decorrente da perda de água por transpiração e pelos processos de respiração celular (Hernandez-Munoz, 2006). Durigan *et al.* (2005) avaliaram a influência de danos mecânicos por impacto, compressão e corte em limas ácidas e concluíram que a maior perda de massa ocorreu em função do corte, seguido do impacto e da compressão. Outros trabalhos evidenciaram que impactos são mais prejudiciais que compressões, como descrito para mangas ‘Keitt’ (Durigan, 2003), pêssegos (Kasat, 2003) e abacates (Sanches *et al.*, 2004). No presente estudo, impactos também foram mais prejudiciais que compressões em maçãs ‘Fuji Suprema’.

Em relação à firmeza de polpa, os resultados indicam que, de modo geral, houve redução da variável em função dos tratamentos de compressão e impacto aplicados em ambas as cultivares de maçãs estudadas (Figura 27). No entanto, esta redução tendeu a ser maior para cultivar Royal Gala e nos tratamentos de impacto, uma vez que a firmeza de polpa passou de 48 N para 42 N, ou seja, uma redução de 11% da firmeza em relação aos frutos sadios. No tecido lesionado a redução foi ainda maior, passando de 48 N para 17 N. Uma redução de 64% em relação à firmeza inicial. A resposta desta cultivar aos tratamentos de compressão também foi significativa, sendo que as perdas de firmeza na polpa chegaram a

aproximadamente 13% na região equatorial e 6% na região apical do fruto, em relação ao fruto que não sofreu o tratamento.

Para a cultivar Fuji Suprema, as respostas aos danos aplicados foram significativas apenas na região injuriada no caso dos tratamentos de impacto e na região equatorial para os tratamentos de compressão (Figura 27 c e d). O tratamento de impacto não produziu modificações significativas sobre o fruto como um todo, como ocorreu para 'Royal Gala'. Neste caso, a firmeza de polpa na região lesionada passou de 62 para 41 N, uma redução de 34%. Compressões também influenciaram significativamente a firmeza de polpa na região equatorial do fruto, onde as perdas foram de até 10 N.

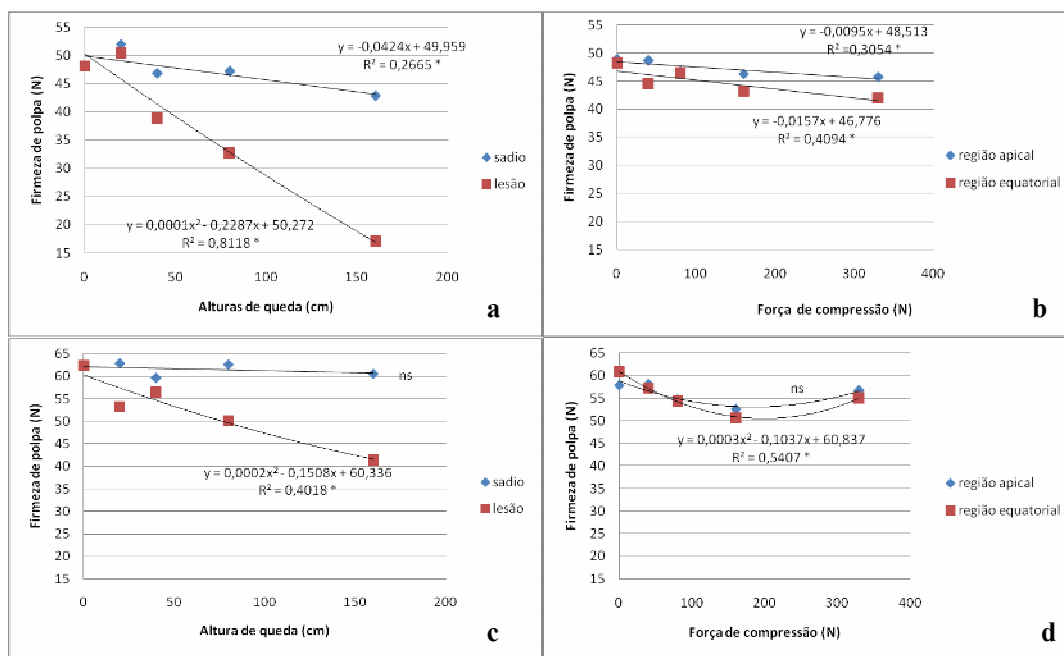


FIGURA 27. Firmeza de polpa em maçãs 'Royal Gala' submetidas a impactos (a), compressões (b), e em maçãs 'Fuji Suprema' submetidas a impactos (c) e compressões (d). Porto Alegre, 2009.

Reduções da firmeza de polpa em decorrência de danos mecânicos já foram visualizadas em outros frutos colhidos. Impactos resultaram em redução da

firmeza de caquis cultivar Taubaté (Santos *et al.*, 2008) e em pêssegos Aurora 1 armazenados a 10°C (Kasat *et al.*, 2007). Zhoua *et al.* (2007) em um estudo com peras demonstrou que frutos injuriados por vibração durante o transporte apresentaram taxas maiores de amolecimento durante o armazenamento a temperatura ambiente.

Para maçãs, a firmeza da polpa é um dos mais importantes atributos de qualidade (Pitts *et al.*, 1997), por isso os padrões para classificação incluem um valor mínimo de firmeza de polpa. É também importante salientar que além da perda qualitativa alguns pesquisadores associam a perda de firmeza devido ao metabolismo dos carboidratos durante o armazenamento com o incremento a susceptibilidade às infecções por patógenos, como fungos (Conway *et al.*, 1987). Apesar da importância da firmeza, não são muitos os trabalhos que avaliam os efeitos do dano mecânico sobre a firmeza de polpa das maçãs. Steffens e colaboradores (2008) avaliaram o efeito dos impactos a uma altura de 20 cm e não encontraram diferença significativa entre o tratamento controle e o de dano mecânico para variável firmeza de polpa.

Estes resultados não contrastam com os encontrados no presente trabalho, visto que as menores alturas de queda tampouco provocaram grandes reduções na firmeza de polpa. No entanto, este trabalho permite entender a associação entre a magnitude das forças de compressão e das alturas de queda na variável resposta firmeza de polpa, já que investiga diferentes intensidades de danos mecânicos. Permite ainda entender que há diferença entre o tecido do fruto não danificado e danificado diretamente pelo dano mecânico de impacto, onde o último é muito mais prejudicado em termos de redução da firmeza de polpa, mas

que também há resposta no tecido que não foi diretamente injuriado, como no caso da cultivar Royal Gala.

Modificações na coloração do epicarpo foram identificadas pelas variáveis de luminosidade, ângulo hue e cromaticidade da cor em maçãs lesionadas por impacto (Figura 28). Destes resultados se destacam aqueles referentes ao tecido lesionado das maçãs e para as variáveis de luminosidade e cromaticidade da cor (Figura 28 a, b, e e f). Observa-se uma redução nos valores de luminosidade da cor em função dos tratamentos de impacto na região lesionada de ambas as cultivares para coloração de fundo do epicarpo, e, apenas para cultivar Royal Gala, na coloração de recobrimento do epicarpo (Figura 28 a e b).

A luminosidade é um indicativo da iluminação da cor, onde 0 indica preto e 100 indica branco em uma mesma cor, assim os menores valores de luminosidade encontrados na região lesionada significam uma coloração mais escura. Os valores de cromaticidade da cor mostram um comportamento similar, onde também os tecidos lesionados são os que apresentam as maiores variações em função dos tratamentos de impacto, e evidenciam que há uma redução significativa em função dos tratamentos (Figura 28 e e f). Novamente os efeitos significativos para o tecido lesionado na cultivar Fuji Suprema ocorrem apenas para a coloração de fundo do epicarpo, enquanto que para Royal Gala também ocorrem na coloração de recobrimento. A cromaticidade indica a pureza ou saturação da cor, ou seja, os reduzidos valores de cromaticidade indicam uma cor menos pura ou menos intensa. As cores de recobrimento do epicarpo (vermelho) em maçãs Fuji Suprema danificadas não mostram as diferenças encontradas na cultivar Royal Gala. Uma possível explicação para este fato provavelmente está

na coloração vermelho mais escura característica desta cultivar que pode mascarar os efeitos da oxidação da polpa. Desta forma, em termos de modificações externas provocadas por danos mecânicos de impacto a cultivar Royal Gala é mais suscetível do que a Fuji Suprema.

A modificação da coloração pode ocorrer no tecido sadio em função dos tratamentos aplicados, como no caso do ângulo hue para 'Fuji Suprema' para coloração de fundo (Figura 28 d) e incrementos na cromaticidade para 'Fuji Suprema' e 'Royal Gala' na coloração de recobrimento do epicarpo (Figura 28 e). Em sua maioria estes resultados apresentam coeficientes de determinação (r^2) mais baixos, e em alguns casos não há uma tendência clara de redução ou incremento na variável.

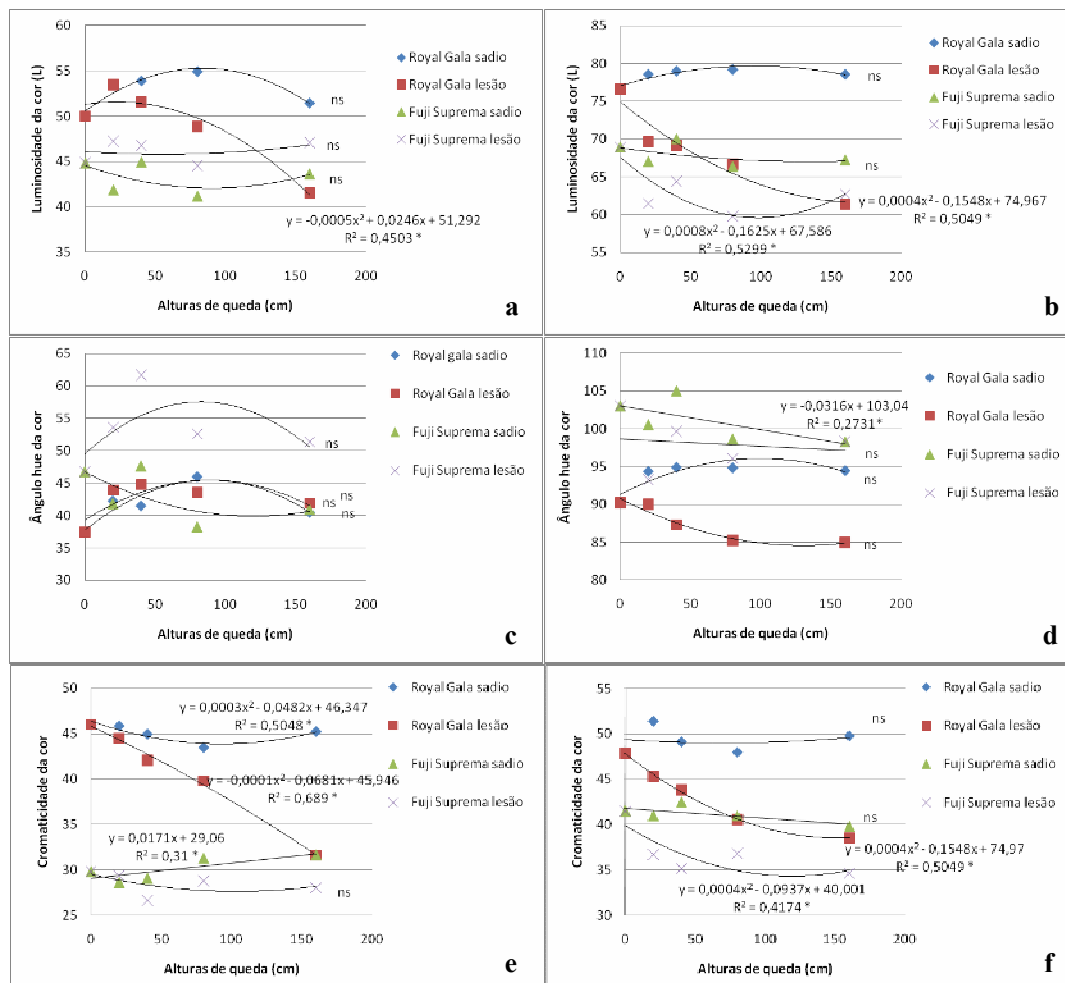


FIGURA 28. Luminosidade da cor (a e b), valor do ângulo hue (c e d) e valor da cromaticidade (e e f) da cor na coloração de recobrimento do epicarpo (a, c, e) e na coloração de fundo (b, d, f), acessados no tecido sadio e lesionado de maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Fuji Suprema’ submetidos a danos mecânicos de impacto. Porto Alegre, 2009.

Já para os tratamentos de compressão, a única resposta significativa ocorreu para o ângulo hue, onde não houve uma tendência clara de redução ou incremento em função dos tratamentos aplicados (Figura 29).

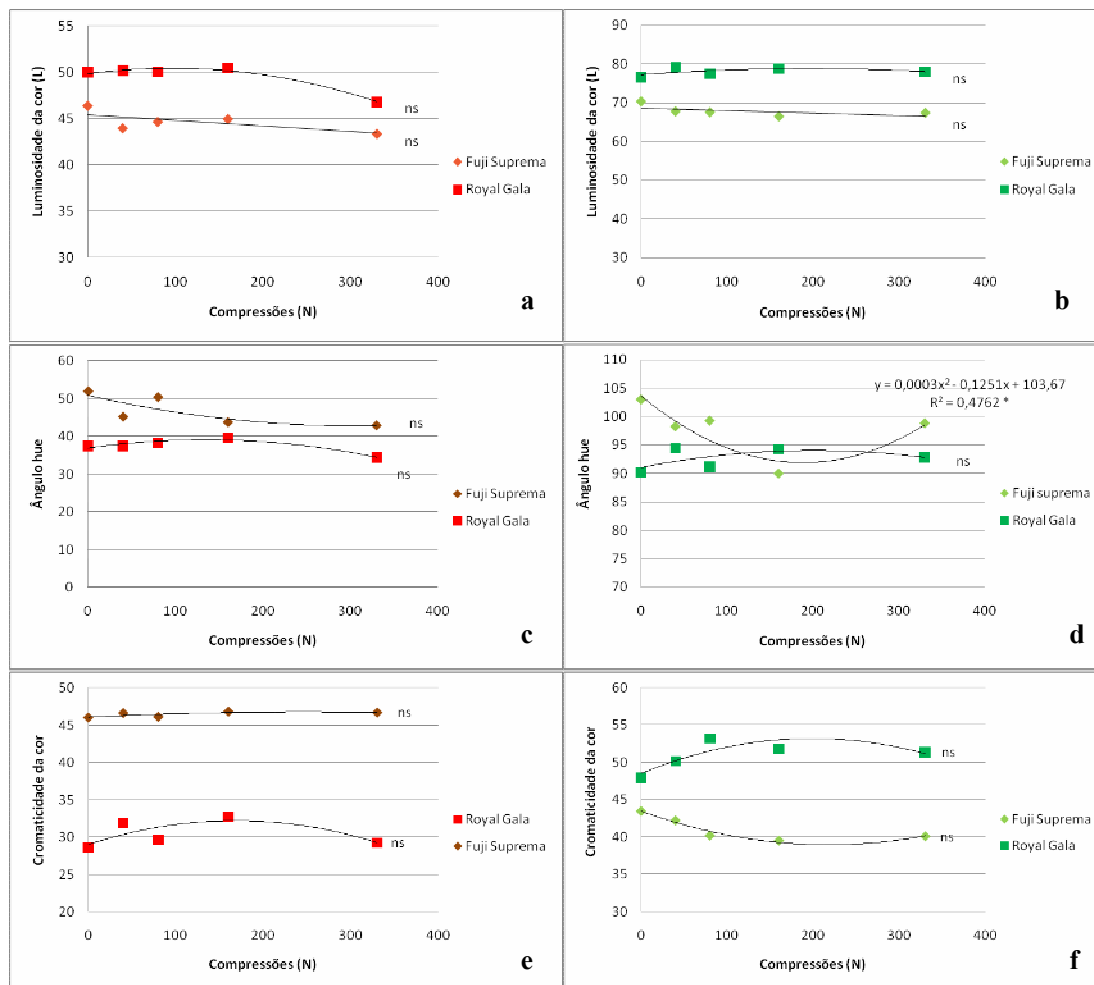


FIGURA 29. Luminosidade da cor (a e b), ângulo hue da cor (c e d) e cromaticidade da cor (e e f) na coloração de recobrimento do epicarpo (a, c, e) e na coloração de fundo (b, d, f) em maçãs 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' submetidas a compressões. Porto Alegre, 2009.

Lee (2005) não encontrou diferenças significativas para luminosidade da cor em tomates que sofreram quedas de uma altura de 40 cm. O pesquisador avaliou a coloração em todo o fruto e não na região lesionada. No mesmo trabalho, a variável cromaticidade apresentou resultados significativamente menores que a testemunha. Sanches *et al.* (2008), trabalhando com abacates danificados por compressão, encontraram reduções na luminosidade da cor das

áreas danificadas em relação às áreas sadias. Os mesmos autores não encontraram diferenças quanto ao ângulo hue e observaram diferenças quanto à cromaticidade no tratamento mais intenso de compressão, apenas para a parte danificada do fruto. Em goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato, a área injuriada apresentou-se mais escura nos frutos submetidos às injúrias de impacto, compressão e corte (Mattiuz & Durigan, 2001b).

Em pêssegos 'Aurora 1' houve aumento do ângulo hue nas áreas injuriadas da polpa, que, segundo Kasat *et al.* (2007), pode ter sido influenciada pela oxidação de compostos responsáveis pelo escurecimento. Durigan *et al.* (2005) evidenciaram que a injúria por impacto levou limas-ácidas 'Tahiti' à uma maior perda na cor verde, principalmente nas regiões lesionadas. Em peras submetidas a vibrações durante o transporte também ocorreram modificações de cor. Houve manutenção da cor nos tratamentos controle, com maiores valores da luminosidade, hue e chroma, em relação aos frutos que sofreram dano por prolongado transporte (Zhoua *et al.*, 2007).

Em um estudo com maçãs 'Granny Smith' submetidas a impactos foram observadas modificações significativas na cromaticidade, com reduções de 12% em relação a testemunha, e não houve modificações no ângulo hue ou na luminosidade da cor (Samim & Banks, 1993). Estes pesquisadores também seccionaram os frutos e obtiveram as variáveis de cor na polpa, e, neste caso, encontraram variações maiores e em todas as variáveis da cor. Segundo os autores, variações na cor ocorrem dentro de poucas horas após a aplicação do dano mecânico. O tecido fica mais escuro (reduções na luminosidade), tendendo para o marrom (reduções no ângulo hue) e mostra incrementos na intensidade da

cor (aumento da cromaticidade) depois de danificado. Os autores atribuem estes efeitos à ruptura celular seguida da oxidação de compostos fenólicos e encharcamento do tecido danificado.

As alterações externas decorrentes dos danos mecânicos geralmente se referem às modificações de coloração do epicarpo dos frutos como um todo. Estas alterações podem ser decorrentes de um avanço na coloração por degradação e síntese de compostos devido à aceleração nos processos de maturação do fruto, como na lima ácida 'Tahiti'. Nesta, o aumento da luminosidade associado ao aumento na cromaticidade e à diminuição do ângulo de cor, revela que houve perda da cor verde, fazendo com que os frutos adquirissem tonalidade amarelada, resultante da redução nos conteúdos de clorofila (Durigan, 2005). Ou decorrentes das modificações pontuais que ocorrem na lesão por oxidação dos tecidos da polpa, conforme visualizado na casca de peras durante o transporte (Zhoua *et al.*, 2007).

As principais modificações em termos de coloração encontradas no presente estudo ocorreram nos danos provocados por impactos e principalmente nas regiões lesionadas, indicando que estas alterações da coloração externa estão relacionadas às modificações de cor geradas na polpa das maçãs (Figura 20). A principal explicação para estas modificações de cor na polpa é a oxidação dos tecidos, os quais se tornam mais expostos a ação enzimática decorrente da ruptura após o dano mecânico. Com o provável rompimento das células, devido à magnitude da força empregada, ocorre o extravasamento do líquido celular e sua conseqüente exposição à ação enzimática, resultando em oxidação de compostos fenólicos a quinonas, o que leva ao aparecimento de pigmentos de coloração

marrom (Radi *et al.*, 1997). Estes pigmentos são passíveis de serem visualizados externamente. Neste trabalho, no entanto observou-se que esta visualização depende da cultivar e da localização da lesão no tecido. Assim, as modificações de cor ocorrem em ambas as cultivares estudadas, no entanto, a 'Royal Gala' pode ser considerada mais suscetível, já que apresentou modificações no epicarpo tanto para coloração de recobrimento (vermelho) como para coloração de fundo (amarelo), o que não ocorreu com a 'Fuji Suprema'.

Em relação às variáveis qualitativas internas sólidos solúveis, acidez titulável e ratio, ocorrem modificações em função dos danos mecânicos (Figura 30). Há uma tendência a redução nos teores de ácidos na maçã 'Royal Gala' em função dos tratamentos de dano mecânico. Apesar disso, uma redução significativa da acidez em função dos tratamentos aplicados ocorre apenas para os danos produzidos por impactos (Figura 30 a e b). A variação significativa da acidez em função dos tratamentos de compressão ocorre para maçã cultivar Fuji Suprema, no entanto, não há uma tendência clara de redução nos teores de ácidos, visto que o tratamento de dano mais intenso provocou incremento nesta variável, provavelmente associado a concentração destes compostos pelo incremento na perda de água após os tratamentos. As reduções nos teores de ácidos para cultivar Royal Gala sob tratamento de impacto chegaram a aproximadamente 8% no tratamento mais intenso.

Tendências de redução nos teores de sólidos solúveis em função dos danos mecânicos são visíveis para os tratamentos de impacto, ainda assim, variações significativas em função da intensidade do dano aplicado ocorrem apenas para a cultivar Royal Gala, onde a redução chegou a 12% no tratamento

mais intenso (Figura 30 c e d). No caso das compressões não ocorreram variações significativas em função dos tratamentos de dano mecânico.

O ratio variou significativamente em função dos tratamentos de compressão aplicados na cultivar Fuji (Figura 30 e e f) sem haver uma tendência clara de incremento ou redução na variável. Uma tendência de incremento no ratio ocorreu para cultivar Royal Gala danificada, mas esta não variou significativamente em função dos tratamentos aplicados. Desta forma, não é possível estabelecer uma relação entre sólidos e ácidos com as diferentes intensidades dos danos mecânicos.

O resultado do ratio é uma consequência do teor de ácidos e sólidos solúveis, e é um importante indicativo de maturação do fruto, onde um incremento no ratio indica avanço nos processos de maturação das maçãs, além de modificação no sabor. Um incremento no ratio em função dos tratamentos seria esperado, mas os dados de acidez e sólidos solúveis nem sempre variaram em função dos tratamentos, e o ratio nada mais é que a relação entre ambos, logo, tampouco apresentou variação significativa na maioria dos casos.

As principais modificações no sabor das maçãs em função dos danos mecânicos ocorreram para as variáveis sólidos solúveis e acidez titulável, principalmente para os danos mecânicos de impacto e para cultivar Royal Gala, evidenciando que os impactos são mais prejudiciais e que a cultivar Royal Gala é mais propensa a apresentar modificações de sabor quando submetida aos impactos.

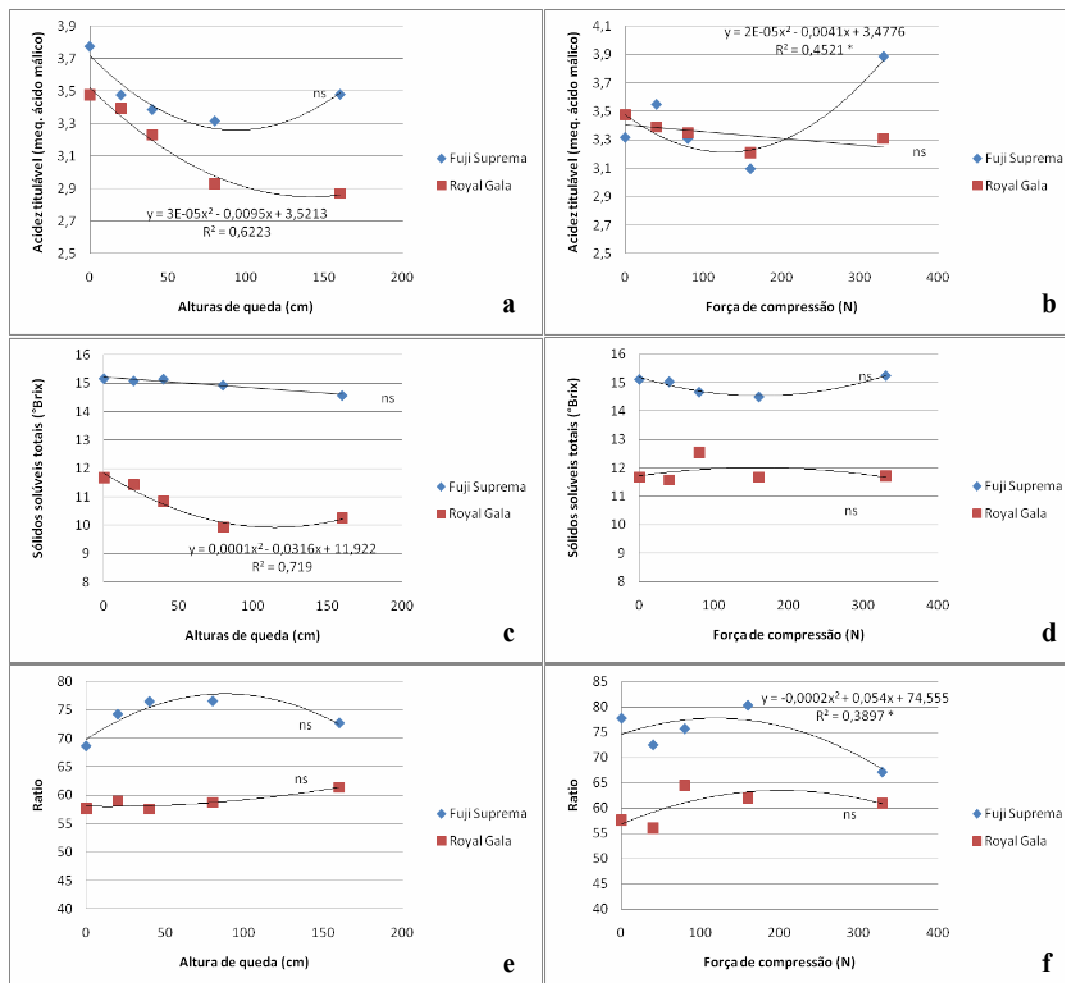


FIGURA 30. Teores de acidez titulável, sólidos solúveis totais e ratio em maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Royal Gala’ submetidas a impactos (a, c, e) e a compressões (b, d, f). Porto Alegre, 2009.

Reduções na variável acidez titulável também ocorreram em pêssegos ‘Aurora 1’ submetidos a cortes e impactos (Kasat *et al.*, 2007), em lima ácida Tahiti submetida a compressões, impactos e cortes (Durigan *et al.*, 2005), em tangerinas cultivares Montenegrina e Rainha submetidas a impactos (Montero *et al.*, 2009), em tangerinas ‘Ponkan’ submetidas a compressão (Santos *et al.*, 2008), em goiabas submetidas a impactos, compressões e cortes (Mattiuz & Durigan, 2001) e em tomates submetidos a injúria mecânica por impactos (Moretti, 1998b). Trabalhos com goiabas de Mattiuz & Durigan (2001a), lima ácida

'Tahiti' de Durigan *et al.* (2005) e tangerinas 'Montenegrina' de Montero *et al.* (2009) demonstraram redução nos teores de sólidos solúveis nos frutos danificados. Há trabalhos, no entanto, onde esta diferença não aparece, no mesmo trabalho com a tangerina 'Montenegrina' anteriormente citado, Montero e colaboradores (2009) também estudaram os efeitos de danos mecânicos em tangerinas 'Raínha' e, neste caso, não observaram diferenças significativas. Sanches e colaboradores (2008) não observaram diferenças para acidez titulável em abacates quando submetidos a impactos, compressões e cortes. Para maçãs, o trabalho de Steffens e colaboradores (2008) também não encontraram diferenças para esta variável no caso de impactos a uma altura de 20 cm. Similarmente, o presente trabalho não evidenciou diferenças tão acentuadas nos teores de sólidos solúveis das maçãs, além disso, nem sempre as variações encontradas são função dos tratamentos aplicados.

As reduções de acidez titulável e sólidos solúveis encontradas no presente estudo podem ser explicadas pelo consumo destes como substrato do metabolismo respiratório (Argenta, 2002), e especialmente considerando que ocorreu um incremento no metabolismo respiratório nas primeiras horas após a aplicação dos danos mecânicos nos frutos danificados, conforme discutido anteriormente.

As modificações qualitativas em termos de redução do teor de ácidos e sólidos solúveis podem estar associadas ao consumo destes componentes pela respiração celular na cultivar Gala, no entanto, estes resultados não se confirmam para a cultivar Fuji Suprema, já que nesta, apesar do incremento nas taxas respiratórias, não houve respostas significativas em termos de perdas de ácidos e

sólidos solúveis. As possíveis explicações para as diferenças encontradas em termos de alterações qualitativas internas entre as cultivares estudadas podem estar relacionadas ao metabolismo respiratório e à produção e ação do etileno, hormônio responsável por induzir os processos envolvidos no amadurecimento dos frutos.

A redução do metabolismo e da ação do etileno em maçãs contribui para retenção da firmeza de polpa e preservação da acidez titulável e dos sólidos solúveis, fontes das principais alterações que ocorrem em maçãs durante o período de conservação pós-colheita (Corrent *et al.*, 2005). De acordo com Steffens *et al.* (2008), a maior produção de etileno, desencadeada pelo dano mecânico, pode acelerar o processo de amadurecimento, reduzindo a vida pós-colheita dos frutos.

No entanto, trabalhos com a cultivar Fuji a descrevem como sendo uma cultivar com metabolismo respiratório e do etileno significativamente menos intensos do que as cultivares do grupo Gala, e com média a baixa sensibilidade ao etileno (Corrent *et al.*, 2005). Outros pesquisadores consideram a sensibilidade da cultivar Fuji ao etileno como sendo baixa, visto que mesmo em concentrações elevadas do hormônio, as maçãs apresentam qualidade elevada para o consumo (Brackmann *et al.*, 2001). Além disso, Saquet & Streif (2002) trabalhando com oito cultivares de maçãs mediram as taxas de produção de etileno em diversas concentrações de oxigênio e determinaram que em condição ambiente a produção do etileno é dez vezes maior na cultivar Gala que na Fuji. Os mesmos pesquisadores também mediram a respiração destas cultivares de maçãs e os resultados demonstraram que a 'Fuji' apresentava as menores taxas de produção

de CO₂, indicando menor respiração para esta cultivar. Estes aspectos seguramente estão relacionados à maior capacidade de conservação da cultivar Fuji em relação à Gala, e também às respostas menos intensas em relação ao avanço do metabolismo e das perdas qualitativas seguidas de danos mecânicos encontradas neste trabalho.

Estimativas do teor de amido através do teste iodo amido nas maçãs 'Royal Gala' indicaram que nas primeiras duas avaliações, logo no início e oito dias da instalação do experimento, houve uma aceleração da quebra do amido em açúcar, pelos maiores índices médios encontrados nos tratamentos de dano mecânico. Aos 15 dias, todos os tratamentos se tornaram muito próximos de cinco, valor máximo na escala que indica completa reação do iodo com o amido, evidenciando que já ocorreu toda a conversão do amido em açúcares solúveis (Figura 31). Apesar das diferenças nas médias dos dez frutos avaliados, esta não foi significativa na análise de variância. Ao final dos 15 dias, quando quase todos os frutos já não reagiram com o iodo, nos tratamentos de dano mecânico visualizava-se a região da lesão por dano de impacto e de compressão corada com iodo (Figura 32). Esta mesma avaliação foi realizada até os 40 dias após esta última análise, e os frutos seguiram mostrando a coloração azul resultante da reação do amido com o iodo nas regiões lesionadas, indicando que a quebra do amido em açúcar não acontece normalmente no tecido lesionado. Estes resultados foram confirmados pelo teste histoquímico para polissacarídeos (PAS) e visualizados em microscopia de campo claro (Figura 36).

O amido é o mais importante carboidrato de órgãos de reserva (Stevenson *et al.*, 2006). O índice padrão de amido vem sendo utilizado há muito tempo como

Índice de maturação em maçãs (Reid *et al.*, 1982; Lau, 1988; Fan *et al.*, 1995). Maçãs, como muitas outras frutas acumulam amido em estádios iniciais da maturação e progressivamente o degradam para aumentar a doçura durante a maturação (Warrington *et al.*, 1999). Durante a maturação, cada cultivar exibe um padrão característico de amido exibido pela coloração com o iodo, à medida que o amido é hidrolisado na fruta (Smith *et al.*, 1979). Não foram encontrados dados de degradação de amido em função de danos mecânicos, e tampouco para a retenção do amido na região da lesão. Os resultados de marcação do amido em regiões injuriadas podem ser utilizados para avaliar a extensão de lesões em maçãs danificadas, e se torna importante principalmente em função de danos que não mostram oxidação evidente como no caso de danos mecânicos por compressões (Figuras 21 b e 32 b).

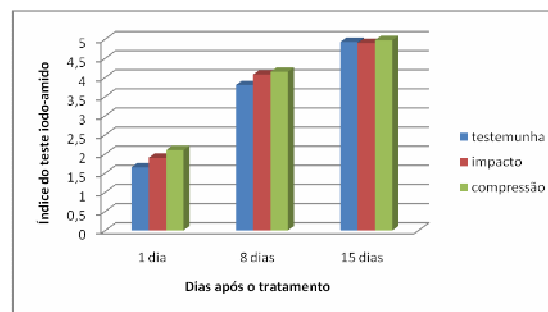


FIGURA 31. Índice iodo amido em maçãs 'Royal Gala' sete dias após tratamentos de impacto a uma altura de 80 cm e compressão a 120 N. Porto Alegre, 2009.



FIGURA 32. Marcação pelo teste iodo amido da área lesionada por impacto a uma altura de 80 cm (a) e compressão a 120 N (b) ao final de 15 dias a temperatura ambiente ($24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) em maçãs 'Royal Gala'. As barras indicam 1 cm. Porto Alegre, 2009.

O vazamento de eletrólitos variou significativamente em função dos tratamentos de compressão e impacto, com incrementos na variável à medida que aumentou a intensidade dos tratamentos de dano mecânico (Figura 33). Também foi perceptível o maior incremento ocorrendo em função dos danos por impacto, que superaram 30% em relação ao vazamento inicial. Estes resultados indicam um aumento na permeabilidade das membranas celulares no local onde ocorreu a lesão por dano mecânico.

As mudanças na fluidez das membranas são freqüentemente relacionadas a um incremento na permeabilidade destas, que afetam a integridade das membranas e a compartimentalização celular em condições de estresse (Campos *et al.*, 2003). A desestabilização das membranas celulares pode ocorrer ainda por peroxidação lipídica enzimática ou pela ação de radicais livres (Shewfelt & Purvis, 1995).

De acordo com Campos e colaboradores (2003), pontos de vazamento de eletrólitos podem também ser resultado de danos em componentes das membranas. Alguns pesquisadores afirmam ainda que mudanças no vazamento

de eletrólitos são um indicador importante da integridade das membranas que está relacionado à qualidade de frutos (Deng *et al.*, 2005). Neste sentido, a condição de estresse provocada pelo dano mecânico induziu ao aumento na permeabilidade das membranas com possíveis danos permitindo um maior vazamento de solutos celulares e ocasionando uma descompartmentalização dos tecidos injuriados de frutos da cultivar Royal Gala.

Outros trabalhos estudaram os efeitos de vibrações sobre o vazamento de eletrólitos e também encontraram alterações significativas para esta variável em kiwis (Li *et al.*, 2000 apud Zhoua *et al.*, 2007) e em peras (Zhoua *et al.*, 2007). Neste último trabalho, os autores relatam que os diferentes níveis de vibração aplicados resultaram em diferentes graus de dano mecânico e em diferentes níveis de vazamento do conteúdo celular no epicarpo das peras durante o transporte.

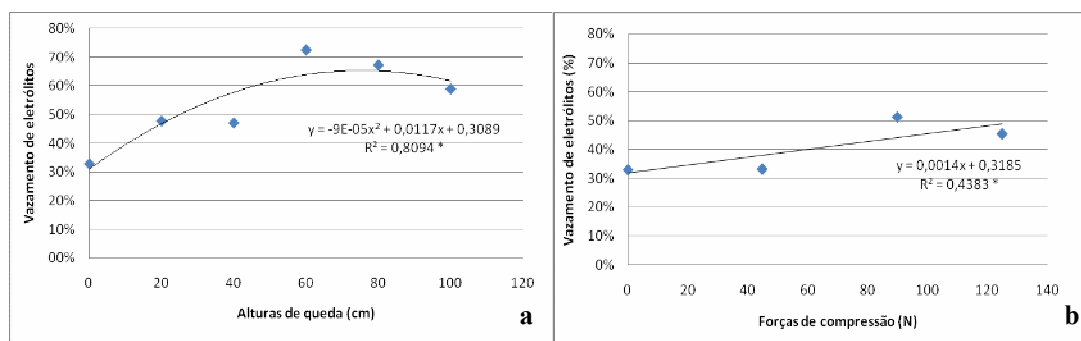


FIGURA 33. Vazamento de eletrólitos em maçãs cultivar Royal Gala submetidas a danos mecânicos por impacto (a) e compressão (b). Porto Alegre, 2009.

Danos mecânicos por compressão e impacto apresentaram características anatômicas distintas. As compressões alteraram o formato da célula, onde a parede celular aparece curvada e com muitas reentrâncias, esta deformação permanente não foi visualizada nos tratamentos de impacto (Figuras 34 b e c).

Além disso, danos mecânicos provocaram desestruturação dos tecidos (Figura 35 b).

Tratamentos de impacto e compressão resultam em um material intercelular densamente corado (Figura 34 b, c, e e f) o qual representa um efeito da inclinação da parede celular. Resultados similares foram visualizados no teste histoquímico para polissacarídeos na parede celular (Figura 36 b e c). Os testes específicos para celulose não mostraram diferenças entre os tratamentos (Figura 37 b e c).

Estudos histoquímicos para localização de polissacarídeos permitem visualizar a presença do amido na região lesionada, o que não ocorre no tecido sadio, tanto do fruto danificado como do fruto não danificado (Figura 36 g, h e i). Estes estudos histoquímicos confirmam os dados dos estudos realizados com o fruto inteiro submetido ao teste iodo amido, onde a lesão marcou para presença do amido apenas nos tecidos lesionados da polpa nos tratamentos de compressão e impacto após 15 dias a temperatura ambiente, quando a completa conversão do amido em açúcares já ocorrera no fruto como um todo.

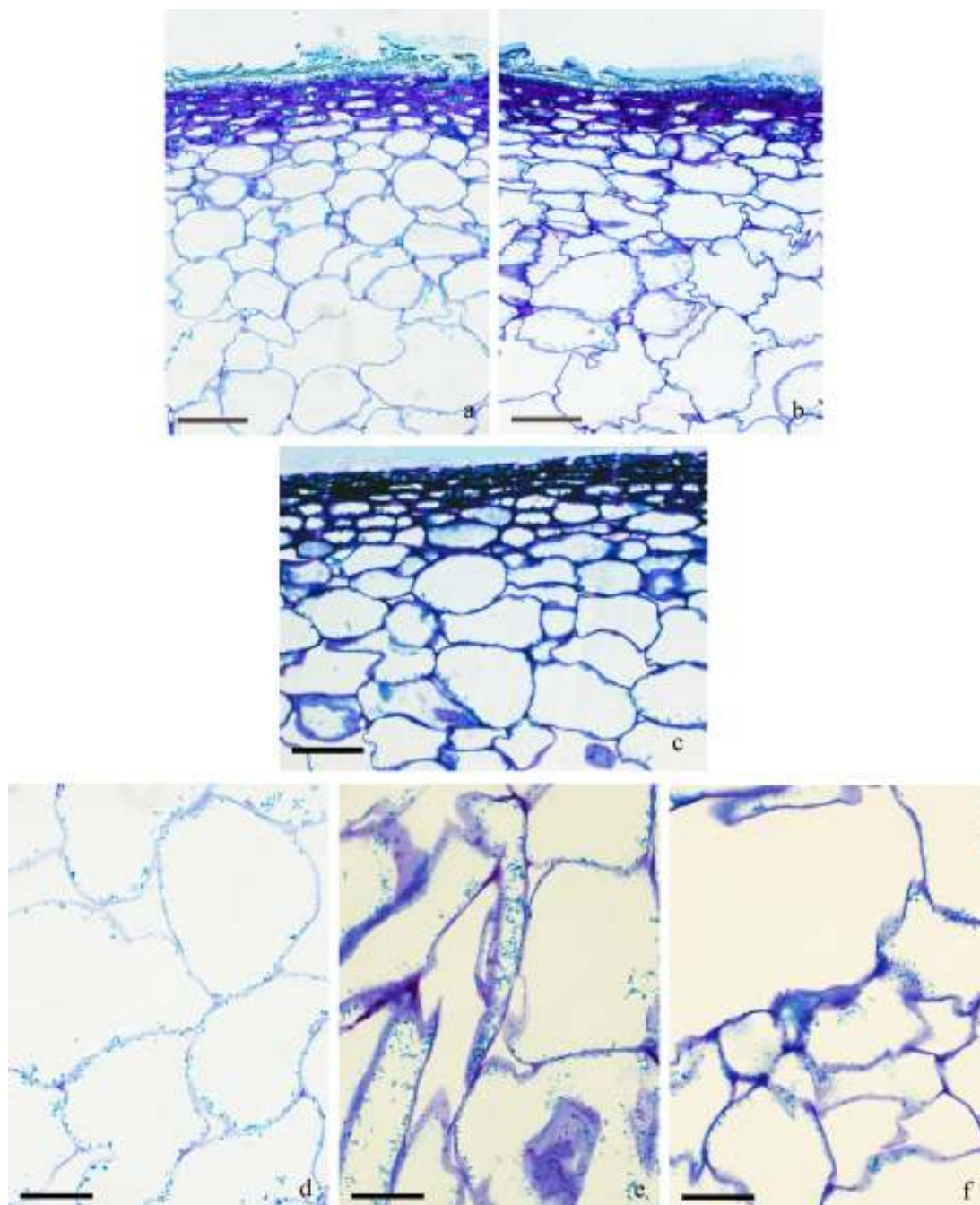


FIGURA 34. Seções longitudinais (a, b, c) e transversais (d, e, f) de maçãs cultivar Gala Brookfield coradas com azul de toluidina. Tratamento testemunha (a e d), dano mecânico por compressão (b e e), e dano mecânico por impacto (c e f). Barras indicam 100 μm (a, b, c) 50 μm (d, e, f). Porto Alegre, 2008.

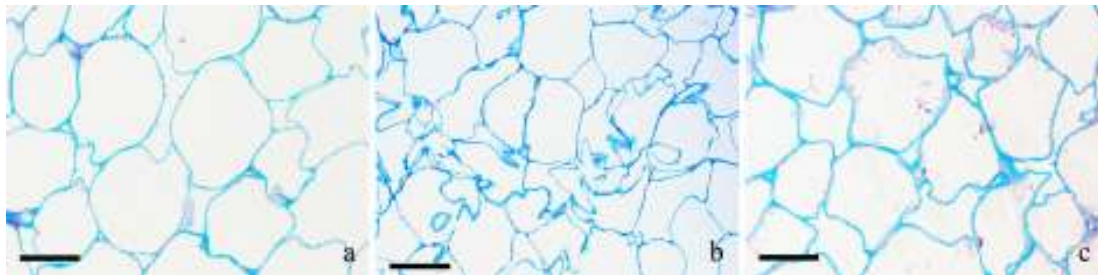


FIGURA 35. Seções transversais de maçãs cultivar Fuji Suprema coradas com azul de toluidina. Tratamento testemunha (a), dano mecânico por compressão (b), e dano mecânico por impacto (c). Barras indicam 50 μm (a, c) e 100 μm (b). Porto Alegre, 2008.

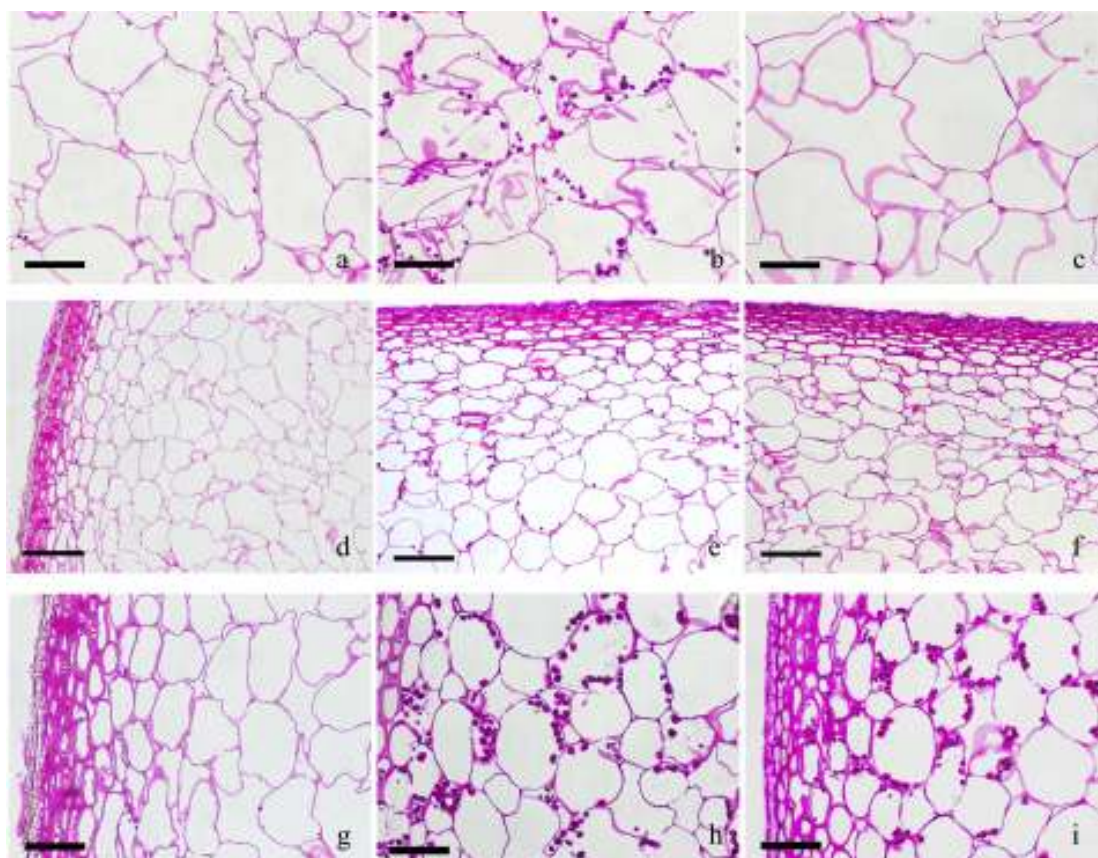


FIGURA 36. Reação de PAS (Ácido Periódico/Schiff) em seções transversais (a, b, c) e longitudinais (d, e, f, g, h, i) de maçãs 'Gala Brookfield' (a, b, c, d, e, f) e 'Royal Gala' (g, h, i). Tratamento testemunha (a, d, g), tratamento de dano mecânico por compressão a 100 N (b, e, h) e de dano mecânico por impacto a 80 cm de altura (c, f, i). Barra igual a 100 μm para a, b, e, g, h, i e 200 μm para d, e, f. Presença de amido (b, h, i). Porto Alegre, 2008.

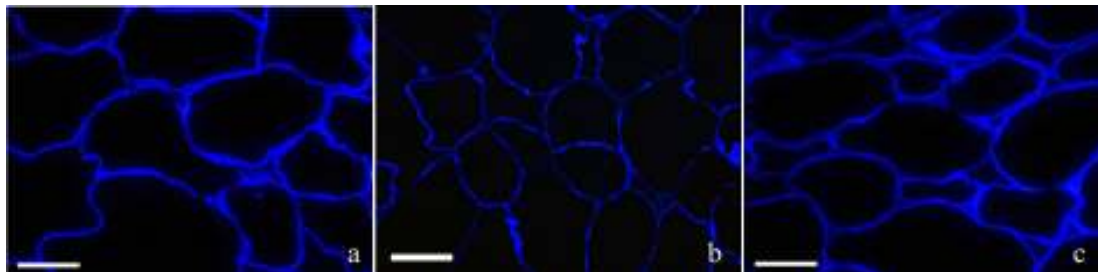


FIGURA 37. Seções transversais de maçãs cultivar Gala Brookfield coradas com calcofluor white e visualizadas em microscopia de fluorescência. Tratamento testemunha (a), dano mecânico de impacto (b) e de compressão (c). Barras indicam 50 μm (a e b) e 100 μm (c). Porto Alegre, 2008.

Alguns estudos anatômicos evidenciam um espessamento da parede celular em morangos que sofreram danos por bronzeamento (Polito *et al.*, 2002). Estudos anatômicos com escaldadura em maçãs identificaram modificações anatômicas similares no tecido do epicarpo e subepicarpo dos frutos danificados (Andrews & Johnson, 1997 apud Polito, 2002). Apesar disso, o presente trabalho não encontrou esta modificação na parede celular. Os estudos com morangos também evidenciaram que o espessamento da parede celular não ocorria em componentes celulósicos da parede, pelos testes realizados com calcofluor em microscopia de fluorescência (Polito *et al.*, 2002).

Apesar dos resultados encontrados nas análises de firmeza de polpa dos frutos discutido anteriormente, não é possível identificar diferenças na parede celular de um fruto danificado e de um fruto sadio, como o espessamento mencionado por outros pesquisadores. Evidentemente são necessários estudos mais específicos para poder determinar as modificações que acontecem na parede celular de maçãs danificadas, como por exemplo, estudos de isolamento de cada componente seguido de quantificação e/ou estudo das enzimas envolvidas nestes processos. No entanto, assim como discutido a partir das

análises quantitativas de firmeza de polpa, teor de amido e teores de ácidos, é possível que, em parte, as modificações aqui encontradas estejam relacionadas àquelas normalmente envolvidas nos processos de maturação e senescência de frutos.

Segundo Brummel & Harpster (2001), o amadurecimento de espécies climatéricas está associado com o amolecimento devido à extensa degradação na parede celular. Durante o amadurecimento, a arquitetura da parede celular e os polímeros que a compõem são progressivamente modificados, com a natureza e a extensão destas mudanças variando conforme a espécie. A estrutura da parede celular torna-se mais hidratada à medida que muda a coesão do gel de pectinas, e este é o fator principal influenciando o quão facilmente as células podem se separar umas das outras, o que determina a textura de um fruto (Jarvis, 1984 apud Brummel, 2001).

Alguns trabalhos encontraram esta evidência mostrando o espessamento da parede celular em morangos e abacates (Redgwell *et al.*, 1997). Segundo estes autores, em maçãs que apresentam uma textura crocante, o espessamento da parede celular não se observa, razão pela qual não visualizou-se o espessamento da parede celular neste trabalho.

4.2.2 Efeitos de danos mecânicos em frutos cítricos

Danos mecânicos de impacto e compressão ocasionaram modificações em todas as variáveis estudadas, no entanto, as respostas dependeram da espécie em estudo e do tipo e intensidade do dano mecânico aplicado.

Compressões e impactos influenciaram a respiração celular nos cítricos estudados (Figura 38 e 39). Incrementos na produção de CO₂ foram detectados

entre uma a seis horas após a aplicação do dano mecânico. A produção de CO₂ é dependente da intensidade do tratamento de dano mecânico (Figura 38). À medida que aumentam as intensidades das forças de compressão e das alturas de queda, aumentam as taxas respiratórias. Das espécies e cultivares estudadas os maiores incrementos na produção de CO₂ ocorrem na laranja 'Valência'.

A respiração celular é o processo metabólico pelo qual se produz energia química na forma de ATP usada nas reações vitais internas e nos processos de síntese e manutenção celular (Saquet *et al.*, 2002), sendo este o principal processo fisiológico que acontece em produtos frescos colhidos. A intensidade respiratória é usada para predizer o potencial de armazenamento de um produto, pois quanto mais elevada for a atividade respiratória, menor será tempo de conservação e vice-versa (Lau, 1985; Patterson, 1989).

Os órgãos vegetais submetidos a vibrações e danos mecânicos, em geral, aumentam suas taxas respiratórias em comparação com as testemunhas sem injúrias (Pisarczyk *et al.*, 1982; Saltveit *et al.*, 1982; Mao *et al.*, 1995). Ainda assim, há trabalhos que relatam não encontrarem respostas significativas para respiração celular em função dos danos mecânicos (Steffens *et al.* 2008). Por outro lado, muitos trabalhos indicaram respostas de incremento nas taxas respiratórias em função de danos mecânicos em produtos hortícolas como: peras (Agar & Michan, 2000), goiabas (Mattiuz & Durigan, 2001a), mandioquinha salsa (Henz *et al.*, 2005), lima ácida Tahiti (Durigan *et al.*, 2005). Neste último trabalho, os incrementos nas taxas respiratórias foram de 1,5 vezes superiores quando foram aplicados danos mecânicos de compressão, de 2,2 vezes quando houve cortes, e de 3 vezes quando foram aplicados impactos em relação aos frutos não

injurados, indicando que os impactos geram maior efeito sobre a respiração celular. Segundo os pesquisadores, isto indica que a lesão provocada por impactos é grave e provavelmente gera um maior rompimento celular, o que pode disponibilizar os ácidos presentes no vacúolo para o sistema respiratório, na tentativa de gerar energia e esqueletos de carbono para reparar o dano causado (Mattiuz & Durigan 2001a).

Taxas respiratórias são indicadores de atividade metabólica em hortaliças, podendo indicar quão rápido senescem (Blanke, 1991), assim os resultados destes estudos evidenciaram o avanço no metabolismo e na senescência dos cítricos quando submetidos aos danos mecânicos e podem ajudar a explicar as perdas qualitativas encontradas neste estudo.

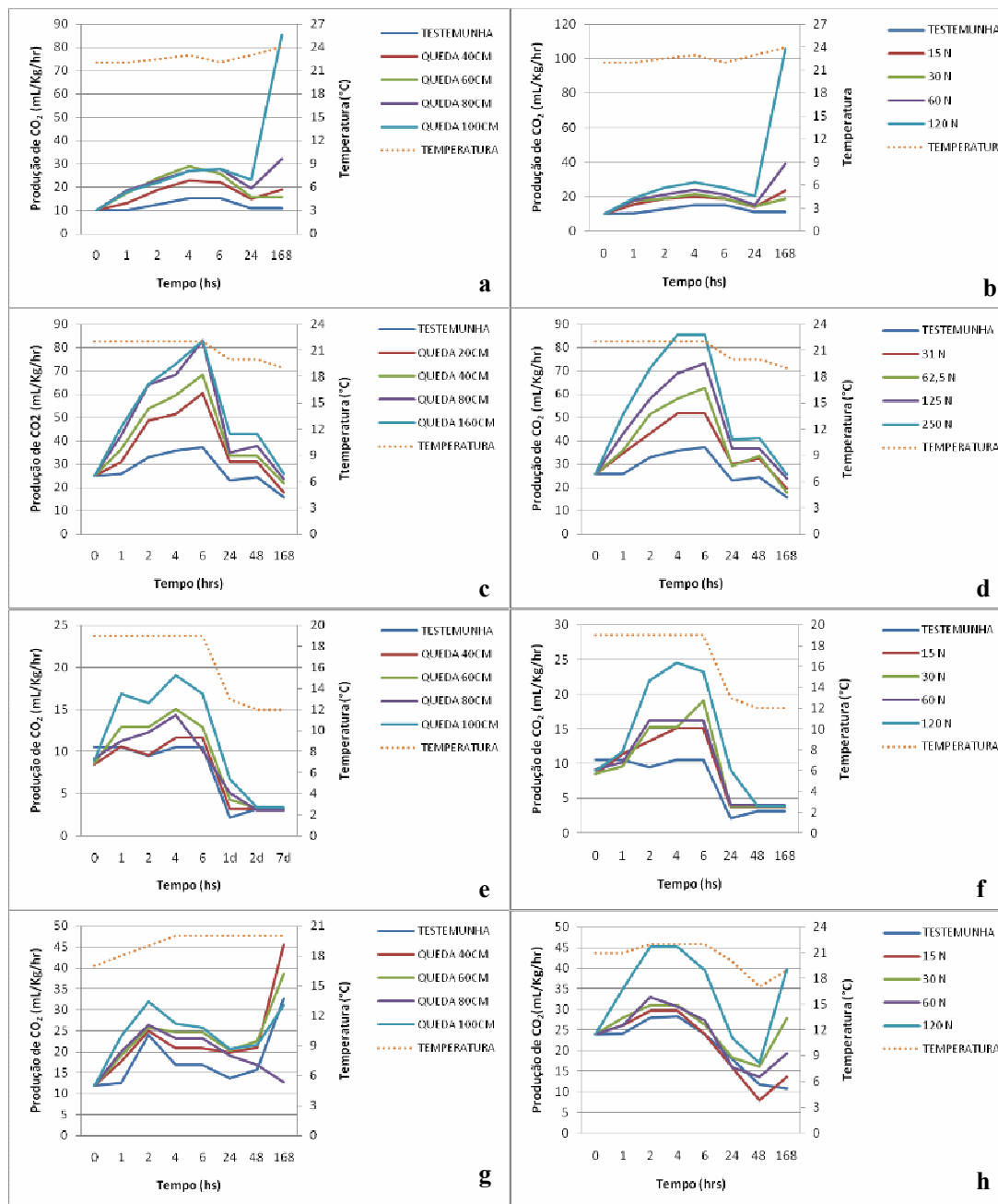


FIGURA 38. Produção de CO₂ em tangor 'Murcott' (a e b), laranja 'Valência' (c e d), lima ácida 'Tahiti' (e e f) e tangerina 'Montenegrina' (g e h) submetidas a danos mecânicos por impacto (a, c, e, g) e compressão (b, d, f, h) ao longo de sete dias. Porto Alegre, 2009.

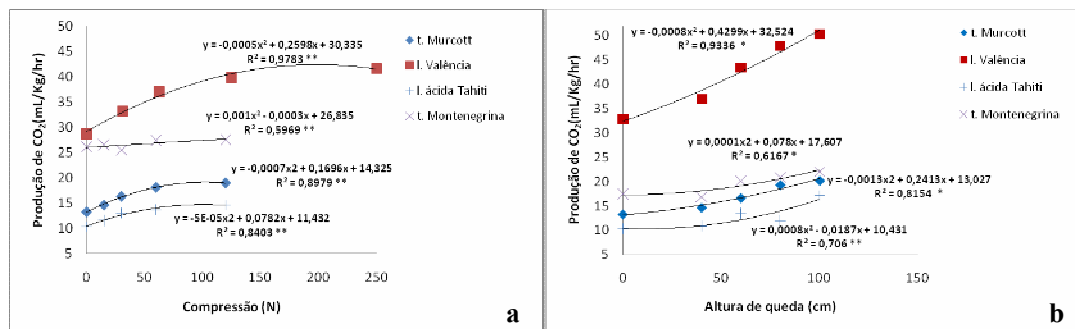


FIGURA 39. Produção de CO₂ em função da intensidade dos danos mecânicos de compressão (a) e impacto (b) em tangor ‘Murcott’, tangerina ‘Montenegrina’, laranja ‘Valência’ e lima ácida ‘Tahiti’. Porto Alegre, 2009.

A perda de massa fresca variou em função da intensidade dos tratamentos de dano mecânico de compressão para a maioria dos cítricos avaliados (Figura 40 e Tabela 13). No caso dos impactos, apenas duas espécies mostraram variações significativas em função da intensidade dos tratamentos. Ocorre um incremento na variável à medida que aumentam as intensidades dos danos mecânicos. Compressões aumentam a perda de massa fresca em tangerinas das cultivares Ponkan, Rainha e Montenegrina, no tangor ‘Murcott’ e na lima ácida ‘Tahiti’. Os impactos produzem o mesmo efeito em tangor ‘Murcott’ e tangerinas ‘Rainha’. Incrementos de 24 e 64% em relação à testemunha foram determinados nos tratamentos de maior altura de queda na tangerina cultivar Rainha e no tangor Murcott, respectivamente.

No caso das compressões, os incrementos foram ainda maiores, sendo que os tratamentos mais intensos provocaram incrementos na perda de massa de 51, 71 e 75% em relação à testemunha nas tangerinas ‘Ponkan’, ‘Rainha’ e ‘Montenegrina’, respectivamente. As tangerinas ‘Rainha’ e o tangor ‘Murcott’ são muito suscetíveis à perda de massa fresca, pois mostraram resultados significativos para os tratamentos de impacto e compressão, e os danos

mecânicos por compressão são mais prejudiciais, de modo geral, provocando respostas em termos de perda de massa fresca em um maior número de espécies.

Danos mecânicos provocam perda de massa fresca em outras espécies: como mangas 'Keitt' (Durigan, 2003), pêssegos (Kasat, 2003) e abacates (Sanches et al., 2004), em que os impactos afetaram a perda de massa fresca dos frutos. Bryant (2004), estudando injúrias mecânicas em lichia, detectou perdas de massa 30% mais rápidas em frutos danificados por impacto nas primeiras 23 horas após o tratamento. Trabalhos com lima ácida Tahiti indicam que danos mecânicos influenciam a perda de massa fresca, provocando um incremento na variável (Durigan *et al.*, 2005). Neste estudo, concluiu-se que a maior perda de massa fresca ocorreu em função dos cortes, seguido dos impactos e por último das compressões.

A perda de massa em frutos frescos é decorrente da perda de água por transpiração e pelos processos de respiração celular (Hernandez-Munoz, 2006). Segundo Alayunt *et al.* (1998), incrementos na perda de massa fresca é uma resposta comum em frutas submetidas a injúrias mecânicas e esta é resultante do dano às barreiras que limitam a perda de água. Em termos qualitativos esta variável é importante, pois, em excesso, a desidratação pode provocar o murchamento bem como a perda de qualidade visual e sensorial. Um aumento na perda de massa fresca de 20 a 30% pode reduzir o valor de um produto e pode afetar significativamente sua vida de prateleira (Bryant, 2004). O presente estudo encontrou perdas de massa superiores a 30% indicando prejuízo à qualidade dos cítricos decorrente da danificação.

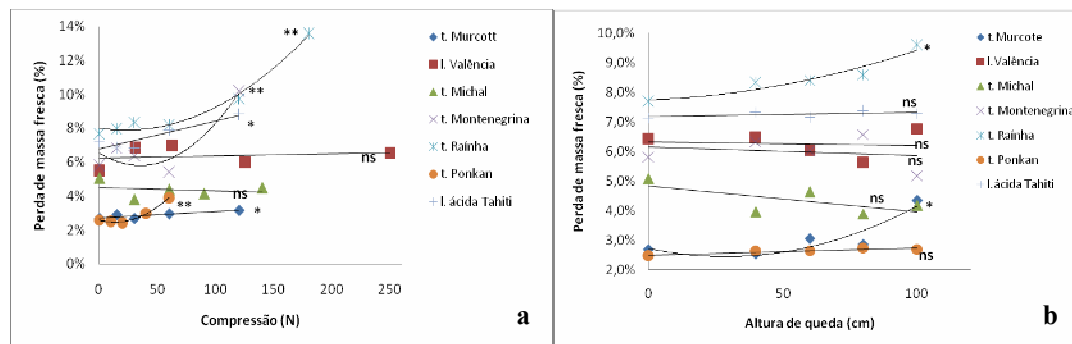


FIGURA 40. Perda de massa fresca ao longo de sete dias em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009.

TABELA 13. Curvas de regressão e coeficientes de determinação (r^2) para variável perda de massa fresca em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009.

Espécie	Curva/ R^2	Curva/ R^2
	Tratamentos de compressão	Tratamentos de impacto
tangor Murcott	$y = 4E-05x + 0,0272/0,2703^*$	$y = 3E-06x^2 - 0,0002x + 0,0274/0,482^*$
laranja Valência	ns	ns
tangerina Michal	ns	ns
tangerina Montenegrina	$y = 6E-06x^2 - 0,0004x + 0,0654/0,7851^{**}$	ns
tangerina Raíinha	$y = 2E-06x^2 - 0,0001x + 0,0801/0,8485^{**}$	$y = 1E-06x^2 + 4E-05x + 0,0774/0,4926^*$
tangerina Ponkan	$y = 7E-06x^2 - 0,0002x + 0,0259/0,8537^{**}$	ns
lima ácida Tahiti	$y = 0,0002x + 0,0679/0,3093^*$	ns

ns=não significativo.

Aos sete dias de experimento a maioria das espécies de citros avaliadas apresentou sintomas de podridão por *Penicillium digitatum* (Figura 41), considerado o mais comum e importante patógeno de pós-colheita em citros (Fischer *et al.*, 2007). Destas espécies, diferenças significativas entre as médias ocorreram para as tangerinas cultivar Ponkan e Raíinha submetidas a compressões. Os demais resultados não diferiram significativamente entre si e a

lima ácida 'Tahiti' não apresentou nenhum fruto com sintoma de podridão ao longo do período em estudo.

É elevada a incidência de podridões nas tangerinas 'Ponkan' submetidas a compressões, especialmente considerando que esta espécie, por sua maior fragilidade foi exposta a tratamentos mais tênues de força, variando de 10 a 60 N, menores que as aplicadas às demais espécies. É possível visualizar frutos com desenvolvimento de *P. digitatum* acima das manchas provocadas por oleocelose, evidenciando um estágio inicial de desenvolvimento do fungo (Figura 42 a) e uma fase mais adiantada de colonização (Figura 42 b). À medida que aumenta o percentual de frutos com oleocelose, aumenta a incidência de frutos com podridões (Figura 43), sendo que tangerinas que apresentaram 100% dos frutos com oleocelose tiveram o maior percentual de frutos com podridão, 66,7%. A análise de correlação significativa entre o percentual de frutos com oleocelose e com sintomas de podridões evidenciou que há forte correlação (0,9175) entre as variáveis (Tabela 14). Estes resultados indicam que a ocorrência de oleocelose pode, em parte, explicar o incremento no número de tangerinas 'Ponkan' com podridão quando submetidas aos danos mecânicos de compressão.

Fischer e colaboradores (2007) encontraram um acréscimo significativo ($p < 0,05$) na incidência de podridões fúngicas com o processamento de laranjas 'Pêra' e tangores 'Murcott' na linha de beneficiamento, e, segundo estes pesquisadores, este acréscimo pode ser consequência do aumento das injúrias por oleocelose. Embora este trabalho não tenha mostrado incidência de oleocelose em tangor 'Murcott', é consenso na literatura que a ocorrência da oleocelose pós-colheita é dependente de condições de clima que ocorrem no

pomar e da maturação dos frutos. Tem sido observado, que frutos colhidos úmidos, logo após chuvas, são mais propensos a exibirem manchas do que os frutos colhidos secos, e que na pré-colheita, a fase em que o fruto apresenta maior predisposição à liberação do óleo, é no início da maturação (Santos Filho, 2004).

Os efeitos da injúria provocada pelo óleo nos tecidos do pericarpo podem explicar a maior suscetibilidade destes às podridões pós-colheita. Knight e colaboradores (2002), estudando a oleocelose em laranjas cultivar Washington Navel, concluíram que o óleo difundiu através da cutícula causando degeneração dos conteúdos das camadas celulares incluindo a cutícula. Os pesquisadores identificaram perda de integridade das membranas, seguida de degeneração do conteúdo celular e culminando no colapso da célula. Por fim, o trabalho atribuiu as manchas resultantes da oleocelose ao dano celular evidenciado nas análises anatômicas.

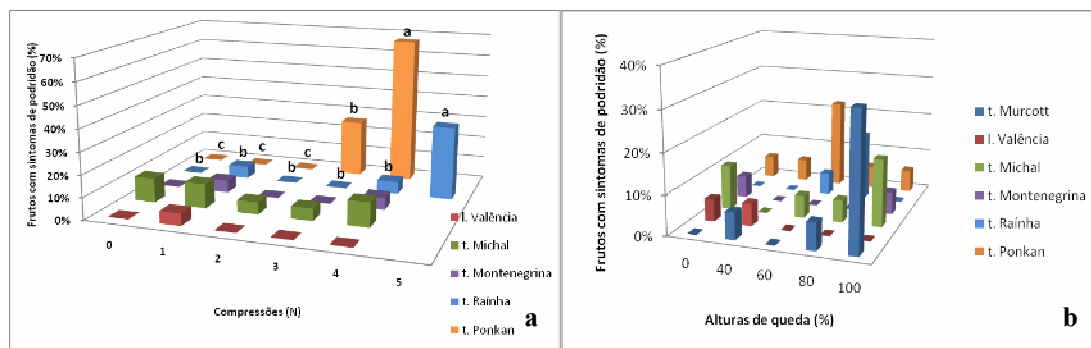


FIGURA 41. Incidência de frutos com podridão ao final de sete dias a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ após tratamentos de danos mecânicos de compressão (a) e impactos (b). Nos tratamentos de compressão 0=testemunha; 1=31/30/15/15/10 N; 2=62,5/60/30/30/20 N; 3=125/90/60/60/40; 4=250/140/120/120/60 N para laranja 'Valência', tangerinas 'Michal', 'Rainha', 'Montenegrina' e 'Ponkan' respectivamente; e 5= 180N para tangerina 'Rainha'. Médias seguidas da mesma letra ou não identificadas por letras não diferem significativamente por Duncan ($p < 0,05$). Porto Alegre, 2007 a 2009.

TABELA 14. Correlação entre o percentual de frutos com oleocelose e o percentual de frutos com sintomas de podridão em tangerinas cultivar Ponkan. Porto Alegre, 2009.

	Oleocelose (%)
Podridão (%)	0,9175*
	<.0001

*N=15

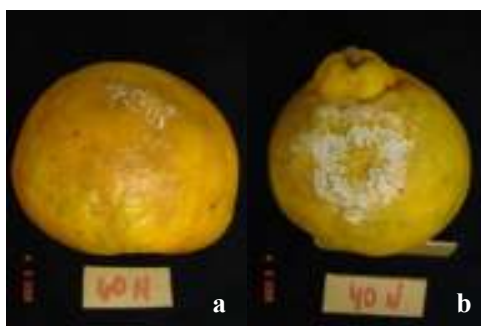


FIGURA 42. Tangerinas cultivar Ponkan submetidas a compressões de 60 N (a) e 40 N de força (b). Frutos com sintomas de podridão por *Penicillium digitatum* ocorrendo acima da lesão por oleocelose decorrente de dano mecânico. Porto Alegre, 2008.

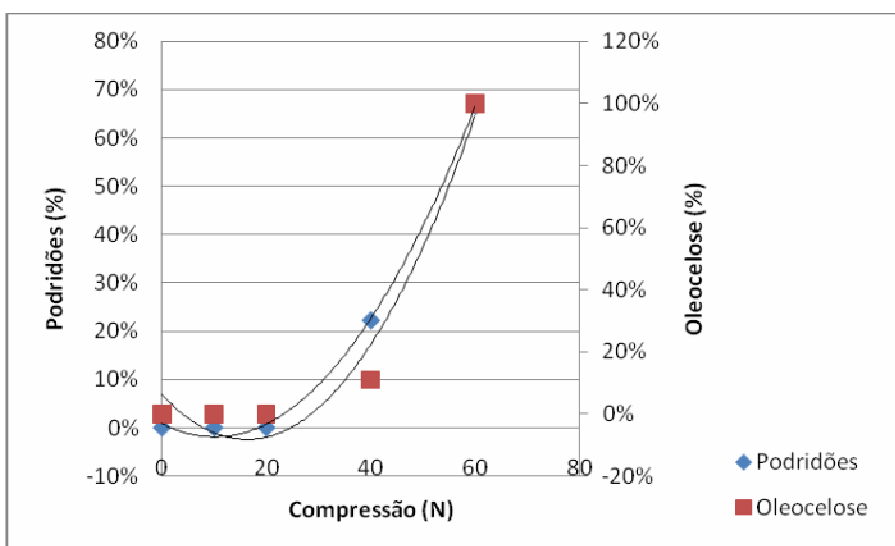


FIGURA 43. Percentual de tangerinas cultivar Ponkan com sintomas de podridão e com oleocelose submetidas a danos mecânicos por compressão. Porto Alegre, 2009.

A luminosidade da cor variou significativamente em função dos tratamentos de compressão em tangerinas 'Montenegrina' e lima ácida 'Tahiti', e em tangor

'Murcott' e tangerinas 'Rainha' no caso dos tratamentos de impacto (Figura 44 a e b). A maior parte dos resultados significativos indica uma redução no valor da luminosidade que significa o escurecimento do pericarpo em função dos danos mecânicos. Os resultados mais expressivos ocorreram para tangor 'Murcott' submetido aos tratamentos de impacto, onde ocorreram maiores reduções na luminosidade em função dos tratamentos.

O ângulo hue variou significativamente com os tratamentos nas tangerinas 'Montenegrina' e 'Ponkan' submetidas a impactos e nas tangerinas 'Montenegrina' e no tangor 'Murcott' submetidos a compressões (Figura 44 c e d). Os resultados tendem a um aumento no ângulo hue no caso da tangor 'Murcott' e reduções no caso da tangerina 'Ponkan', ambos indicam mudança no matiz da cor. No caso da tangerina 'Ponkan' o incremento no ângulo hue indica que a cor tende a ser mais alaranjada, enquanto que para o tangor 'Murcott' há uma tendência ao amarelo.

Apenas a lima ácida 'Tahiti' e o tangor 'Murcott' mostraram resposta de variação significativa na cromaticidade com as intensidades dos tratamentos de danos aplicados, a primeira respondendo aos danos por compressão e a segunda por impacto (Figura 44 e e f). Neste último caso, há um incremento da cromaticidade em função da intensidade das forças aplicadas, indicando cores mais intensas nos frutos mais danificados.

Apesar das modificações acima descritas são poucas as espécies cítricas avaliadas que responderam significativamente aos tratamentos de danos mecânicos em termos de modificação da coloração externa. E, ao contrário das maçãs, em que a oxidação da polpa resulta em uma alteração da coloração na região lesionada por impactos, este aspecto não ocorre nos cítricos usualmente, e

as modificações registradas no colorímetro, em sua maioria, são pouco perceptíveis a olho nu. No entanto, dois casos de resposta à danificação merecem destaque por provocarem modificações na coloração do pericarpo capazes de serem identificadas mesmo sem o auxílio do colorímetro. No caso do tangor 'Murcott' ocorreram manchas escurecidas possivelmente decorrentes de uma oxidação dos tecidos do pericarpo (Figura 45 a). No caso da tangerina 'Ponkan' foram observadas regiões com manchas deprimidas de contornos irregulares e de coloração marrom, típicas da oleocelose (Figura 45 b).

A oleocelose provoca alterações visuais externas facilmente identificáveis que também foram confirmadas pelo colorímetro (Tabela 15), onde ocorrem reduções na luminosidade, modificação no matiz e redução na cromaticidade dos tecidos com sintomas do distúrbio.

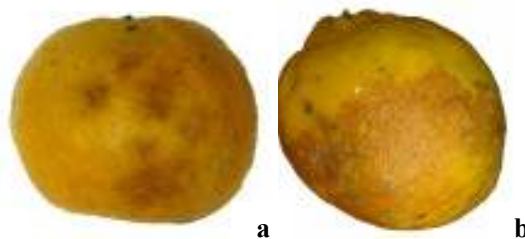
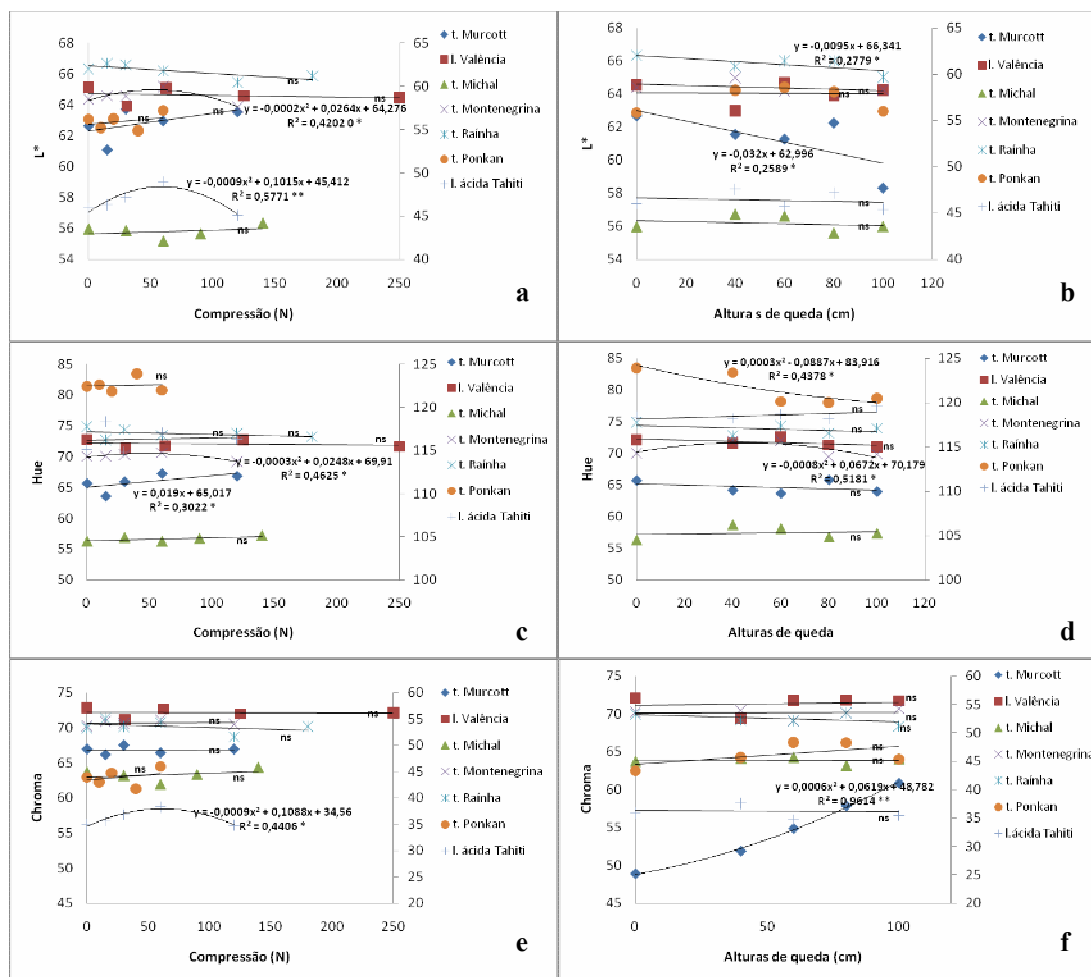


FIGURA 45. Tangor 'Murcott' (a) submetido a 30 N de compressão e tangerina 'Ponkan' (b) submetida a tratamento de compressão a 60 N. Porto Alegre, 2008 e 2009.

TABELA 15. Coloração do pericarpo representada pela luminosidade (L)*, ângulo de cor ou matiz da cor (hue) e cromaticidade (chroma) em tangerinas 'Ponkan' com sintoma de oleocelose e sadias. Porto Alegre, 2008.

Tratamentos	Ocorrência de oleocelose	L*	hue	chroma
60 N	Sim	52,24b	91,85a	40,42b*
	Não	63,64a	80,78b	64,48a
C.V. (%)		3,51	54,54	8,35

* Médias seguidas da mesma letra minúscula entre linhas não diferem significativamente por Duncan ($p < 0,05$).

A oleocelose é um distúrbio fisiológico dos frutos cítricos que é causado pela ação fitotóxica do óleo presente na própria casca sobre os tecidos da casca (Knight *et al.*, 2002). O distúrbio ocorre em laranjas doces, limões e limas ácidas, mas a sua maior frequência é observada nas limas doces (Santos e Oliveira, 2004). Na literatura não há descrições da ocorrência da oleocelose em tangerinas. Os sintomas podem aparecer tanto na pré-colheita como na pós-colheita. Em pós-colheita, os sintomas estão geralmente associados com danos mecânicos, pois estes provocam o rompimento das cavidades e a liberação do óleo na superfície. O óleo é liberado de cavidades secretoras localizadas na casca (Knight *et al.*, 2002) e seguido de dano mecânico (Fawcett, 1916 apud Knight *et al.*, 2002). A prevenção da oleocelose ou mancha de óleo dos citros deve ser feita evitando-se aquelas condições que contribuem para o extravasamento do óleo das cavidades (Santos & Oliveira, 2004).

Neste estudo, a tangerina 'Ponkan' foi a única espécie que apresentou oleocelose após os tratamentos de compressão. Embora a literatura cite a ocorrência desta desordem para lima ácida 'Tahiti', os frutos desta espécie não evidenciaram a oleocelose nas condições testadas. Apesar disso, a maior parte das espécies avaliadas mostrou extravasamento de certa quantidade de óleo durante os ensaios de compressão com aumentos significativos na quantidade de

frutos que apresentaram extravasamento de óleo em função das intensidades dos tratamentos aplicados para laranja, lima ácida e para as tangerinas 'Rainha' e 'Ponkan' (Figura 46).

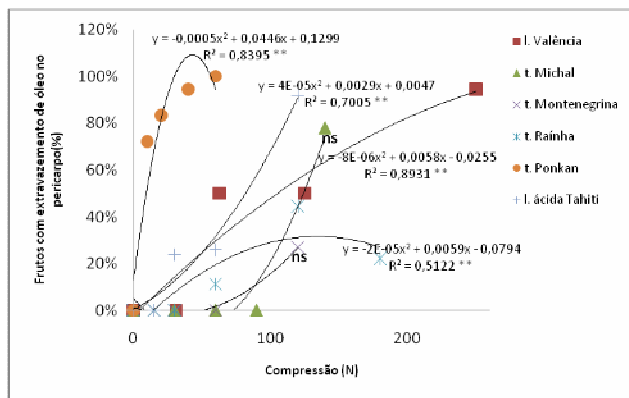


FIGURA 46. Frutos com extravasamento do óleo no pericarpo após aplicação do tratamento de compressão em função da intensidade dos tratamentos em laranja Valência, lima ácida 'Tahiti', tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Rainha' e 'Ponkan'. Porto Alegre, 2008 e 2009.

Desta forma, observa-se maior incidência de extravasamento de óleo em função da intensidade dos tratamentos em algumas espécies, como na tangerina 'Ponkan', onde 90% dos frutos que sofreram forças de 40 N apresentaram extravasamento de óleo. É importante salientar ainda que, pela maior fragilidade da tangerina 'Ponkan', esta foi submetida a tratamentos menos intensos de compressão do que as demais espécies. No entanto, com exceção da tangerina 'Ponkan', o extravasamento do óleo não provocou oleocelose nos demais cítricos avaliados.

A oleocelose é um distúrbio dos citros causado pela liberação excessiva de óleo pelas cavidades existentes na casca (Santos & Oliveira, 2004). Ou seja, a ocorrência do sintoma pode estar relacionada à quantidade de óleo que é liberada na superfície, contudo, esta não foi avaliada diretamente neste trabalho.

Indiretamente pode-se inferir sobre a quantidade de óleo presente na casca dos cítricos estudando suas cavidades de óleo. Os estudos anatômicos mostraram diferenças quanto à distribuição e a densidade das cavidades de óleo presentes no pericarpo dos cítricos estudados. (Figuras 47 e 48 e Tabelas 16 e 17).

TABELA 16. Avaliação das seções longitudinais do pericarpo de frutos cítricos: área média das cavidades de óleo, distância média da superfície e densidade média de cavidades de óleo. Porto Alegre, 2009.

Espécie	Área média (mm ²)	Densidade (cavidades/cm ²)	Distância média da superfície (mm)
Laranja 'Valência'	0,64	15,72	0,39
Tangerina 'Michal'	0,43	18,35	0,29
Tangerina 'Rainha'	0,14	57,31	0,37
Tangerina 'Ponkan'	0,64	59,70	0,09
Lima ácida 'Tahiti'	0,18	19,23	0,23

*Valores médios de sete cortes.

TABELA 17. Avaliação das seções transversais do pericarpo de frutos cítricos: densidade, área e perímetro médios das cavidades de óleo. Porto Alegre, 2009.

Espécie	Área da cavidade (mm)	Densidade (cavidades/cm ²)
Laranja 'Valência'	0,50	74,67*
Bergamota 'Michal'	0,11	122,34
Bergamota 'Rainha'	0,27	100,7
Bergamota 'Ponkan'	0,28	210,97
Lima ácida 'Tahiti'	0,13	78,84

*Valores médios de sete cortes.

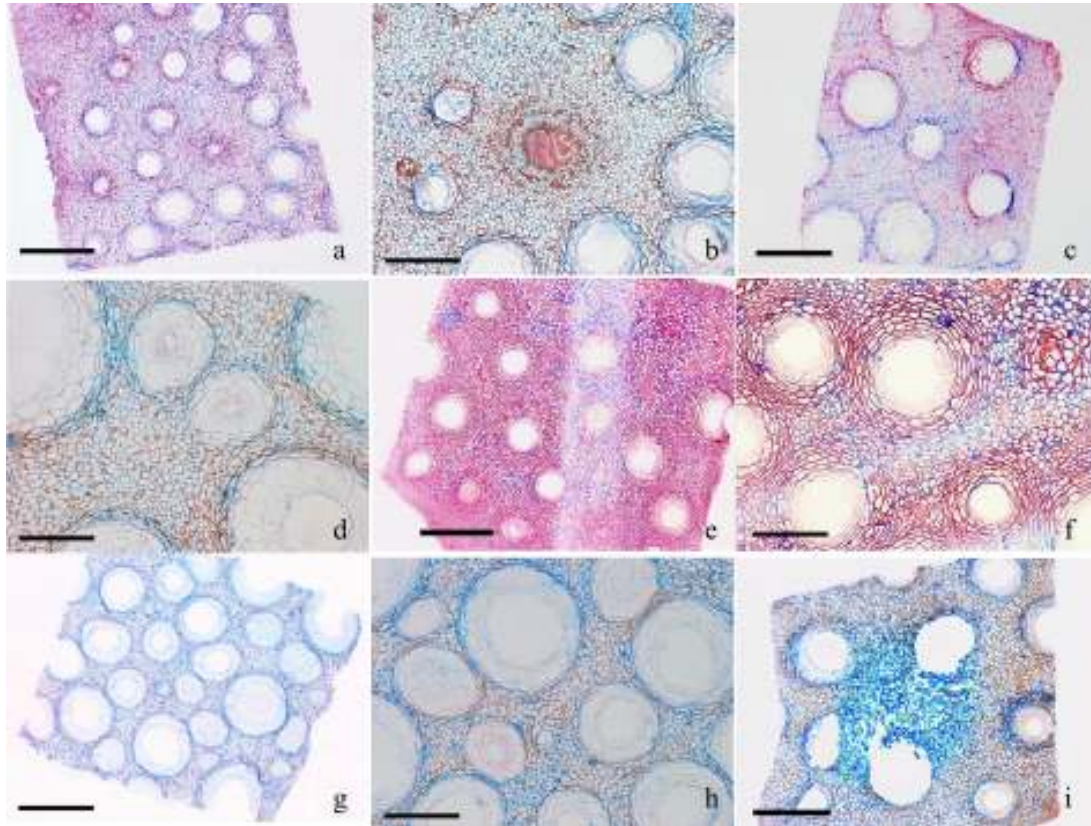


FIGURA 47. Cavidades secretoras de óleo no pericarpo de frutos cítricos em seção transversal: tangerina 'Michal' (a e b), laranja 'Valência' (c e d), lima ácida 'Tahiti' (e e f), tangerina 'Ponkan' (g e h) e tangerina 'Rainha' (i). Figuras a, c, e, g, i barras = 1000 μm e figuras b, d, f, h barras = 500 μm . Porto Alegre, 2008 a 2009.

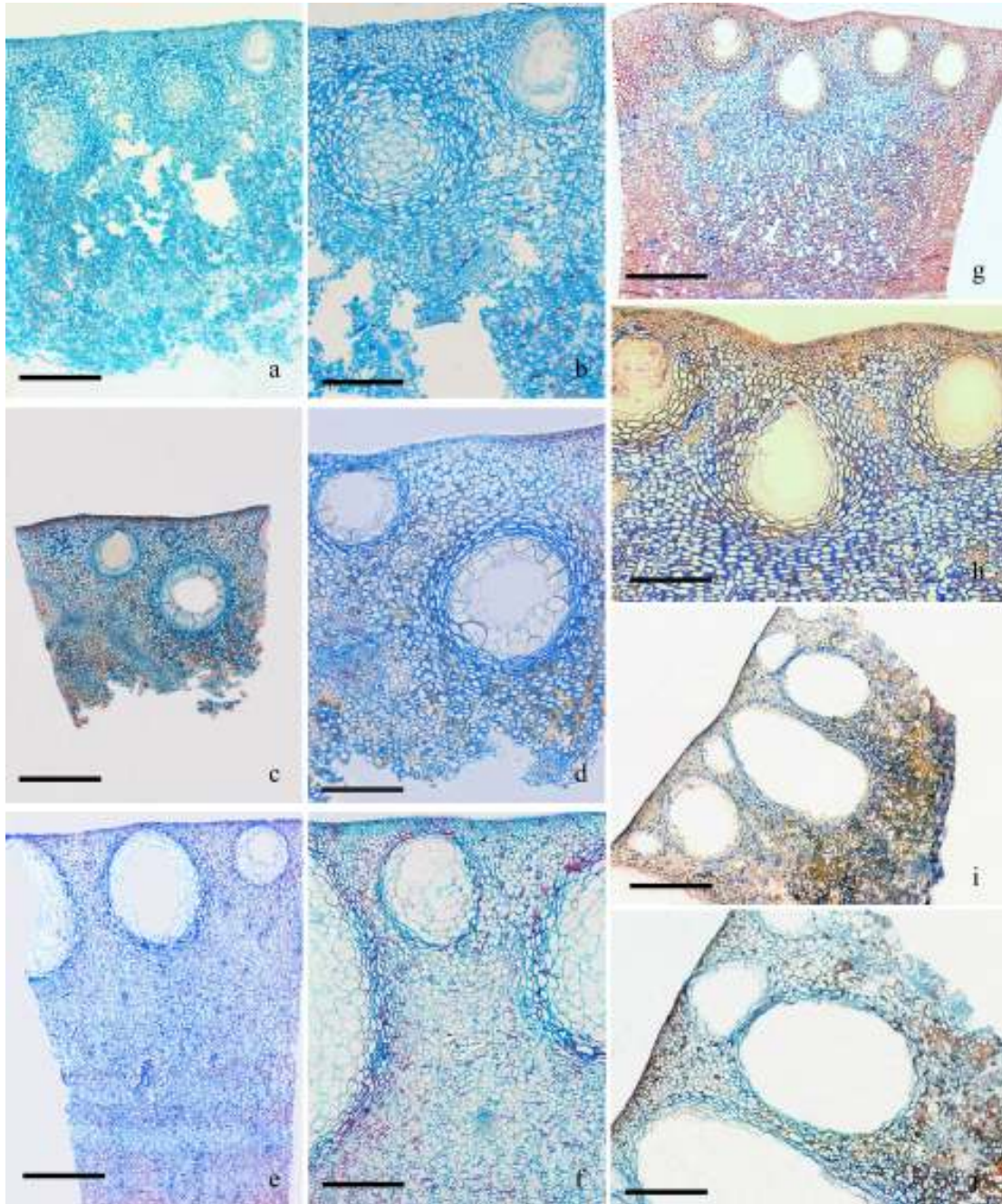


FIGURA 48. Cavidades secretoras de óleo no pericarpo de frutos cítricos em seção longitudinal: tangerina 'Michal' (a e b), tangerina 'Rainha' (c e d), laranja 'Valência' (e e f), lima ácida 'Tahiti' (g e h) e tangerina 'Ponkan' (i e j). Figuras a, c, e, g, i barra = 1000 μm e figuras b, d, f, h, j barra = 500 μm . Porto Alegre, 2008 a 2009.

A área medida nas seções longitudinais e transversais dá uma idéia do tamanho das cavidades de óleo presentes nos cítricos. A laranja 'Valência' apresentou a maior área média das cavidades nos cortes transversais seguida da tangerina 'Ponkan' (Tabela 17). Em seções longitudinais as duas espécies apresentam área média idêntica e maior que as demais (Tabela 16). O número de cavidades por centímetro de casca foi maior para tangerina 'Ponkan' em ambos os cortes, enquanto que a laranja 'Valência' apresentou as menores densidades de cavidades no tecido. A laranja, apesar de apresentar cavidades médias maiores em sua casca, apresenta menor quantidade de cavidades por unidade de área, com uma densidade inferior a duas vezes a da tangerina 'Ponkan', além disso, a espessura da casca desta espécie é praticamente o dobro das demais e suas cavidades não são tão superficiais como na tangerina 'Ponkan'.

A distância média das cavidades de óleo em relação à superfície externa foi menor para a tangerina 'Ponkan', o que demonstra que suas cavidades estão mais próximas da superfície que nos demais materiais estudados (Tabela 16, Figura 48). Este dado é importante visto que, segundo a literatura, o extravasamento do óleo para a superfície se dá pela ruptura da parte superior da cavidade, na junção da epiderme e da região apical da mesma, também chamada de haste da cavidade, e só desta forma o óleo é capaz de exercer efeito tóxico danificando a casca dos frutos cítricos (Knight *et al.*, 2001). Ainda segundo a literatura, a haste é o ponto estrutural mais fraco, e a liberação lateral do óleo da cavidade diretamente no tecido cortical pode ser evitada pela presença de camadas de células com paredes espessadas próximas às cavidades (Thomson 1976 apud Knight, 2002). De fato, as fotomicrografias mostram camadas

adensadas de células ao redor das cavidades de óleo, e a fragilidade da haste pode ser visualizada na figura 48 i. Outra característica do tecido da casca das tangerinas 'Ponkan' é a ocorrência de cavidades muito próximas umas das outras. A importância disto está na possibilidade de rompimento simultâneo acarretando a liberação de uma maior quantidade de óleo, o que é condição para o surgimento dos sintomas de oleocelose (Figura 48 i e j).

As características anatômicas do pericarpo da tangerina 'Ponkan' acima mencionadas são a razão pela qual esta espécie pode apresentar mais fácil rompimento das cavidades de óleo e exposição do óleo na superfície. Desta maneira, danos mecânicos nesta espécie podem ocasionar grandes riscos de desenvolvimento da oleocelose, e a diferença anatômica encontrada no tecido da casca pode ajudar a explicar os resultados de incidência de oleocelose encontrados nas tangerinas submetidas a danos mecânicos de compressão.

Apesar das diferenças anatômicas identificadas no pericarpo das espécies cítricas serem adequadas para explicar, em parte, a ocorrência de oleocelose na tangerina 'Ponkan', ela pode não ser a única explicação para a ocorrência da desordem fisiológica. Outra hipótese poderia estar relacionada a uma possível diferença entre os constituintes do óleo nas cavidades, e neste sentido são necessários estudos que possam responder a esta questão. Além disso, não se pode deixar de mencionar que apesar dos resultados que evidenciam a predisposição da tangerina 'Ponkan' a oleocelose quando submetida a danos mecânicos, existem condições pré-colheita, como umidade e chuvas próximas da colheita, que influenciam a ocorrência de oleocelose em pós-colheita. Assim, uma mesma espécie suscetível poderia ou não mostrar os sintomas típicos de

oleocelose dependendo das condições pré-colheita, por exemplo. Neste sentido, investigações mais detalhadas em relação a formação das cavidades de óleo na casca dos cítricos em função das variáveis de clima, por exemplo, poderiam auxiliar no entendimento das condições que predispõem os cítricos à oleocelose.

As variáveis que caracterizam o sabor nos cítricos (acidez titulável, sólidos solúveis totais e a relação entre ambas) variaram significativamente em função da intensidade dos danos mecânicos, dependendo da espécie estudada e do tipo de dano mecânico (Figura 49 e Tabela 18). Das variáveis estudadas, a acidez titulável e o ratio mostram variações em um maior número de espécies. Entre os danos mecânicos, as compressões alteram significativamente as variáveis de sabor em um maior número de espécies.

A acidez titulável variou em função da intensidade dos tratamentos de compressão em todos os cítricos avaliados, e apenas na tangerina 'Michal', 'Montenegrina' e tangor 'Murcott' no caso dos tratamentos de impacto (Figura 49 a e b). As variações indicam reduções significativas com o incremento da intensidade dos danos mecânicos e estas atingem os 27% em tangor 'Murcott' submetido a impactos de quedas de uma altura de 100 cm, e até 34% em tangerina 'Montenegrina' submetida a compressões de 120 N.

Reduções nos teores de sólidos solúveis ocorreram em tangor 'Murcott', tangerinas 'Montenegrina' e lima ácida 'Tahiti' submetidas a impactos e em tangerinas 'Michal' e lima ácida 'Tahiti' submetidas a compressões.

A relação entre sólidos e ácidos, ou ratio, variou significativamente com a intensidade dos tratamentos de dano mecânico de compressão em todas as espécies estudadas, e em cinco das sete espécies houve variação significativa

em função dos tratamentos de impacto. Houve uma tendência ao incremento desta variável em função da intensidade dos danos mecânicos indicando um avanço na senescência dos frutos danificados em relação aos sadios e modificações no sabor dos frutos.

De acordo com Mattiuz *et al.* (2003), os frutos poderão tornar-se sobremaduros, do ponto de vista do sabor, tanto pelo acúmulo de açúcares quanto pela diminuição da acidez e, assim se tornarem pouco saborosos. A única exceção é a lima ácida Tahiti submetida a impactos, onde há uma redução no ratio.

Outros trabalhos também evidenciaram reduções nos teores de sólidos solúveis e acidez titulável, como em lima ácida 'Tahiti' submetida a impactos (Durigan *et al.*, 2005). Os autores afirmam que essas reduções refletem o estresse sofrido pelo fruto submetido dano mecânico. Resultados similares foram encontrados Mattiuz & Durigan (2001) trabalhando com goiabas, por Sanches *et al.* (2004) em abacates e por Moretti *et al.* (1999) em tomates. De acordo com Mattiuz e colaboradores (2003), os teores de ácidos, com poucas exceções, diminuem com a maturação, em decorrência do processo respiratório ou da sua conversão em açúcares. E estes ácidos também constituem excelentes reservas energéticas do fruto, através de sua oxidação via ciclo de Krebs (Kays, 1991). Sanches e colaboradores (2004) afirmam que a redução dos sólidos solúveis pode ser explicada pelo uso destes como fonte de energia assim como ocorre com os ácidos. Órgãos vegetais submetidos à vibração ou dano mecânico geralmente aumentam suas taxas respiratórias em comparação ao produto não injuriado (Pisarczyc, 1982; Saltveit & Locy, 1982; Mao *et al.*, 1995). Assim, como

demonstrado nos experimentos de respiração, neste trabalho também ocorreram incrementos nas taxas respiratórias de frutos danificados, o que pode explicar as modificações encontradas nos sólidos solúveis, acidez titulável e conseqüentemente, na relação entre eles.

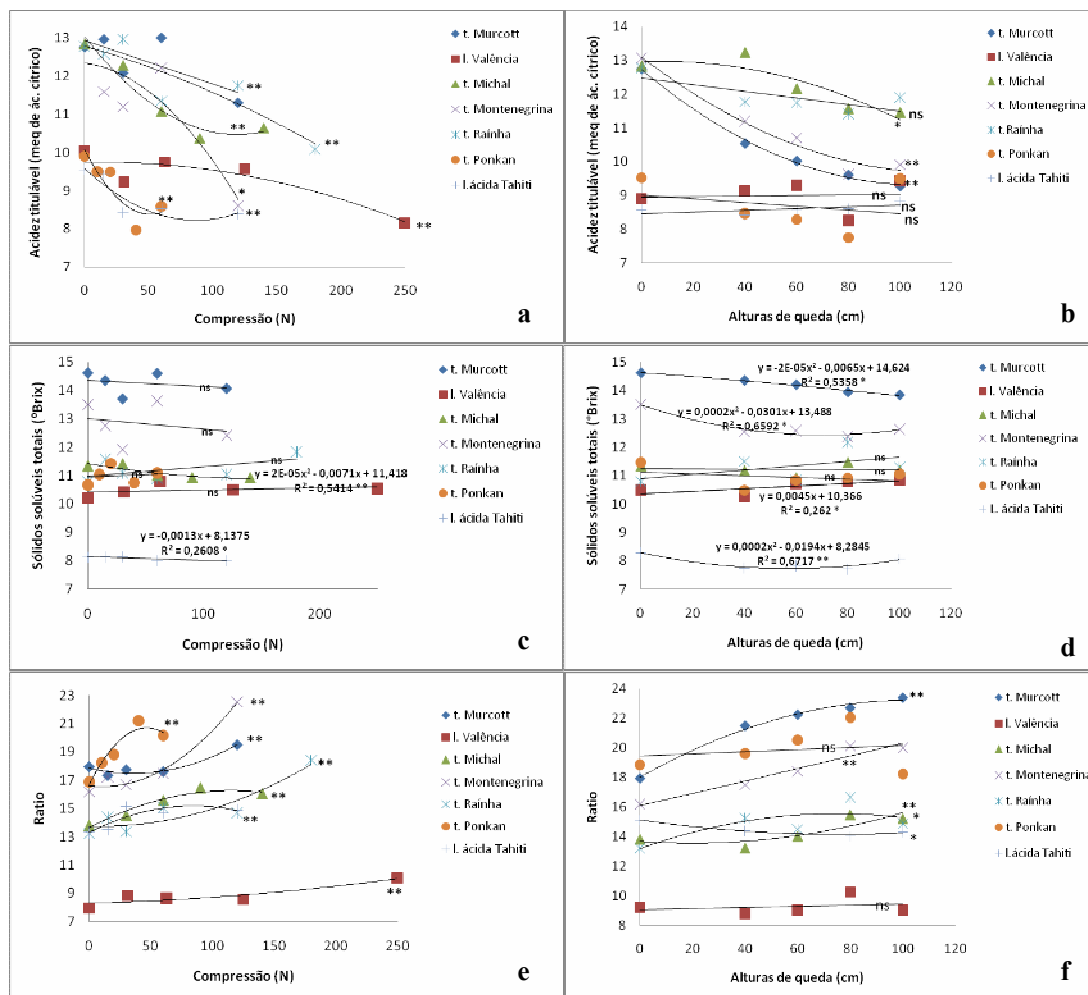


FIGURA 49. Teores de acidez titulável, sólidos solúveis totais e ratio em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenetgrina', 'Rainha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a, c, e) e impactos (b, d, f). Porto Alegre, 2007 a 2009.

TABELA 18. Curva de regressão e coeficiente de determinação (r^2) para variáveis acidez titulável e ratio em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Rainha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009.

Espécie	Curva/ R ²	Curva/ R ²
Acidez titulável		
	Tratamentos de compressão	Tratamentos de impacto
tangor Murcott	$y = -0,0112x + 12,918/0,3311^{**}$	$y = 0,0003x^2 - 0,064x + 12,723/0,7726^{**}$
laranja Valência	$y = -6E-05x^2 + 0,0015x + 19,475/0,7274^{**}$	ns
tangerina Michal	$y = 0,0002x^2 - 0,043x + 13,027/0,7804^{**}$	$y = -0,0002x^2 + 0,0036x + 12,95/0,5256^*$
tangerina Montenegrina	$y = -0,0002x^2 - 0,0041x + 12,331/0,6359^*$	$y = 0,0003x^2 - 0,0586x + 13,095/0,8174^{**}$
tangerina Rainha	$y = -3E-05x^2 - 0,0095x + 12,774/0,6691^{**}$	ns
tangerina Ponkan	$y = 0,0006x^2 - 0,0658x + 10,075/0,5477^{**}$	ns
lima ácida Tahiti	$y = 0,0002x^2 - 0,031x + 9,5767/0,7373^{**}$	ns
Espécie	Curva/ R ²	Curva/ R ²
Ratio		
	Tratamentos de compressão	Tratamentos de impacto
tangor Murcott	$y = 0,0003x^2 - 0,0205x + 17,847/0,5512^{**}$	$y = -0,0005x^2 + 0,1005x + 18,008/0,6515^{**}$
laranja Valência	$y = 2E-05x^2 + 0,0024x + 8,2913/0,7685^{**}$	ns
tangerina Michal	$y = -0,0002x^2 + 0,0454x + 13,647/0,7605^{**}$	$y = 0,0003x^2 - 0,0129x + 13,679/0,5619^{**}$
tangerina Montenegrina	$y = 0,0005x^2 - 0,0109x + 16,609/0,9063^{**}$	$y = 1E-05x^2 + 0,0411x + 16,086/0,784^{**}$
tangerina Rainha	$y = 0,0002x^2 - 0,003x + 13,755/0,7422^{**}$	$y = -0,0004x^2 + 0,0636x + 13,176/0,4541^*$
tangerina Ponkan	$y = -0,0018x^2 + 0,1714x + 16,7/0,5715^{**}$	ns
lima ácida Tahiti	$y = -0,0003x^2 + 0,0446x + 13,297/0,615^{**}$	$y = 0,0002x^2 - 0,0259x + 15,131/0,4652^*$

ns=não significativo.

Teores de ácido ascórbico variaram significativamente em função da intensidade das forças de compressão e das alturas de queda aplicadas na maioria dos cítricos avaliados (Figura 50 e Tabela 19). Reduções significativas nos teores do ácido ascórbico em função dos tratamentos de compressão foram visualizadas em todas as tangerinas e na lima ácida 'Tahiti'.

No caso dos tratamentos de impacto ocorreram reduções significativas nas tangerinas 'Montenegrina' e 'Rainha' e no tangor 'Murcott', a laranja 'Valência' mostrou incremento para esta variável em função dos tratamentos, apesar do baixo coeficiente de determinação nesta análise (Figura 49 b e Tabela 19).

Nestas espécies, as reduções foram de 27, 24 e 20% respectivamente nos tratamentos de maior altura de queda em relação à testemunha. Tratamentos de compressão promoveram perdas mais severas de ácido ascórbico e em um maior número de espécies. Reduções de 23, 34 e até 43% ocorreram nas tangerinas 'Ponkan', 'Raínha' e 'Montenegrina' respectivamente, nos tratamentos mais intensos em relação aos frutos que não sofreram danos mecânicos.

Outros trabalhos já evidenciaram perdas de vitamina C em função de danos mecânicos. Em tomates, foram encontrados decréscimos de 17% no teor de vitamina C em frutos injuriados (Moretti, 1999). O autor concluiu que tecidos injuriados de tomate apresentaram menores conteúdos de ácidos orgânicos e vitamina C e que os tecidos loculares foram os mais afetados pelos impactos aplicados. Durigan *et al.* (2005) determinaram um decréscimo de aproximadamente 6% no teor de vitamina C em lima ácida 'Tahiti' submetida a impactos de quedas a uma altura de 1,20 m. Os mesmos pesquisadores não encontraram respostas na redução do teor de vitamina C para os tratamentos de compressão e cortes. Contrariando o estudo citado, o presente trabalho indica haver redução significativa de vitamina C na lima ácida 'Tahiti' em função das forças de compressão, enquanto que não há variação significativa em função dos tratamentos de impacto.

O teor de vitamina C é uma característica de suma importância em cítricos. É uma das razões pelas quais o consumidor aprecia estes frutos, já que o ácido ascórbico apresenta grande poder antioxidante. Mais de 90% da vitamina C na dieta humana é fornecida por frutas e vegetais (Lee & Kader, 2000). A vitamina C pode ser degradada de três formas. A degradação enzimática, onde a vitamina é

degradada pela ação das oxidases. A degradação térmica, por elevação da temperatura, e a que ocorre por meio de reações aeróbicas e anaeróbicas. A maior parte do ácido ascórbico é perdido depois da colheita por reações aeróbicas (Nagy, 1980). Silva e colaboradores (2006), estudando os efeitos do processamento no conteúdo de vitamina C em suco de laranja concluíram que a agitação do suco reduziu significativamente o conteúdo da vitamina, demonstrando que não apenas o tratamento térmico, mas também a agitação pode influenciar o valor nutricional em preparações. Durante a homogeneização dos sucos há incorporação de oxigênio, e posterior oxidação da vitamina C. No presente estudo, os frutos injuriados por impacto ou compressão podem ter sofrido rupturas internas das vesículas de suco as quais causaram a exposição de parte do ácido ascórbico ao oxigênio, acelerando os processos de degradação da vitamina C.

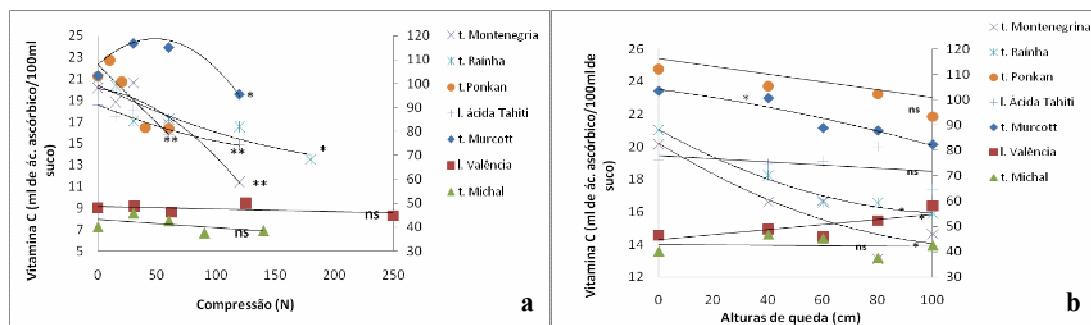


FIGURA 50. Teor de vitamina C em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Rainha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Os teores de vitamina C da tangerina 'Michal', tangor 'Murcott' e laranja 'Valência' estão representados no eixo Y da direita e o das demais espécies no eixo Y da esquerda. Porto Alegre, 2007 a 2009.

TABELA 19. Curva de regressão e coeficiente de determinação (r^2) para variável teor de vitamina C em em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', lima ácida 'Tahiti' e tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan' submetidas a compressões (a) e impactos (b). Porto Alegre, 2007 a 2009.

Espécie	Curva/ R^2	Curva/ R^2
	Tratamentos de compressão	Tratamentos de impacto
tangor 'Murcott'	$y = -0,0046x^2 + 0,4471x + 107,89/ R^2 = 0,177$	$y = -0,0008x^2 - 0,1436x + 104,03/ R^2 = 0,4565$
laranja 'Valência'	ns	$y = 0,1019x + 44,663/ R^2 = 0,2747$
Tangerina 'Michal'	ns	ns
tangerina 'Montenegrina'	$y = -0,0005x^2 - 0,0151x + 20,087/ R^2 = 0,8530$	$y = 0,0004x^2 - 0,1035x + 20,226/ R^2 = 0,6984$
tangerina 'Raíinha'	$y = 1E-04x^2 - 0,0534x + 20,39/ R^2 = 0,5846$	$y = 0,0004x^2 - 0,0927x + 21,055/ R^2 = 0,4813$
tangerina 'Ponkan'	$y = 6E-05x^2 - 0,1118x + 22,344/ R^2 = 0,5498$	ns
lima ácida 'Tahiti'	$y = 0,0001x^2 - 0,0452x + 18,584/ R^2 = 0,6155$	ns

ns=não significativo.

5 CONCLUSÕES

Danos mecânicos de compressão e impacto ocorrem durante o embalamento de maçãs e laranjas.

No caso das maçãs, as camadas inferiores de uma pilha e os calibres maiores são os que suportam as maiores forças e quanto maior a pilha de caixas, maiores são as forças exercidas sobre os frutos nas camadas inferiores. O sobre-enchimento de caixas está relacionado às forças de compressão encontradas neste estudo e é necessária uma readequação das dimensões das caixas de papelão ondulado, sem a qual o sobre-enchimento continuará a ser a razão das principais forças de compressão durante o embalamento de maçãs.

Para as laranjas três procedimentos são considerados críticos durante o manuseio pós-colheita, seja pelas grandes magnitudes das forças detectadas, seja pelo tempo ao qual o fruto está exposto a estas forças. Estes procedimentos são: o enchimento de caixas, o ensacamento de frutos e o uso do silo de armazenamento. As maiores forças ocorrem durante o embalamento em caixas e sacolas.

São necessárias mudanças durante o manuseio dos frutos cítricos de forma a evitar ou atenuar a ocorrência destas forças e as conseqüentes perdas decorrentes dos danos mecânicos. As seguintes sugestões para atenuar as forças são propostas: redução da altura de queda durante o embalamento com

sacolas e maior cuidado durante o ajuste final da sacola para evitar o choque contra o chão; uso de uma mesa auxiliar no embalamento com caixas para evitar o apoio da caixa de madeira sobre os frutos.

Os estudos dos efeitos dos danos mecânicos indicam que existem modificações fisiológicas e qualitativas nas maçãs em função da danificação. As seguintes respostas significativas ocorrem em função das intensidades dos tratamentos: incremento na respiração celular e na perda de massa fresca, reduções na acidez titulável, nos sólidos solúveis e na firmeza de polpa, e aceleração na degradação do amido da polpa. Modificações nas variáveis de sabor e teor de amido na polpa ocorrem apenas na cultivar Royal Gala e no caso do sabor somente por danos mecânicos de impacto. Estes resultados indicam alteração no metabolismo e no sabor dos frutos e aceleração dos processos de maturação e senescência.

Externamente há modificações de coloração associadas às lesões internas da polpa de maçãs submetidas a impactos, onde a cultivar Royal Gala evidencia variações mais expressivas.

Existem alterações em função dos danos mecânicos tanto no tecido sadio de um fruto danificado como no tecido injuriado, este último sofre as maiores modificações. Além da oxidação dos tecidos, principalmente no caso de danos por impacto, a conversão do amido em açúcares solúveis fica comprometida permanentemente e a firmeza de polpa é muito reduzida.

Ocorrem alterações nas membranas e na parede celular dos tecidos injuriados indicando dano celular. Danos nas membranas são indicativos de descompartimentalização dos tecidos e podem comprometer o metabolismo das

células injuriadas, enquanto que a parede celular apresenta alteração no formato quando os frutos são submetidos aos danos de compressão.

Danos provocados por impactos são mais severos que aqueles provocados por compressões para maçãs, pois acarretam modificação significativa de um maior número de variáveis.

Em relação às cultivares estudadas, as maçãs 'Royal Gala' são mais suscetíveis aos danos mecânicos, pois apresentam maiores incrementos nas taxas respiratórias, alterações na coloração de recobrimento do epicarpo, modificação significativa de sabor quando submetida a impactos e alterações mais severas na firmeza de polpa. Desta forma, são necessários maiores cuidados no manuseio desta cultivar para evitar danos mecânicos.

Nos frutos cítricos todas as variáveis estudadas mostram variação em função dos danos mecânicos aplicados. No entanto, as respostas aos danos mecânicos dependem das espécies estudadas, do tipo de dano mecânico, bem como das intensidades dos tratamentos.

As seguintes respostas significativas ocorrem em função das intensidades dos tratamentos: incrementos na respiração celular e perda de massa fresca, reduções nos teores de sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico. Estas modificações são indicativos de avanço na senescência dos frutos, modificação de sabor e redução do valor nutricional dos cítricos danificados.

As principais modificações externas nos cítricos ocorrem na tangerina 'Ponkan' e no tangor 'Murcott'. Estas duas espécies, quando submetidas a compressões, sofrem modificações capazes de serem visualizadas a olho nu. No tangor 'Murcott' há surgimento de manchas escurecidas no pericarpo e na

tangerina 'Ponkan' o desenvolvimento de oleocelose. A tangerina 'Ponkan' desenvolve o sintoma de oleocelose quando submetida a compressões. Esta espécie apresenta maior número de cavidades de óleo por centímetro quadrado de casca, e suas cavidades são mais superficiais e muito próximas umas das outras. Estas características anatômicas indicam que pode haver a liberação de uma maior quantidade de óleo na superfície da casca quando esta tangerina é submetida a compressões.

A oleocelose é extremamente prejudicial às tangerinas 'Ponkan', não apenas pelo seu sintoma visual externo, mas também por provocar a desestruturação dos tecidos da casca facilitando a penetração dos patógenos de pós-colheita.

Os danos mecânicos por compressão são mais agressivos e causam alterações em um maior número de variáveis e espécies cítricas. Dos materiais avaliados a tangerina 'Ponkan' é a espécie mais suscetível a modificações quando submetida a danos mecânicos por compressão. Em relação aos danos por impacto o tangor 'Murcott' é bastante suscetível, seguido das tangerinas 'Montenegrina' e 'Raínha'.

Uma força de 50 N, o equivalente a aproximadamente 5 Kg, encontrada nos procedimentos de embalagem de laranjas, é capaz de reduzir o teor de vitamina C nas tangerinas 'Montenegrina', 'Raínha' e 'Ponkan' em 10, 11 e 26 %, respectivamente, e em 11% na lima ácida 'Tahiti', de acordo com as estimativas das curvas de regressão. Esta mesma força pode provocar reduções nos teores de acidez titulável nos cítricos da ordem de: 4%, 4‰, 13%, 6%, 4%, 18% e 11%

em tangor 'Murcott', laranja 'Valência', tangerinas 'Michal', 'Montenegrina', 'Raíinha' e 'Ponkan', e lima ácida 'Tahiti', respectivamente.

Danos mecânicos por impactos a uma altura de 60 cm, usuais no embalamento de laranjas, provocam perdas nos teores de vitamina C da ordem de 11, 24 e 20 % em tangor 'Murcott' e tangerinas 'Montenegrina' e 'Raíinha', respectivamente.

As maçãs que sofrem compressões de 100 N podem perder 3 e 12% de firmeza de polpa, no caso da cultivar 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema', respectivamente. Alturas de queda de 40 cm podem reduzir em 18 e 10% a firmeza de polpa nas regiões lesionadas das cultivares 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema', respectivamente, segundo as estimativas das curvas de regressão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira etapa deste estudo foram apresentados os resultados da investigação das forças que acontecem durante uma parte dos procedimentos do manuseio em casas de embalagem de cítricos e maçãs. No entanto, há partes do manuseio pós-colheita que ainda precisam ser investigadas para que se tenha a real idéia de todas as forças às quais os frutos estão expostos após a colheita. Uma investigação que vai desde o momento da colheita, envolve o transporte até o packinghouse e as operações que ocorrem na linha de beneficiamento ainda precisam ser investigadas. Existem procedimentos que requerem o uso de uma esfera instrumentada autônoma, que seja capaz de mover-se ao longo da linha de beneficiamento dos frutos, passando pelos processos de higienização e classificação. Para essa etapa uma nova esfera autônoma com capacidade de armazenar dados de compressão e aceleração além de medir temperatura e umidade está sendo desenvolvida e será utilizada em estudos futuros.

Os estudos sobre os efeitos dos danos mecânicos apresentados evidenciam os prejuízos qualitativos sofridos por maçãs e cítricos danificados. Ainda que as alterações nos atributos de qualidade sejam dependentes da espécie ou cultivar, ou ainda, das intensidades ou tipos de danos mecânicos aplicados, as respostas de seus efeitos nas características químicas e físicas encontradas neste estudo são suficientes para predizer o que ocorre com um fruto

na medida em que o mesmo é danificado. Entretanto, assim como responde a estas questões, deixa outras em aberto para posterior investigação e continuidade dos estudos na área.

No caso das maçãs, está claro que ocorrem modificações na firmeza de polpa, resta entender como. Quais os compostos que se modificam ao nível de parede celular em frutos danificados? Quais os processos enzimáticos envolvidos? Outra questão que fica em aberto é o metabolismo do etileno em maçãs injuriadas, que seguramente merece ser investigado e pode ajudar a explicar muitos dos resultados encontrados neste estudo.

Nos frutos cítricos a ocorrência da oleocelose foi estudada em função das características anatômicas da casca em diferentes espécies. Embora tenha ficado clara a diferença anatômica entre as espécies em estudo, uma investigação da constituição do óleo presente nas diferentes espécies poderia completar este estudo, e assegurar a que se devem as diferenças em termos de incidência de oleocelose. E ainda, um estudo do desenvolvimento das cavidades de óleo a campo em função das características de clima seria interessante, e poderia revelar a razão pela qual uma mesma espécie é mais ou menos propensa a desenvolver a oleocelose em pós-colheita.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAPOMI - Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã. **Dados estatísticos 2008**. Disponível em: <<http://www.agapomi.com.br/dadosestatisticos.php>>. Acesso em: 27 mar. 2009.

AGAR, I. T.; MICHAN, E. J. Commercial handling influences quality and ripening of bartlett pears. **California Agriculture**, Oakland, v. 54, n. 3, p. 34-37, 2000.

ALAYUNT, F. N. et al. Vibration damage trial on some fig cultivars. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.480, p.305-310, 1998.

AMAPI - Associação de Produtores de Maçã e Pêra de Santa Catarina, 2006. **Dados estatísticos**. Disponível em: <http://www.amap-sc.com.br/>. Acesso em: 27 março 2009.

ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. **Desenvolvimento e conquistas da Produção Integrada de frutas no Brasil até 2004**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005. 10p. Relatório.

AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. Washington, 2002.

ARGENTA, L. C. Fisiologia pós-colheita: maturação, colheita e armazenagem dos frutos. In: A CULTURA da Macieira. Epagri: Florianópolis, 2002. p. 691-732.

ARPAIA, M. L. *et al.* Susceptibility of avocado fruit to mechanical damage as influenced by variety, maturity and stage of ripeness. In: THE FIRST WORLD AVOCADO CONGRESS, 10., 1987, South Africa. **Proceedings...** Pretória, 1987. p.149-151

BENDER, R. J. **Comunicação pessoal**. Porto Alegre, 01 de jul. de 2010. Informação pessoal.

BENDER, R. J. et al. Danos de compressão de maçãs em *packinghouses*. **Revista da Maçã**, Itapema, v. 10, p. 6 - 8, 2008.

BENDER, R. J. **Perdas em pós-colheita**. Porto Alegre, 2007. Informação pessoal.

BILLY, L. et al. Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage. **Postharvet Biology and Technology**, Amsterdam, v.47, n.3, p.315-324, 2007.

BLANKE, M. M. Respiration of apple and avocado fruit. **Postharvest news and information**, Wallingford, v. 2, n. 6, p. 429-436, 1991.

BOLLEN, A.F. Technological innovations in sensors for assessment of postharvest mechanical handling systems. **International Journal of Postharvest Technology and Innovations**, Genebra, v.1, n.1, 2006.

BRACKMANN A. et al. Resposta da maçã cv. Fuji ao etileno no armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.953-956, 2001.

BROWN, G. K. et al. Apple packing line impact damage reduction. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.6, n.6, p.759-764, 1990.

BROWN, G. K. et al. Reduce Apple Bruise Damage. **Tree postharvest journal**. Wenatchee, v.4, n.3, p.6-10, 1993.

BRUMMEL, D. A. Cell wall disassembly in ripening fruit. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 33, n.2, p.103-119, 2006.

BRUMMEL, D. A.; LABAVITCH, J. M. Effect of antisense suppression of endopolygalacturonase activity on polyuronide molar mass in ripening tomato fruit and in fruit homogenates. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.115, n.2, p.717-725, 1997.

BRUMMEL, D. A.; HARPSTER, M.H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 47, n.1-2, p.311-340, 2001.

BRYANT, P. **Optimising the Postharvest Management of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.)** Study of Mechanical Injury and Desiccation. 2004. 396 f. Tese (Doutorado) – Faculty of Agriculture, University of Sydney, Sydney, 2004.

BUENO, C. R.; REIS R. P.; SOUZA M. de. Estudo mercadológico da sazonalidade de frutos cítricos ofertados no município de Lavras-MG. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.813-824, 1999.

CAMPOS, P. S. et al. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. *Plants. Journal of Plant Physiology*, Jena, v.160, n.3, p. 283-292, 2003.

CENTRO DE CITRICULTURA SYLVIO MOREIRA. Dados: a polêmica dos números citrícolas. *Informativo Centro de Citricultura*, Cordeirópolis, n. 68, p.3, 2001.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-Colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

CONWAY, W. S.; GROSS, K. C.; SAMS, C. E. Relationship of bound calcium and inoculum concentration to the effect of postharvest calcium treatment on decay of apples by *Penicillium expansum*. *Plant Disease*, St.Paul, v.71, n.1, p.78-80, 1987.

CORRENT, A. R. *et al.* Efeito do 1-metilciclopropeno em maçãs 'Fuji' armazenadas em atmosfera refrigerada e atmosfera controlada. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.11, n. 1, p. 91-94, 2005.

CRISOSTO, C. H. *et al.* Relationship between fruit respiration, bruising susceptibility, and temperature in sweet cherries. *Hortscience*, Alexandria, v.28, n.2, p.132-135, 1993.

DENG, Y.; WU, Y.; LI, Y.F. Effects of high O₂ levels on post-harvest quality and shelf life of table grapes during long-term storage. *European Food Research and Technology*, Berlin, v.221, n.6, p.392-397, 2005.

DIEHL *et al.* Structural failure in selected raw fruits and vegetables. *Journal of Texture Studies*, Westport, v.10, n.4, p.371-400, 1980.

DIEHL K. C.; HAMANN D. D. Relationships between sensory profile parameters and fundamental mechanical parameters for raw potatoes, melons and apples. *Journal of Texture Studies*, Westport, v.10, n.4, p.401-420, 1980.

DURIGAN, M. F. B.; MATIUIZ, B-H; DURIGAN, J. F. Injúrias mecânicas na qualidade pós-colheita de lima ácida 'Tahiti' armazenada sob condições ambiente. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.27, n.3, p. 369-372, 2005.

DURIGAN, M. F. B. **Injúrias mecânicas na qualidade de mangas "Palmer" e "Keitt"**. 2003. 63f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

EGAN, S. Methods of handling affects tomato fruit quality. *Farm and Food Research*, Dublin, v.13, n.3, p.72-74, 1982.

FAGUNDES, G. R.; YAMANISHI, O. K. Estudo da comercialização do mamão em Brasília-DF. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.91-95, 2002.

FAN, X. *et al.* Changes in amylose and total starch content in “Fuji” apples during maturation. **Hortscience**, Alexandria, v.30, n.1, p.104-105, 1995.

FAO. **Food and Agricultural commodities production**. Roma. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 30 jun.2010.

FAO. **Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha**: frutas, hortalizas y tubérculos. Roma, 1993. 183 p. (Manual de Capacitación, 14).

FATIMA, N. *et al.* Prevalance of post-harvest rot of vegetables and fruits in Karachi, Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v.41, n.6, p.3185-3190, 2009.

FELÍCIO, R. *et al.* Condicionamento térmico e fungicida na conservação refrigerada de tangor murcott. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.3, p.333-339, 2006.

FERNANDEZ, R. M. *et al.* Osmotic dehydration of muskmelon (*Cucumis melo*): influence of blanching and syrup concentration. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v.31, n.4, p.392-405, 2007.

FERREIRA, M. D. *et al.* Determinação em tempo real da magnitude de danos físicos por impacto em linhas de beneficiamento e em condições de laboratório e seus efeitos na qualidade de tomate. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, 2009.

FERREIRA, M. D. *et al.* Physical evaluation on tomatoes cv. 'Romana' during postharvest handling. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.321-327, 2006.

FERREIRA, M. D. *et al.* Pontos críticos de impacto em linhas de beneficiamento utilizadas para citros no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.28, n.3, 2006.

FERREIRA, M. D.; HENRIQUE NETTO, L. Avaliação de processos nas linhas de beneficiamento e classificação de batatas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, n.2, 2007.

FERREIRA, M. D.; SARGENT, S. A.; BRECHT, J. K. Estudo sobre alternativas de manuseio e classificação do morango após a colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.13, n.1, p.82, 1995.

FISCHER, I. H. *et al.* Caracterização dos danos pós-colheita em citros procedentes de 'packinghouse'. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.32, n.4, p.304-310, 2007.

GERRITS, P. O.; SMID, L. A new, less toxic polymerization system for the embedding of soft tissues in glycol methacrylate and subsequent preparing of serial sections. **Journal of Microscopy**, Oxford, v.132, n.1, p.81-85, 1983.

GHAFOOR, U. *et al.* Harvesting and marketing problems faced by citrus growers. **Journal of Agricultural Research**, Punjab, v.48, n.2, p.253-257, 2010.

GIRARDI, C. L.; SANHUEZA, R. M. V.; BENDER, R. J. **Manejo pós-colheita e rastreabilidade na produção integrada de maçãs**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2002. 23p. (Circular técnica, 31)

HENZ, G. P. *et al.* Danos causados pelo impacto de queda na qualidade pós-colheita de raízes de mandioca-salsa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.881-886, 2005.

HERNANDEZ, Y. *et al.* Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. **Food Chemistry**, London, v.96, n.4, p.654-664, 2006.

HERNANDEZ-MUNOZ, P. *et al.* Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.39, n.3, p.247-253, 2006.

HOLT, J. E.; SCHOORL, D. Mechanics of failure in fruits and vegetables. **Journal of Texture Studies**, Westport, v.13, n.1, p.83-96, 1982.

HUBER, D. J. *et al.* Pectin degradation in ripening and wounded fruits. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.13, n.2, p.224-241, 2001.

HUGHES J.; McCULLY, M. E. The use of an optical brightener in the study of plant structure. **Stain Technology**, Baltimore, v.50, n.5, p.319, 1975.

HUNG, Y. C.; PRUSSIA, S. E. Effect of maturity and storage time on the bruise susceptibility of peaches (cv. Red Globe). **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.4, p.377-1382, 1989.

HYODO, H. et al. Induction of ethylene production and lignin formation in wounded mesocarp tissue of *Cucurbita maxima* L. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.9, p.343: 264-269, 1993.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201005_6.shtm Acesso em: 30 jun. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/estatisticas> > Acesso em: 02 maio 2005.

JUNQUEIRA, L. P. **Fenologia e características físicas da lima ácida 'Tahiti' cultivada sob irrigação no Distrito Federal**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado - Ciências agrárias) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

KADER, A. A. Postharvest Biology and Technology: an overview. In: KADER, A. A. et al. (Eds.). **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. Berkeley: University of California, 1985. p. 3-8.

KADER, A. A. *et al.* **Postharvest technology of horticultural crops**. Oakland: University of California, 1992. 296 p.

KAMPS, T. L. et al. Evolution of techniques to measure chilling injury in tomato. **HortScience**, Alexandria, v.22, n.6, p.1309-1312, 1987.

KASAT, G. F. *et al.* Injúrias mecânicas e seus efeitos em pêssegos 'Aurora-1' **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.318-322, 2007.

KASAT, G. F. **Efeito de injúrias mecânicas na qualidade pós-colheita de pêssegos 'Aurora-1'**. 2003. 47f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: Van noshard Reinhold, 1991. 532p.

KECHINSKI, C. P. **Avaliação do uso de ozônio sobre a conservação do mamão papaia (Carica papaya L.)** 2007. 125f. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KEY, J. L. *et al.* The heat shock response in soybean seedlings. In: DURE, L.; CIFERRI, O. (Eds.) **Structure and function of plant genomes**. New York :Plenum Press, 1982. p.25-36.

KLUGE, R. A. **Estresse de temperatura**. Laboratório de Ciências Biológicas. Escola Superior de Agricultura. São Paulo. Disponível em: <<http://sermai.com.br/biblioteca%20virtual/consultoria/assunto%20banana/ESTR ESSE%20TEMPERATURA%20EM%20BANANA.doc>> Acesso em: 27 jul. 2010.

KNIGHT (completar nome do autor) *et al.* The relationship between oil gland and fruit development in Washington navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Annals of Botany**, Londres, v.88, n.6, p.1039-1047, 2002.

KOLLER, O. C. **Citricultura: laranja, limão e tangerina**. Porto Alegre: Riegel, 1994. 446p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal**. Seropédica: EDUR, 1997.198p.

KREUZ, C. L.; ARGENTA, L. C. O uso do 1-MCP para a geração de valor na cadeia produtiva da maçã. **Revista da Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.16. n.2, p. 59-62, 2003.

KREUZ, C. L.; SOUZA, A.; PETRI, J. L. Impacto da intensificação da densidade de plantio na rentabilidade em duas cultivares de macieira em Fraiburgo-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n.2, p.240-243, 2006.

LANA, M. M. et al. Identificação das causas de perdas pós-colheita de cenoura no varejo, Brasília-DF. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.20, n.2, p.241-245, 2002.

LASHBROOK, C. C. New insights into cell wall disassembly during fruit ripening. **Stewart Postharvest Review**, Quebec, v.3, n.2, p.1-18, 2005.

LAU, O. L. Harvest indices, dessert quality, and storability of 'Jonagold' apples in air and controlled atmosphere storage. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.113, n.4, p.564-569, 1988.

LAU, O. L. Storage procedures, low oxygen and low carbon dioxide atmospheres on storage quality of 'Golden Delicious' and 'Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.110, n.4, p.541-547, 1985.

LEE, E. **Quality changes induced by mechanical stress on Roma-type tomato and potential alleviation by 1-methylcyclopropene**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado)-University of Florida, Gainesville, 2005.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.207-220, 2000.

LESHEM, Y. **Plant membranes: A Biophysical Approach to Structure, Development and Senescence**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1992. 280p.

LITTLE, C. R. et al. Effects of initial oxygen stress treatments in low oxygen modified atmosphere storage of "Granny Smith" apples. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.2, p.130, 1982.

LUENGO, R. F. A. et al. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.4, p.704-707, 2003.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, A. P. Tomato (*Lycopersicon esculentum* P. Miller) compression due to "K" wood box closing. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.34, n.3, 2010.

MACLEOD, R. F. et al. Stimulation of ethylene and CO₂ production of mature-green tomatoes by impact bruising. **HortScience**, Alexandria, v.11,n.6, p.604-606, 1976.

MAGALHÃES, A. M. et al. Superfícies protetoras na diminuição de danos mecânicos em tomate de mesa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, 2007.

MAO, L. et al. Respiration rate, ethylene production, and cellular leakage of fruit following vibrational stress. **HortScience**, Alexandria, v.30, n.1, p.145-149, 1995.

MARÍNEZ-ROMERO, D. et al. Effect of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, n.5, 2002.

MARTINS, M. C. et al. Quantificação de danos pós-colheita em pêssegos no mercado atacadista de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v.31, n.1, p.5-10, 2006.

MARTINS, M. C. et al. Incidência de danos pós-colheita em goiabas o mercado atacadista de São Paulo e sua relação com a prática de ensacamento dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.2, 2007.

MATTIUZ, B.; DURIGAN, J. F. Efeito de injúrias mecânicas no processo respiratório e nos parâmetros químicos de goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p.282-287, 2001a.

MATTIUZ, B.-H. et al. Processamento mínimo em goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato': 2. Avaliação química, sensorial e microbiológica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3, 2003.

MATTIUZ, B.; DURIGAN, J. F. Efeito de injúrias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n.2, 2001b.

MCGLASSON W. B.; PRATT H. K. Effects of Wounding on Respiration and Ethylene Production by Cantaloupe Fruit Tissue. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.39, n.1, p.128-132, 1964.

MILLER, A. R. Harvest and handling injury: physiology, biochemistry and detection. In: BARTZ, J.A.; BRECHT, J.K. (eds.). **Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables**. New York: Marcel Dekker, 2003. p.177-208.

MINOLTA Co. **Precise color communication**. Ramsey: Minolta, 1993. 13p.

MOHSEIN, N. N. Characterization and failure in solid food with a particular reference to fruits and vegetables. **Journal of Texture Studies**, Westport, v.8, n.2, p.169-193, 1977.

MOHSEIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**: structure, physical characteristics and mechanical properties. 2nd. ed. New York: Gordon and Breach, 1986. 891 p.

MONTERO, C. R. S. et al. Postharvest mechanical damage affects fruit quality of 'Montenegrina' and 'Rainha' tangerines. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, 2009.

MORETTI, C. L. *et al.* Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.123, n.4, p.656-600, 1998.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A. Alterações de sabor e aroma em tomates causada por impacto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.385-388, 2000.

MORETTI, C. L. **Injúria interna de impacto em frutos de tomate**: fisiologia e conservação pós-colheita. 1998. 132 f. Tese (Doutorado - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A.; HUBER, D. J. Delayed ripening does not alleviate symptoms of internal bruising in tomato fruit. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Winter Haven, v.112, p.169-171, 1999.

MÜLLER, I. **Sistemas instrumentáveis portáteis**: esferas instrumentadas para sensoriamento de forças em três dimensões. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MÜLLER, I.; BRITO, R. M.; BENDER, R. J. Instrumented Sphere for Compression Analysis instrumentation and measurement technology. In: INTERNACIONAL INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE (IEEE). **Proceedings...** Victoria, 2008.

NAGY, S. Vitamine C contents of citrus fruit and their products: a review. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Easton, v. 28, n.1, p.8-18, 1980.

OBENLAND, D. et al. Commercial packing and storage of navel oranges alters aroma volatiles and reduces flavor quality. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.48, n.2, p.159-167, 2008.

O'BRIEN, T. P.; McCULLY, M. E. **The study of plant structure**: principles and selected methods. Melbourne: Termarcaphi Pty., 1981. 345 p.

PATTERSON, M. E. Handling Granny Smith apples: The biology and storage technology for maximum storage. In: INTERNACIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 5., 1989, Washington. **Proceedings...**, Washington, 1989. v.1, p.7-11.

PETRY, J. L; LEITE, G. B. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.857-1166, 2008.

PISARCZYK, J. M. Field harvest damage affects potato tuber respiration and sugar content. **American Potato Journal**, Orono, v.59, n.5, p.205-211, 1982.

PITTS, M. et al. Evaluating Apple Firmness Sensors. **Tree Fruit Postharvest Journal**, Wenatchee, v.8, n.4, p.13-22, 1997.

POLITO, V. S. *et al.* Anatomical and histochemical factors associated with bronzing development in strawberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.127, n.3, p.355-357, 2002.

PRANGE, R. K. *et al.* Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll-containing fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.2, p.201-205, 2002.

PRANGE, R. K.; DeLONG, J. M.; HARRISON, P. A. Storage humidity and post-storage handling temperature affect bruising and other apple quality characteristics. **Acta Horticulturae (ISHS)**, Wageningen, v.553, p.717-720, 2001. Trabalho apresentado na IV International Conference on Postharvest Science, 2001, Jerusalém. Disponível em:

<http://www.actahort.org/books/bynumber/bynumber.htm>

RADI, M.; MAHROUZ, M., JAQUAD, A. Phenolic composition, browning susceptibility, and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. **HortScience**, Alexandria, v.32, n.6, p.1087-1091, 1997.

RADI, M.; MAHROUZ, M.; JAOUAD, A. Phenolic composition, browning susceptibility, and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. **HortScience**, Alexandria, v.32, n.6, p.1087-1091, 1997.

REDGWELL (completar nome do autor) et al. In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening. **Planta**, Berlin, v.203, n.2, p.162-173, 1997.

REID, M. S. et al. Starch iodine pattern as a maturity index for Granny Smith apples.1. Comparison with flesh firmness and soluble solids content. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.25, n.2, p.229-237, 1982.

SALTVEIT, M. E.; LOCY, R. D. Cultivar differences in ethylene production by wounded sweet potato roots. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.6, p.1114-1117, 1982.

SAMIM, W.; BANKS, N.H. Colour changes in bruised apple fruit tissue. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Wellington, v.21, n.4, p.367-72, 1993.

SANCHES, J. et al. Efeitos de injúrias mecânicas em abacates 'Hass' e 'Quintal'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004. v.1, p.1-5.

SANCHES, J.; DURIGNA, J. F.; DURIGAN, M. F. B. Aplicação de danos mecânicos em abacates e seus efeitos na qualidade dos frutos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.164-175, 2008.

SANTOS, L. et al. Danos mecânicos e seus efeitos na qualidade pós-colheita de caquis taninosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** Vitória, 2008.

SANTOS FILHO, H. P.; OLIVEIRA, A. A. R. **Oleocelose** (Mancha de Óleo dos Citros). Cruz das Almas: Embrapa, 2004. (Circular Técnica).

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Respiração e produção de etileno de maçãs armazenadas em diversas concentrações de oxigênio. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.8, n.1, p.71-75, 2002.

SARDI. South Australian Research and Development Institute, 2001. **Horticulture: mechanical injury**. Disponível em: http://www.sardi.sa.gov.au/pages/horticulture/citrus/hort_citp_postinjury.htm:sectlD=306&templD=99. Acesso em: 25 fev. 2005.

SARGENT, S. A.; BRECHT, J. K.; ZOELLNER, J. J. Sensitivity of tomatoes at mature-green and breaker ripeness stages to internal bruising. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.1, p.119-123, 1992.

SARGENT, S. A.; BRECHT, J. K.; ZOELLNER, J. J. Assessment of mechanical damage in tomato packing lines. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.1, p.630-634, 1989a.

SARGENT, S. A.; BRECHT, J. K.; ZOELLNER, J. J.; CHAU, K. V.; RISSE, L. A. Reducing mechanical damage to tomato during handling and shipment. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.2, p.714-719, 1989b.

SCHIPPERS, P. A. The rate of respiration of potato tubers during storage. **Potato Research**, Wageningen, v.20, n.2, p.173-188, 1977.

SCHWARZ, S. F. Melhoramento genético e variedades. In: KOLLER, O.C. (Coord.) **Citricultura: 1. Laranja: Tecnologia de produção, Pós-colheita, Industrialização e Comercialização**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2006. p.41-53.

SCHWARZ, S. F. Melhoramento genético e variedades. In: KOLLER, O.C. (Coord.) **Citricultura: Citricultura cultura de tangerineiras: Tecnologia de Produção, Pós-colheita e Industrialização**. Porto Alegre: Rigel, 2009. p. 35-48.

SCHWARZ, S. F.; BRUGNARA, E.C. Classificação botânica, morfologia e fisiologia. In: KOLLER, O. C. (Coord.) **Citricultura: Citricultura cultura de tangerineiras: Tecnologia de Produção, Pós-colheita e Industrialização**. Porto Alegre: Rigel, 2009. p.25-33.

SHAROM, M.; WILLEMOT, C.; THOMPSON, J. E. Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit. **Plant Physiology**, Rockville, v.105, n.1, p. 305 - 308, 1994.

SHEWFELT, R. L.; PURVIS, A.C. Toward a comprehensive model for lipid peroxidation in plant tissue disorders. **HortScience**, Alexandria, v.30, n.2, p.213–218, 1995.

SILVA, J. L. O.; CALBO, A. G. An apparatus to study compression stress in fruits and vegetables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.5, p.737-742, 1992.

SILVA, J. L. O.; CALBO, A. G.; MARTON, L. Efeito de danos mecânicos de impacto na colheita sobre a respiração da batata. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.11, n.1, p.106,1993a.

SILVA, J. L. O.; CALBO, A. G.; MARTON, L. Susceptibilidade de cultivares de batata ao escurecimento por impacto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.11, n.1, p.99, 1993b.

SILVA, P. T. da; LOPES, M. L. M.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Efeito de diferentes processamentos sobre o teor de ácido ascórbico em suco de laranja utilizado na elaboração de bolo, pudim e geléia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.3, p.678-682, 2006.

SIMON, E. W. Phospholipids and plant membrane permeability. **New Phytologist**, Cambridge, v.73, n.3, p.377-420, 1974.

SMITH, R. B. et al. The starch iodine test for determining stage of maturation in apples. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.59, n.3, p.725-735, 1979.

STEFFENS, C. A. et al. Respiração, produção de etileno e qualidade de maçãs “Gala” em função do dano mecânico por impacto e da aplicação de 1-metilciclopropeno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p.1864-1870, 2008.

STEVENSON, D. G.; DOMOTO, P. A.; JANEET, J. I. Structures and functional properties of apple (*Malus domestica* Borkh) fruit starch. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v.63, n.3, p.432-441, 2006.

TAHIR, A. Reducing post harvest losses of citrus fruits in Pakistan through effective marketing practices: An overview. **International Journal of Biology and Biotechnology**, Karachi, v. 2, n.4, p. 801-805, 2005.

THOMSON, G. E.; COTTER, D. F.; DALY, P. A. Temperature effects on bruise darkness of Granny Smith, Golden delicious and Jonathan apples. **New Zealand Journal Crop Horticultural Science**, Wellington, v.24, n.1, p.99-101, 1996.

WARRINGTON, I. J. et al. Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.5, p.468-477, 1999.

WILKCOCKSON, S. J. et al. Effects of maturity on susceptibility to damage. **Annals of applied biology**, Warwick, v.96, p.349-353, 1980.

WILLS, R. H.; McGLASSON, W. B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Postharvest: an introduction to physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. Sidney: University of NSW Press, 1998. 262p.

YOKOTAMI, N. et al. Comparison of ethylene and wound-induced responses in fruit of wild-type, rin and nor tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.32, n.3, p.247-252, 2004.

ZAPP, H. R. et al. Advanced Instrumented Sphere (IS) for impact measurements. **ASAE paper**, St. Joseph, v.33, n.3, p.955-960, 1990.

ZHOUA, R. et al. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.46, n.1, p.20-28, 2007.