

Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças

Marcos David Ferreira
Editor Técnico



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Embrapa Hortaliças

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Agrícola

Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças

Editor Técnico

Marcos David Ferreira

Embrapa Instrumentação Agropecuária

São Carlos, SP

2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 2107 2800 - Fax: (16) 2107 2902
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Embrapa Hortaliças

Rodovia Brasília/Anápolis BR 060, Km 09
Caixa Postal 218 - CEP 70359-970 - Gama-DF
Fone: (61) 3385 9000 - Fax: (61) 3556 5744
www.cnph.embrapa.br
E-mail: sac@cnph.embrapa.br

UNICAMP - FEAGRI

Cidade Universitária "Zeferino Vaz"
CEP 13083-970 - Barão Geraldo - Campinas-SP
Fone: (19) 3521 2900

Comitê de Publicações da Embrapa Instrumentação Agropecuária

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Capa: Alex Paixão
Foto da capa: Marcos David Ferreira
Editoração eletrônica: arte.com

1ª edição
1ª impressão (2008): tiragem 500

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).
CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Instrumentação Agropecuária

C695 Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças. / Marcos David Ferreira editor. – São Carlos:
Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008.
144 p.

ISBN: 978-85-86463-17-4

1. Pós-Colheita. 2. Frutas – Beneficiamento e classificação. 3. Hortaliças – Beneficiamento e
classificação. 4. Frutas – Manuseio. 5. Hortaliças – Manuseio. 6. Frutas – Colheita. 7.
Hortaliças – Colheita. I. Ferreira, Marcos David.

CDD 21 ED 631.55
631.56

©Embrapa 2008

Autores

Adonai Gimenez Calbo, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: adonai@cnpdia.embrapa.br

Ana Maria de Magalhães, M. Sc.
Campinas, SP
E-mail: am_magalhaes@yahoo.com.br

Celso de Oliveira Braga, M. Sc.
Doutorando, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: celso@unisal.com.br

Celso Luiz Moretti, Dr.
Pesquisador, Embrapa Hortaliças
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
Brasília, DF
E-mail: moretti@cnph.embrapa.br

Giuseppina Pace Pereira Lima, Dra.
Professora, Instituto de Biociências
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP
Botucatu, SP
E-mail: gpplima@ibb.unesp.br

Ivan Augusto Vall Ribeiro, M. Sc.
Doutorando, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: tibuja@uol.com.br

Leonora Mansur Mattos, Dra.
Pesquisadora, Embrapa Hortaliças
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
Brasília, DF
E-mail: leonora@cnph.embrapa.br

Márcia Eiko Atarassi
Mestranda, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: atarassi@yahoo.com.br

Marco Antonio Martins, M. Sc.
Campinas, SP
Metso Brasil Indústria e Comércio Ltda.
E-mail: marco.martins@metso.com

Marcos David Ferreira, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
Professor Colaborador Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: marcosferreira@cnpdia.embrapa.br

Marilene De Mori Morselli Ribeiro
Química, Tanquímica Indústria e Comércio Ltda
São Paulo, SP
E-mail : marilene@tanquimica.com.br

Mauro José Andrade Tereso, Dr.
Professor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: mauro@agr.unicamp.br

Odílio Benedito Garrido de Assis, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: odilio@cnpdia.embrapa.br

Oscar Antonio Braunbeck, Dr.
Professor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: oscar@agr.unicamp.br

Paulo Roberto Ferrari, M. Sc.
Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo, CEAGESP,
São Paulo, SP
E-mail: pferrari@ceagesp.gov.br

Paulo Sérgio Graziano Magalhães, Dr.
Professor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: graziano@agr.unicamp.br

Roberto Funes Abrahão, Dr.
Professor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Campinas, SP
E-mail: roberto@agr.unicamp.br

Apresentação

Embora seja um dos grandes produtores de frutas e hortaliças do mundo, o segundo em frutas, o Brasil ainda deixa muito a desejar quando se fala em qualidade do produto, tanto para o mercado interno quanto para o externo. Enfrentando problemas que vão desde a fitossanidade, com aplicação de altas taxas de agrotóxicos, até a logística de pós-colheita, o país pode se beneficiar dessa posição produtiva, se conseguir criar o seu paralelo na atividade econômica de exportação. É um cenário de desafios, sem dúvida, dada a concorrência internacional acirrada, em que os competidores lançam mão, muitas vezes, de estratégias não tarifárias para proteger seus mercados. Este livro mostra o esforço de cientistas e instituições de boa vontade, na direção de somar suas competências para que esse setor produtivo emergja de sua posição atual e alcance o destaque que seus produtores merecem, para atingirem patamares de excelência que lhes assegurem renda, posição social digna, qualidade de vida e atividade econômica sustentável.

Estiveram nesse empenho pesquisadores da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/Unicamp, da Embrapa Hortaliças e da Embrapa Instrumentação Agropecuária, apoiados financeiramente pelo Banco Mundial, por meio do Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil - PRODETAB e ambas as instituições de pesquisa citadas. O livro tem como objetivo principal a qualidade do produto e, como público alvo, técnicos e produtores, procurando levar-lhes conhecimento e tecnologias que passam pelas diversas etapas, desde a colheita até a embalagem. Entre outros aspectos, são tratados aqui o manuseio dos produtos, com o devido cuidado para evitar injúrias mecânicas, a seleção nas linhas de beneficiamento, a escolha da melhor metodologia de trabalho e de equipamentos e a redução do estresse pós-colheita, visando, além da qualidade, a redução das perdas, hoje em torno de 30 a 40%.

Temos certeza de que esta obra será um novo aliado do produtor desse importante setor do agronegócio.

Dr. Álvaro Macedo da Silva
Chefe Geral Embrapa Instrumentação Agropecuária



Prefácio

O Brasil destaca-se como um dos principais produtores de frutas e hortaliças, todavia os seus índices de exportação são baixos, se comparados aos de outros países. Aliam-se a esta situação as altas perdas pós-colheita diagnosticadas neste setor. A qualidade da fruta e/ou hortaliça inicia-se no campo e deve manter os seus atributos originais até ser consumida. As etapas até chegar ao consumidor são muitas. Somam-se a isto produtos com diferentes características e sensibilidades ao manuseio. O objetivo desta publicação é transmitir, em uma linguagem acessível, conhecimento e tecnologia relacionados à atividade de colher, beneficiar, classificar e embalar esses produtos, para técnicos, estudantes e produtores. Enfoque especial foi dado para o uso de equipamentos, máquinas e aplicação de metodologias, que possam simplificar, otimizar e melhorar a eficiência no sistema, com ganhos em todos os elos da cadeia.

Para a publicação deste livro, utilizaram-se recursos financeiros do Banco Mundial e administrado pela Embrapa provenientes do Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil - PRODETAB nº 055-02/01 “Proposta para Melhoria da Qualidade e Diminuição das Perdas Pós-Colheita em Tomate de Mesa”, coordenado pelo Prof. Luís Augusto Barbosa Cortez, da Faculdade de Engenharia Agrícola, Feagri, da Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. Parte considerável das informações aqui geradas foi possível devido a este projeto, assim como ao projeto Unidade Móvel de Auxílio à Colheita para Tomate de Mesa - UNIMAC, 02-00645-7, financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP.

Este livro tornou-se viável devido ao esforço conjunto de duas unidades da Embrapa, Instrumentação Agropecuária e Hortaliças, em parceria com a Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. Agradecimentos especiais ao chefe geral, Dr. Álvaro Macedo da Silva, e à Chefia de P&D, Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz e Dr. Luiz Henrique C. Mattoso, da Embrapa Instrumentação Agropecuária pelo apoio a esta obra, assim como aos demais pesquisadores e funcionários desta unidade que colaboraram para a sua edição. Ao Dr. Celso Luiz Moretti, Embrapa Hortaliças, pelo suporte e sugestões. Ao Dr. Adonai Gimenez Calbo, pela paciente revisão dos capítulos relacionados à tecnologia pós-colheita. Agradecimentos à diretoria da Faculdade de Engenharia Agrícola, Dr. Denis Miguel Roston e Dr. Antonio Ludovico Beraldo, pelo suporte, bem como aos professores, funcionários e alunos que colaboraram para esta publicação.

O capítulo 1 versa sobre colheita, abordando diversos aspectos e alternativas a serem utilizadas, indicando metodologia para a avaliação da eficiência do sistema. No capítulo 2, o professor Oscar Braunbeck, da Faculdade de Engenharia Agrícola, baseado na sua vasta experiência como projetista de máquinas, descreveu com propriedade os princípios e as características voltados ao desenvolvimento de um projeto para uma unidade móvel de auxílio à colheita para frutas e hortaliças. No capítulo 3, apresentam-se aspectos gerais do beneficiamento de frutas e hortaliças apontando as principais etapas desse sistema. No capítulo 4, descreve-se a metodologia para avaliação da eficácia da limpeza, visando principalmente à obtenção de critérios para melhor utilização do recurso água, cada dia mais escasso. No capítulo 5, tem-se a descrição de vários equipamentos para a classificação de produtos. Na elaboração do capítulo 6, participaram cinco autores, visando uma maior abrangência do assunto aplicação de ceras. Especial destaque ao Dr. Odílio Assis, Embrapa Instrumentação Agropecuária, que muito contribuiu para a estruturação deste capítulo. Esta tecnologia pode ter uma maior aplicação, com grandes benefícios para a diminuição das perdas pós-colheita. O capítulo 7 descreve aspectos ergonômicos e de segurança em unidades de beneficiamento, com a indicação de métodos a serem utilizados em avaliações. Este é um importante aspecto, com pouca literatura sobre o assunto. No capítulo 8, aborda-se o assunto referente a boas práticas agrícolas na pós-colheita de hortaliças, item hoje fundamental no agronegócio. Similarmente, os princípios descritos também podem ser aplicáveis a frutas. Os dois últimos capítulos tratam de danos mecânicos em frutas e hortaliças. O capítulo 9 versa sobre métodos de avaliação, e o capítulo 10, sobre aspectos fisiológicos das frutas e hortaliças quando submetidas ao dano mecânico. Para tanto, tivemos a grande contribuição do Dr. Adonai Calbo, Embrapa Instrumentação Agropecuária, especialista neste assunto.

Pretende-se, com este livro, colaborar com a melhoria do atual sistema existente e, assim, contribuir com a nobre tarefa de levar frutas e hortaliças com qualidade à mesa do consumidor.

Dr. Marcos David Ferreira
Editor Técnico



Sumário

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 1 - Colheita | 13 |
| 1. Introdução | 15 |
| 1.1 Colheita manual | 15 |
| 1.2 Equipamentos de auxílio | 17 |
| 1.3 Mecanizada | 18 |
| 2. Avaliando a colheita de frutas e hortaliças | 18 |
| 2.1 Colheita manual | 18 |
| 2.2 Equipamentos de auxílio à colheita | 18 |
| 2.3 Colheita mecânica | 20 |
| Referências | 21 |
| | |
| Capítulo 2 - Unidades móveis de colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças | 23 |
| 1. Introdução | 25 |
| 1.1. Plantas de beneficiamento estacionárias | 25 |
| 1.2. Plantas de beneficiamento móvel | 25 |
| • Colheita | 25 |
| • Transporte ou elevação | 25 |
| • Separação | 26 |
| • Limpeza e tratamento de superfície | 26 |
| • Classificação | 26 |
| • Posicionamento | 26 |
| • Embalagem e pesagem | 26 |
| 1.3 Exemplo de planta de colheita e beneficiamento móvel | 26 |
| 1.4 Adequação do equipamento às condições de campo | 27 |
| 2. Riscos no desenvolvimento da tecnologia | 29 |
| • Capacidade efetiva de colheita (C_{ef}) | 29 |
| • Custo de combustível (C_{Comb}) | 30 |
| • Custo da mão-de-obra (C_{MO}) | 30 |
| • Custo de reparos e manutenção (C_{RM}) | 31 |
| • Depreciação (D) | 31 |
| • Taxa de garagem e seguro | 32 |
| • Lubrificantes | 32 |
| • Impacto ambiental do projeto | 32 |
| 3. Mecanização em terrenos declivosos | 32 |
| 4. Controle de tráfego (Pórtico autopropelido) | 38 |
| 5. Capacidade da rampa | 39 |
| • Resistência à penetração do solo [Índice de Cone - C] | 39 |
| • Número da mobilidade | 39 |
| • Resistência ao rolamento | 40 |

| | |
|---|-----------|
| • Capacidade de tração máxima | 40 |
| • Capacidade de tração em função do patinamento | 40 |
| • Eficiência de tração | 41 |
| 6. Transmissão de potência | 41 |
| • Mudança de velocidade e torque | 41 |
| • Transmissões hidráulicas | 42 |
| • Transmissões elétricas | 43 |
| • Movimentação do veículo - Capacidade de rampa | 44 |
| Agradecimento | 45 |
| Referências | 45 |
| Capítulo 3 - Beneficiamento de frutas e hortaliças | 47 |
| 1. Introdução | 49 |
| 2. Onde beneficiar e classificar? Campo X Unidades de beneficiamento | 49 |
| 3. Unidades de beneficiamento e classificação - Etapas | 50 |
| 3.1 Recebimento | 50 |
| 3.1.1 Pontos de transferência | 52 |
| 3.2 Seleção | 53 |
| 3.3 Limpeza | 54 |
| 3.3.1 Água | 54 |
| 3.3.2 Escovas | 55 |
| 3.3.3 Rotação de escovas | 56 |
| 3.3.4 Tempo de escovação | 56 |
| 3.4 Aplicação de ceras | 56 |
| 3.5 Classificação | 56 |
| 3.6 Embalagens | 57 |
| 3.7 Resfriamento | 57 |
| 3.8 Carregamento | 57 |
| 3.9 Transporte | 58 |
| 3.10 Consumidor | 58 |
| 4. Unidades de beneficiamento e classificação - “Fluxo de funcionamento” | 58 |
| Referências | 59 |
| Capítulo 4 - Avaliação da etapa de limpeza em sistemas de beneficiamento e classificação | 61 |
| 1. Introdução | 63 |
| 2. Métodos utilizados para avaliar limpeza | 63 |
| 2.1 Análise com o colorímetro | 63 |
| 2.2 Análise com o turbidímetro | 64 |
| 2.3 Comparação entre os métodos de avaliação | 65 |
| Agradecimento | 66 |
| Referências | 66 |

| | |
|--|------------|
| Capítulo 5 - Classificação de frutas e hortaliças | 67 |
| 1. Introdução | 69 |
| 2. Sistema mecânico | 69 |
| 2.1 Correia de lona furada | 69 |
| 2.2 Rolete longitudinal | 70 |
| 2.3 Rolete transversal | 70 |
| 2.4 Taça ou bandeja | 71 |
| 2.5 Esteira de grades | 71 |
| 3. Sistema eletrônico | 72 |
| Referências | 73 |
| | |
| Capítulo 6 - Aplicação de ceras em frutas e hortaliças | 75 |
| 1. Introdução | 77 |
| 2. Por que aplicar cera? | 77 |
| 3. Filmes e coberturas | 77 |
| 4. Tipos de coberturas | 78 |
| 5. Aditivos | 80 |
| 6. Cera de carnaúba | 80 |
| 7. Ação do revestimento | 80 |
| 8. Métodos e aplicação | 81 |
| 9. Resultados de aplicação de ceras em frutas e hortaliças | 82 |
| 10. Legislação | 83 |
| Referências | 83 |
| | |
| Capítulo 7 - Aspectos ergonômicos e de segurança laboral em unidades de beneficiamento de frutas e hortaliças | 87 |
| 1. Introdução | 89 |
| 2. Movimentação manual de cargas em unidades de beneficiamento | 90 |
| 3. Os postos de trabalho de seleção de produtos | 94 |
| 4. Fatores de risco laboral em unidades de beneficiamento de frutas e hortaliças | 96 |
| Referências | 98 |
| Apêndice | 100 |
| | |
| Capítulo 8 - Boas práticas agrícolas na pós-colheita de hortaliças | 107 |
| 1. Introdução | 109 |
| 2. Principais etapas e perigos associados ao manuseio pós-colheita de hortaliças | 109 |
| 2.1 Colheita e transporte do produto colhido para o galpão de beneficiamento | 110 |
| 2.2 Recepção e lavagem das hortaliças | 110 |
| 2.3 Seleção e classificação | 110 |
| 2.4 Resfriamento rápido | 111 |

| | |
|---|-----|
| 2.5 Embalagens | 111 |
| 2.6 Armazenamento refrigerado | 111 |
| 3. Limpeza e sanificação de equipamentos e superfícies | 111 |
| 4. Prevenção de contaminação cruzada | 112 |
| 5. Saúde e higiene dos trabalhadores e instalações sanitárias | 112 |
| 6. Rastreabilidade | 113 |
| Literatura consultada | 114 |

Capítulo 9 - Avaliação para a incidência de danos mecânicos em frutas e hortaliças 117

| | |
|---|-----|
| 1. Introdução | 119 |
| 2. Mensuração da magnitude de impacto na pós-colheita | 119 |
| 2.1 Forças envolvidas nas operações de embalagem e transporte | 119 |
| 2.2 “Fruto falso” ou “laranja mecânica” | 120 |
| 3. Testes em laboratório | 122 |
| 4. Incidência de danos mecânicos | 122 |
| 4.1 Danos internos | 123 |
| 4.1.1 Medidas destrutivas | 123 |
| 4.1.2 Medições não destrutivas | 123 |
| • Imagem | 123 |
| • Taxa respiratória | 123 |
| 4.2 Danos externos | 124 |
| • Escala de notas | 124 |
| • Mensuração da área externa com o uso do planímetro | 124 |
| 5. Fatores que influenciam a incidência de danos mecânicos | 125 |
| Referências | 125 |

Capítulo 10 - Fisiologia dos danos mecânicos em frutas e hortaliças 129

| | |
|---|-----|
| 1. Introdução | 131 |
| 2. Deformações elásticas e plásticas | 131 |
| 3. Os sistemas supracelulares que compõem os órgãos vegetais | 132 |
| 4. Forças internas que estabilizam os órgãos vegetais | 133 |
| 4.1. Razão de compressão (a), um parâmetro importante em pós-colheita | 134 |
| 4.2. Pressão de agregação celular | 134 |
| 4.3 Cisalhamento celular | 135 |
| 5. Compressões, pilhas e embalagens | 135 |
| 6. Choques e impactos em pós-colheita | 136 |
| 7. Fisiologia de órgãos sujeitos a estresses mecânicos | 138 |
| 8. Métodos de avaliação de resistência mecânica | 139 |
| 9. Estresses mecânicos e a definição da altura de pilhas e embalagens | 141 |
| Referências | 142 |

Capítulo 1

Colheita

Marcos David Ferreira
Paulo Sérgio Graziano Magalhães



1. Introdução

A colheita de frutas e hortaliças é um desafio e pode ser complexa, dependendo da espécie, maturidade do produto e período de colheita. Em linhas gerais, considera-se a colheita como sendo única ou múltipla. A colheita única é mais aplicada para hortaliças, por exemplo: cenoura, batata, repolho e também alface, produtos que só uma colheita retira totalmente do campo. Por sua vez, a colheita múltipla aplica-se normalmente às frutas, mas também a algumas hortaliças, como tomate de mesa e morango. Tanto para a colheita única como para a múltipla, a chance de ocorrer perdas devido a danos físicos é grande, porém, em geral, nesta os frutos ficam mais sujeitos a exposição e manuseio. Na colheita múltipla, a incidência de danos físicos pode variar durante a colheita, entre cultivares, colhedores e pontos de colheita. A colheita pode ser dividida em três tipos, considerando-se a sensibilidade do produto particular ao manuseio e mercado de destino: (1) Manual; (2) Por meio de equipamentos de auxílio; (3) Mecanizada.

1.1 Colheita manual

A colheita manual baseia-se na sensibilidade do colhedor principalmente em termos de visão e tato. Possui vantagens e desvantagens. Apresenta como vantagens: a possibilidade de o ser humano bem treinado utilizar bem os sentidos (visão, tato, olfato), com melhor sucesso da tarefa; a de colhedores mais cuidadosos, em campo ocasionar menos injúrias aos produtos; a de a seleção e empacotamento serem realizados no campo, portanto com menor número de etapas. As desvantagens são: o alto custo da mão-de-obra em algumas regiões, muitas vezes destreinada e desqualificada para tal operação, o que pode ocasionar problemas diversos; o possível desafio, para diversas regiões, da sazonalidade relacionada a oferta de mão-de-obra (Fig. 1 e 2). Para algumas culturas, ocorre mais comumente a colheita manual do que em outras, como a do morango destinado ao consumo fresco, cuja colheita e classificação são concomitantes (Fig. 3, 4 e 5). A principal razão apontada para a realização da colheita manual em morangos é a sensibilidade dos frutos a danos físicos. Morangos destinados à indústria são normalmente colhidos por meio de máquinas, devido ao menor custo e rapidez no processamento. Equipamentos diversos podem auxiliar na colheita manual, por exemplo, carrioas (Fig. 6) e sacolas de colheita (Fig. 7). A colheita pode ser manual ou realizada por meio de equipamentos dependendo do país. No Brasil, a colheita das folhosas (alface, repolho, etc) é realizada manualmente pelo fato de o cultivo dessas culturas ocorrerem em pequenas propriedades, com uso intensivo de mão-de-obra. Nos Estados Unidos, a colheita de alface ocorre predominantemente com o uso de plataformas móveis de auxílio à colheita.



Fig. 1 e 2: Colheita manual em tomate de mesa utilizando-se cestas e caixas plásticas.
(Fotos: Marcos David Ferreira)

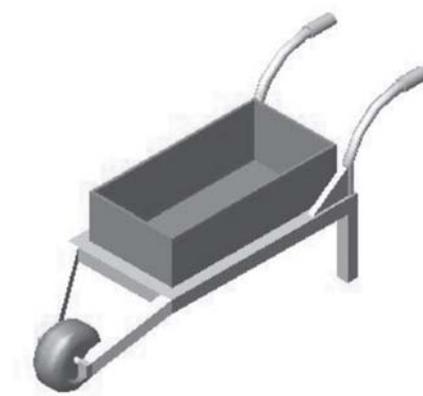


Fig. 3, 4, 5 e 6: Colheita de morango no campo, com detalhamento da carriola e classificação do produto.
(Fotos: Marcos David Ferreira)



Fig. 7: Colheita utilizando sacola.
(Foto: Marcos David Ferreira)

1.2 Equipamentos de auxílio

A colheita auxiliada é aquela em que se utilizam equipamentos para fornecer melhores condições de trabalho, maior rapidez no processo e melhor conservação do produto. Equipamentos de auxílio à colheita podem aumentar a produtividade e/ou reduzir custos, em especial quando utilizados em conjunto com maquinário ou operações de embalagem. O uso de equipamentos de auxílio à colheita é comum em alguns países como Estados Unidos, Canadá, Itália, Espanha, Austrália e Israel. No Brasil, existem alguns tipos de equipamentos disponíveis, porém o conceito não está tão bem difundido quanto nos países mencionados acima. Esses equipamentos têm como objetivo reduzir o esforço e energia necessários para realizar cada operação e diminuir as possíveis injúrias aos colhedores (SARIG, 1993). Equipamentos de auxílio podem ser desde simples lâminas, como as utilizadas para levantamento de tubérculos e cenouras, até complexas plataformas móveis (Fig. 8). Essas unidades podem ser utilizadas somente para colher, ou realizar todo o processo: colheita, classificação e embalagem. No Brasil, a utilização de plataformas móveis é recente: no ano de 2007, foi finalizado projeto da construção da Unidade Móvel de Auxílio à Colheita para tomate de mesa (UNIMAC), que realiza a colheita, beneficiamento, classificação e embalagem do produto em campo (Fig. 9).



Fig. 8: Colheita auxiliada de alface nos Estados Unidos
(Foto: Marcos David Ferreira)



Fig. 9: Unidade Móvel de Auxílio à Colheita (UNIMAC) para tomate de mesa.
(Foto: Augusto Cesar Sanchez)

1.3 Mecanizada

A colheita totalmente mecanizada caracteriza-se pelo baixo uso de mão-de-obra, situação em que a máquina desenvolve todas as atividades relativas à colheita: corte e/ou retirada do produto da planta, limpeza e embalagem ou ensaque do produto. A utilização de máquinas para colheita possui a limitação de algumas culturas não se adaptarem a este tipo de colheita, devido principalmente à sensibilidade dos frutos e à não adequação da planta a essa finalidade. Todavia a utilização de máquinas pode proporcionar redução de custos e aumento no rendimento de colheita superior a dez vezes. Frutas e hortaliças são em geral produtos sensíveis ao manuseio, cuja aparência externa e ausência de defeitos são importantes atributos no momento da comercialização. Por tal razão, a colheita mecanizada de hortifrutícolas geralmente é utilizada para produtos destinados para processamento, como citros, tomate indústria e morango. Possui como potencialidades viabilizar colheita mais rápida, possibilitando melhores condições de trabalho, com redução nos custos com mão-de-obra e eventuais problemas com ela. Como dificuldades de desenvolvimento e uso, é importante mencionar: (1) a possibilidade maior de causar danos físicos a frutas e hortaliças no momento da colheita; (2) limitação quanto à capacidade de manipulação e processamento desses equipamentos, relacionada ao rendimento do equipamento e sensibilidade do produto; (3) possibilidade de que as inovações tecnológicas tornem o maquinário obsoleto antes da sua amortização. A colheita mecanizada tem como desafio realizar a colheita sem danificar permanentemente a planta, sendo rápida e econômica. Finalmente, é importante ressaltar que a substituição de mão-de-obra por maquinários pode gerar impactos sociais graves, com o desemprego de colhedores.

2. Avaliando a colheita de frutas e hortaliças

A avaliação da colheita de frutas e hortaliças é raramente realizada pelos produtores. Nessa tarefa, devem-se considerar fatores como a velocidade de deslocamento do operador, a cultivar e o custo da operação, de acordo com alguns indicativos e sugestões de procedimento de verificação de processo considerados a seguir.

2.1 Colheita manual

Na colheita manual, ocorrem variações na rapidez do processo e na qualidade do produto final em função da escolha de procedimentos e de outros fatores. Inúmeros relatos enfatizam a importância do colhedor na velocidade desta etapa e qualidade do produto. Para a formação de bons colhedores, treinamento e conscientização são fundamentais.

As variações na colheita podem ocorrer devido ao: (1) tipo de cultivar utilizada, por exemplo, cultivares mais enfolhadas de tomate dificultam a colheita; (2) período de colheita, muitas frutas e hortaliças são submetidas a colheitas múltiplas durante um período em que ocorrem alterações na qualidade do produto relacionadas ao clima e ao desenvolvimento, nutrição e senescência da planta; (3) acessórios de colheita como sacolas, cestos e embalagens determinam o rendimento da colheita. Transposição de produtos de uma embalagem para outra, como normalmente ocorre com o tomate de mesa e algumas frutas, ocorrência em que o produto é colhido em cestas de bambu e transferido para caixas plásticas, além de aumentar o tempo de realização da colheita, inflige danos físicos (FERREIRA et al., 2004; FERREIRA et al., 2005a, FERREIRA et al., 2005b; FERREIRA et al., 2006).

2.2 Equipamentos de auxílio à colheita

Sanchez et al. (2006) descrevem fórmulas para velocidade média, aproveitamento e produtividade dos colhedores para a avaliação de rendimento de equipamento de auxílio à colheita, ou para colheita manual de frutas e hortaliças.

(a) Velocidade média

A velocidade média do trajeto deve ser determinada por meio do tempo gasto pelo(s) colhedor(es) para percorrer uma distância de colheita.

(b) Aproveitamento percentual

Pela relação entre o número de frutos colhidos e o número de frutos deixados de colher na primeira passagem, é possível determinar o aproveitamento percentual de acordo com a eq.(1).

$$AP = \frac{Fc}{(Fc+Fnc)} 100 \quad (1)$$

em que,

AP - aproveitamento percentual, %;

Fc - número de frutos colhidos, e

Fnc - número de frutos deixados de colher.

(c) Produtividade horária

Por meio da massa de cada caixa plástica contendo os frutos colhidos, do tempo gasto na colheita e do número de colhedores em cada linha, é possível estimar a produtividade horária de cada ensaio e a produtividade horária de cada colhedor, de acordo com as eqs.(2) e (3).

$$Ph = \frac{Mfc}{t'} \quad (2)$$

$$Pc = \frac{Ph}{Nc} \quad (3)$$

em que,

Ph - produtividade horária de cada ensaio, kg h⁻¹;

Mfc - massa de cada caixa com os frutos colhidos, kg;

t' - tempo gasto na colheita, h;

Pc - produtividade horária de cada colhedor, kg h⁻¹, e

Nc - número de colhedores.

O número de frutos por plantas é determinado por meio da eq.(4).

$$Fp = \left(\frac{Fc + Fnc}{Npt - Pf} \right) \quad (4)$$

em que,

Fp - frutos por planta;

Fc - frutos colhidos;

Fnc - frutos deixados de colher;

Npt - número de plantas teoricamente existentes, e

Pf - plantas faltantes, mortas ou doentes.

Os resultados obtidos para a velocidade média do trajeto, aproveitamento percentual e produtividade horária por colhedor podem ser diferenciados por faixas de colheita de acordo com a época de avaliação, cultivar utilizado e talhão. Esta mesma metodologia pode também ser utilizada para avaliação da colheita manual.

2.3 Colheita mecânica

A colheita requer cuidados especiais e muita atenção, pois deve ter custos competitivos, uma vez que, para alguns produtos, o custo de colheita carregamento e transporte ao centro de beneficiamento pode chegar a 50% do custo total de produção. Desta forma, quando tratamos de sistemas mecanizados ou semimecanizados de colheita, é essencial que se saiba quais são os fatores principais para se analisar o desempenho desses equipamentos.

Em sistemas de colheita, o primeiro fator a ser avaliado é o custo econômico, pois na maioria das culturas o processo de colheita passa por uma série de atividades e envolve um conjunto de equipamentos (colhedoras, veículos de transbordo, caminhões, máquinas para carregamento) e mão-de-obra, que em alguns casos podem ser de difícil gerenciamento e requerem adequado planejamento e, muitas vezes, o conhecimento de técnicas de logística. Silva (2004) desenvolveu um programa de logística e simulação de colheita que possibilitou a identificação dos parâmetros de maior contribuição para a formação do custo final da tonelada colhida e o entendimento das estruturas de custo e do desempenho operacional da maquinaria. O autor demonstrou que a parcela fixa dos custos possui maior participação na formação do custo final da tonelada colhida do que a parcela variável, e que o fator de maior contribuição ao aporte de capital é o valor com o qual as colhedoras são adquiridas no mercado. A capacidade de colheita da frota de colhedoras, por outro lado, é o parâmetro no qual residem os maiores potenciais de redução de custo. Esses resultados são referendados por Oliveira et al. (2007) e demonstram, na avaliação da composição do custo de colheita de café, que um dos principais fatores são os gastos com depreciação e amortização de juros.

Dentro do custo econômico, estão embutidos a performance das colhedoras e demais equipamentos utilizados. Uma das grandes dificuldades encontradas nos estudos de desempenho operacional de máquinas e implementos agrícolas é a falta de normas para a realização dos trabalhos em campo. Mialhe (1996) ressalta, em seu livro sobre ensaio de máquinas e implementos agrícolas, que os fatores de campo que intervêm no desempenho da colhedora não podem ser preestabelecidos, mas constatados por meio de caracterização das variáveis. Desta forma, como não se podem estabelecer em campo todas as condições ideais para a realização de ensaios, garantindo a repetibilidade, é necessário que se registrem precisamente, durante o ensaio, todas as variáveis que interferem nos mecanismos do equipamento para que, em posterior análise de desempenho da colhedora, possam ser considerados ou ao menos mencionados. Na avaliação de desempenho, fatores como largura de colheita, número de linhas e velocidade de deslocamento das máquinas, evidentemente, são variáveis essenciais para compor o rendimento operacional em horas por hectare. A capacidade de colheita em toneladas por hora é outra importante forma de avaliar a atuação de uma colhedora. Nos ensaios de desempenho de colhedoras, a área deve ser caracterizada em termos de topografia, altitude, tipo de solo e de área que está sendo colhida, variedade, idade, altura das plantas, espaçamento ou densidade, pois esses fatores afetam o resultado, e sua omissão dificulta a comparação posterior com outras máquinas. Devem-se também incluir na avaliação o consumo de combustível, expresso em litros por hora de operação, ou ainda em litros por tonelada colhida ou litros por hectare, e a caracterização do posto de operação em termos ergonômicos, da qual dependem a qualidade do serviço e o bem-estar dos trabalhadores, com garantia de segurança e redução de fadiga excessiva dos operadores.

Como não existe metodologia normalizada para ensaio desse tipo de equipamentos, se tais fatores não forem observados e registrados com critério, uma mesma máquina pode apresentar diferentes resultados de desempenho operacional, dependendo de quem a avalia.

Além dessas variáveis, o número de pessoas envolvidas na operação, a necessidade de sincronismo entre as operações de colheita e transporte da carga, a capacidade da colhedora de se deslocar em condições adversas de terreno (topografia) além de realizar colheita noturna ou sob chuva, a frequência das paradas para manutenção e facilidade de acesso as peças de reposição são outros fatores que devem fazer parte da avaliação do conjunto.

No caso de colheita de frutos como citros, café, maçã, deve ser considerado nesta avaliação, o número de passadas ou colheitas que se pretende realizar, pois esse fator tende a encarecer sobremaneira o custo total.

Na avaliação de desempenho de colhedoras, a utilização dos conceitos de qualidade da operação é essencial, pois dela dependem a tomada de decisão e, conseqüentemente, o retorno financeiro.

Danos físicos ao produto colhido, perda de qualidade ou redução de sua vida útil, capacidade do sistema de colheita de distinguir frutos em diferentes estágios de maturação e de realizar colheita seletiva devem fazer parte da avaliação de desempenho. Neste caso, a comparação com a colheita totalmente manual é um bom indicativo da qualidade com que o equipamento realiza esta tarefa.

Quando se trata de qualidade da operação, refere-se também aos danos causados pelo sistema de colheita adotado, ou seja, as culturas perenes cuja capacidade de produção deve continuar inabalada nas safras subseqüentes. Como exemplo, pode-se destacar o sistema mecanizado de colheita de laranja, que remove o fruto do pé utilizando de sistema mecânico de vibração do tronco da laranjeira. Esse sistema, apesar de muito eficiente quanto à remoção do fruto e, inclusive, com capacidade de realizar colheita seletiva, é extremamente maléfico para a planta, pois, além de machucar o tronco, reduz a produção drasticamente nos anos subseqüentes, já que pode abalar o sistema radicular das plantas principalmente quando cultivadas em solos argilosos, além de outras conseqüências patológicas. No caso de colheita de café, os trabalhos realizados até o momento não apontam redução de sua produtividade quando executados com colhedoras, que por meio de vibração dos galhos, realizam a derriça dos frutos. Contudo, como destaca Silva et al. (2003), embora o sistema de colheita do café totalmente mecanizado seja técnica e economicamente viável, deve-se continuar a monitorar seus efeitos sobre o estado fisiológico das plantas.

Outro importante fator a ser considerado nesta avaliação é se o sistema de colheita também recolhe os frutos derriçados. No caso do café, por exemplo, sistemas de auxílio à colheita em que as peças derriçam o produto, necessitando de recolhimento do solo, seja ele manual ou mecanizado, causam perda de qualidade e, conseqüentemente, do valor do produto quando comercializado, pois misturam o produto recém-colhido com impurezas minerais e vegetais, que muitas vezes são de difícil separação posterior.

A avaliação da qualidade da colheita deve ainda incorporar as perdas decorrentes do processo. Perdas que podem ser divididas entre visíveis e invisíveis. Perdas visíveis são aquelas facilmente quantificadas no campo, como frutos danificados, não colhidos, ou que caíram no chão e não foram recolhidos. Já as perdas invisíveis são as que não são passíveis de serem mensuradas no campo, como danos na planta que possam prejudicar a próxima florada, derriça de frutos muito pequenos como “chumbinhos” na colheita de laranja, ou, ainda, contaminação do produto por pequenas fissuras que não são perceptíveis no momento da colheita, mas que interferem no valor do produto comercial.

A metodologia para a avaliação do desempenho das colhedoras de frutas e hortaliças depende muito da cultura, pois estas apresentam peculiaridades que tornam o teste específico. Vários trabalhos estão disponíveis na literatura especializada descrevendo a metodologia empregada nestas avaliações, como o apresentado por Gomes (2005), que apresenta proposta metodológica para a avaliação de colhedoras de batata; o de Ripoli et al. (1999) que descreve a metodologia empregada na avaliação de colhedoras de cana-de-açúcar; os de Silva et al. (2003) e de Souza et al. (2005), que descrevem, respectivamente, a metodologia para se avaliar colhedoras e derriçadoras de café.

Referências

FERREIRA, M. D.; FRANCO, A. T. O.; KASPER, R. F.; FERRAZ, A. C. O.; HONÓRIO, S. L.; TAVARES, M. Post-harvest quality of fresh market tomatoes as a function of harvest periods. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 62, n. 5, p. 446-451, 2005a.

FERREIRA, M. D.; FRANCO, A. T. O.; NOGUEIRA, M. F. M.; ALMEIDA, R. V. C.; TAVARES, M. Avaliação da etapa de colheita em tomates de mesa c.v. Débora. **Brazilian journal of food technology**, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 173-178, 2004.

FERREIRA, M. D.; FRANCO, A. T. O.; TAVARES, M. Técnicas de colheita para tomate de mesa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 4, p. 1018-1021, 2005b.

FERREIRA, M. D.; CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; TAVARES, M. Avaliação Física do Tomate de Mesa Romana durante Manuseio na Pós-Colheita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 1, p. 321-327, 2006.

GOMES, J. A. **Proposta metodológica para avaliação de colhedoras de batata (*Solanum tuberosum* L.) com base em parâmetros de qualidade**. 2005. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MIALHE L. G. (Org.). **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB/FEALQ, 1996.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; SOUZA, Z. M.; CHALFOUN, S. M.; FIGUEIREDO, A. A. P. Custo operacional da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 6, p. 827-831, 2007.

RIPOLI, T. C.; NERY, M. S.; De LEON, M. J., S.; PIEDADE, S. M. S. Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua em função da velocidade de avanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 199-207, 1999.

SANCHEZ, A. C.; FERREIRA, M. D.; MAGALHÃES, A. M.; BRAUNBECK, O. A.; CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. G. Influência do auxílio mecânico na colheita de tomates. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 3, p. 748-754, 2006.

SARIG, Y. Robotics of fruit harvesting: a state-of-the-art review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 54, p. 265-280, 1993. Disponível em: <<http://www.cis.org/articles/2000/back1200.html>>. Acesso em: 21 fev. 2005.

SILVA, S. S. S. **Logística aplicada à colheita mecanizada de cereais**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; RODRIGUES, R. F.; TOURINO, E. S. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 23, n. 2, P. 309-315, 2003.

SOUZA C. M. A., QUEIROZ D. M.; PINTO F. A. DE C., TEIXEIRA M. M. Desempenho de derriçadora portátil de frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 3, p. 791-800, 2005.



Capítulo 2

Unidades móveis de colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças



Oscar Antonio Braunbeck





1. Introdução

As perdas pós-colheita de frutas e hortaliças estão diretamente relacionadas ao manuseio, transporte e armazenamento inadequados do produto desde a colheita até a chegada ao consumidor final. O manuseio inadequado dos produtos agrícolas durante o processo de colheita e pós-colheita pode causar alterações mecânica, fisiológica ou patológica. Portanto, a manutenção da qualidade de frutas e hortaliças depende da tecnologia aplicada em toda esta cadeia. Sendo assim, torna-se cada vez mais evidente a necessidade do desenvolvimento de sistemas de beneficiamento que garantam a manutenção da qualidade do produto advinda do campo.

Com o intuito de minimizar tais perdas e prolongar a vida de prateleira, o beneficiamento dos produtos é realizado tanto no campo, como em unidades de beneficiamento de acordo com as características e necessidades do produto, garantindo a satisfação do consumidor final. No que se diz respeito à mobilidade, uma planta de beneficiamento pode ser estacionária ou móvel.

1.1 Plantas de beneficiamento estacionárias

Um produto que passa por uma planta de beneficiamento estacionária pode levar maior tempo no trajeto campo-prateleira, já que se torna necessário o transporte do produto do campo até a planta de beneficiamento. Esse transporte pode ainda gerar impactos mecânicos e expor o produto à radiação solar elevando sua taxa de respiração devido ao aumento da temperatura, trazendo prejuízos à qualidade do produto. Uma planta de beneficiamento móvel pode garantir maior autonomia ao produtor, já que passa a independe de um espaço de instalação, que muitas vezes é compartilhado com outros produtores.

1.2 Plantas de beneficiamento móvel

Uma planta de beneficiamento móvel deve possuir uma estrutura adequada agregada a um processo compacto. Deve, ainda, possuir mobilidade adequada na forma de capacidade de tração para superar obstáculos do terreno e uma fonte de potência própria (motor de combustão interna, por exemplo), juntamente com mecanismos de transmissão de potência (mecânica, hidráulica ou elétrica), estabilidade ao tombamento e direcional, assim como mecanismos de transferência de produto (esteiras, correntes, escovas).

As operações realizadas por uma planta de beneficiamento móvel ou estática devem obedecer a princípios físicos, técnica e economicamente viáveis.

As operações básicas de um sistema de colheita e beneficiamento são:

• Colheita

No caso de planta móvel, a operação de colheita pode ser realizada pelo próprio equipamento, através de processos mecanizados de corte, catação e transporte, ou ainda, pode ser realizada manualmente em casos freqüentes em que o risco de dano mecânico é elevado e a distribuição espacial aleatória dos frutos exige discernimento.

• Transporte ou elevação

O produto colhido deve ser movimentado desde o ponto de catação na plantação até as sucessivas estações do processo de beneficiamento e, finalmente, até a estação de empacotamento. Existem diversos princípios físicos de transporte, tais como pneumático, inercial, canecas, esteiras, correntes, rolos, ou vibratório. A escolha entre essas opções deve levar em consideração, em primeiro lugar, a agressividade dos mecanismos e os possíveis danos mecânicos sobre o produto; o peso do transportador torna-se um fator também relevante no caso de uma planta móvel, e paralelamente com esses fatores, deve ser analisada a viabilidade econômica da solução em estudo.

• Separação

Na fase inicial do beneficiamento, freqüentemente é realizado um processo de separação em que são retirados frutos com anomalias de diversas naturezas tais como formas muito irregulares, cor ou tamanho discrepantes, aderências ou irregularidades superficiais evidentes, ação de insetos e pragas ou, simplesmente, presença de corpos estranhos ao fruto em processo. O processo de separação na unidade de beneficiamento pode ser automático em função das propriedades físicas diferenciadas dos corpos a serem separados ou, mais facilmente, de forma manual em função do largo espectro de irregularidades que pode existir em determinados produtos.

• Limpeza e tratamento de superfície

Após a separação, o produto pode ser submetido a um processo de limpeza visando retirar impurezas de sua superfície além de melhorar seu aspecto. A etapa de limpeza em uma unidade de beneficiamento pode ser realizada por lavagem, com ou sem escovação, seguida de secagem, ou por vibração, dependendo da característica do produto em questão.

• Classificação

Depois do processo de separação, o produto, mesmo com perfil alimentar satisfatório, ainda pode apresentar variabilidade em suas propriedades que venha a prejudicar seu valor de mercado. Para conseguir uma maior uniformidade de propriedades, o produto pode ser classificado por peso, tamanho, forma e cor, por meio de balanças, peneiras, leitos pneumáticos ou recursos óticos com processamento digital da informação. No processo de classificação, a opção manual é menos adequada uma vez que todos os frutos em processo devem ser avaliados.

• Posicionamento

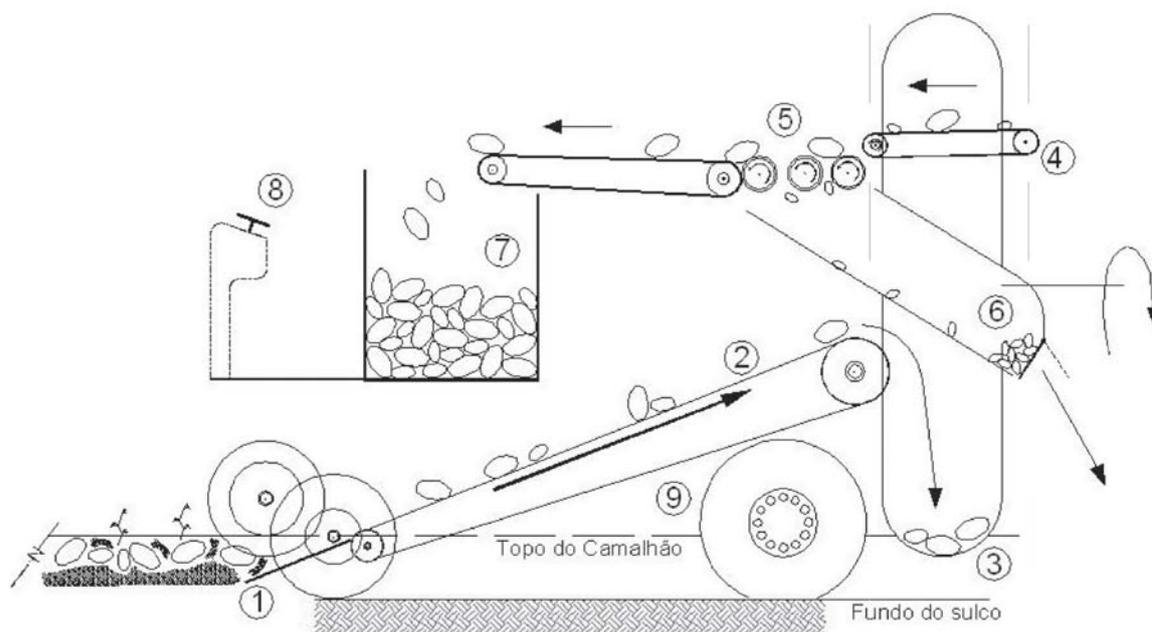
O fruto pode apresentar, de acordo com a configuração geométrica, planos ou eixos de simetria que ofereçam a possibilidade de um posicionamento específico na linha de beneficiamento, para efeitos de classificação dimensional, inspeção ou preparação para a fase de embalagem. Propriedades físicas do tipo dimensional ou distribuição de massa (localização do c.g. ou momento de inércia de massa) podem ser utilizadas para promover o posicionamento desejado lançando-se mão do comportamento estático ou dinâmico dos frutos através de dispositivos posicionadores propostos especificamente para esse fim.

• Embalagem e pesagem

O processo de beneficiamento finaliza-se normalmente com as operações de pesagem e embalagem realizadas com equipamentos mecânicos ou eletrônicos, operando em linha de forma automática ou semi-automática. As balanças instaladas em veículos em movimento envolvem uma fonte de erro adicional associada à massa do produto e às acelerações verticais resultantes do movimento do veículo sobre o terreno irregular e dos movimentos resultantes das vibrações naturais na sua estrutura e rodas. Esses erros de medição devem ser corrigidos, mesmo que parcialmente, pelos equipamentos de pesagem.

1.3 Exemplo de planta de colheita e beneficiamento móvel

Como exemplo de uma planta de colheita e beneficiamento móvel, cita-se a colhedora apresentada na Figura 1. O equipamento é operado por um condutor e dois ou três auxiliares, que separam torrões de terra, folhas e outros materiais estranhos. A colhedora possui capacidade estimada para colher até 2,8 ha/h de batata, 4 ha/h de batata doce, 2 ha/h de Inhame e 2,4 ha/h de cenoura. O produto circula pelo equipamento, onde é submetido a diversos processos: no primeiro deles, a lâmina escavadora (1) corta o solo abaixo do nível do produto, depois eleva-o e entrega-o à esteira de transporte e elevação.



- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Lâmina escavadora; | 6. Depósito de batatas pequenas |
| 2. Esteira de transporte e separação de solo; | 7. Depósito de produto colhido; |
| 3. Elevador giratório; | 8. Painel de comando; |
| 4. Transporte; | 9. Rodas motrizes |
| 5. Classificador; | |

Fig. 1: Fluxo do produto no interior da colhedora.

No segundo processo, o produto, misturado ainda com um volume elevado de solo, é submetido a acelerações sobre uma esteira transportadora (2), que permite a passagem do solo e não do produto; na seqüência um tambor rotativo de grande diâmetro (3) e uma esteira (4) conduzem o produto até a operação de classificação onde um conjunto de rolos (5) separa os frutos pequenos que são armazenados na moega (6); os frutos maiores são conduzidos até a caçamba (7) para posterior transferência para o veículo de transporte através de uma esteira de descarga lateral, não representada na figura.

1.4 Adequação do equipamento às condições de campo

No projeto de uma planta móvel, além das características do processo a que o produto é submetido, devem ser observadas as características da interação do equipamento com o terreno em que opera. Frequentemente, os equipamentos, tanto de arrasto quanto autopropelidos, impõem restrições severas às culturas ou sofrem restrições impostas pelo terreno. Em alguns casos, torna-se necessário um preparo do solo muito intenso em termos de desagregação do solo e sua movimentação visando adequar o terreno à operação com pouca flexibilidade do equipamento para se adequar ao terreno. A Figura 2 ilustra uma área que foi submetida a uma forte movimentação do solo para obter camalhões elevados e dimensionalmente determinados para viabilizar a operação de colheita.



Fig. 2: Preparo do solo com camalhão elevado para viabilizar a colheita mecanizada de cenoura.

Uma situação similar pode ser observada no cultivo de alface (Fig. 3-A), onde a qualidade do preparo do solo e o espaçamento entre sulcos foram adaptados às características das máquinas disponíveis comercialmente, mostrando um baixo aproveitamento da área além de uma porcentagem elevada do terreno submetido à ação do tráfego de rodas.

As condições ergonômicas de trabalho da mão-de-obra são também freqüentemente desfavoráveis como consequência das características dos equipamentos. As Figuras 3-B e 3-C ilustram condições de trabalho com excessiva flexão da coluna vertebral lombar dos trabalhadores, impostas por um equipamento de auxílio à colheita de repolho.

Como exemplo de restrição imposta pelo terreno a um veículo não dimensionado para operar em terrenos declivosos, pode ser apresentado o equipamento mostrado na Figura 3-D; trata-se de um veículo autopropelido, projetado para auxílio à colheita de folhosas, com transmissão hidrostática 6x6. Opera com velocidade controlável de 50m/h a 12km/h, possui potência de 90 HP e duas estações de empacotamento, tem a capacidade de carregar até 10 paletes, possui sombreamento em PVC e dispositivos de parada para emergência situados em posições estratégicas. Além das restrições ergonômicas descritas para este equipamento, deve-se destacar também a baixa mobilidade que apresenta para operar em terrenos declivosos, em função de sua bitola estreita.

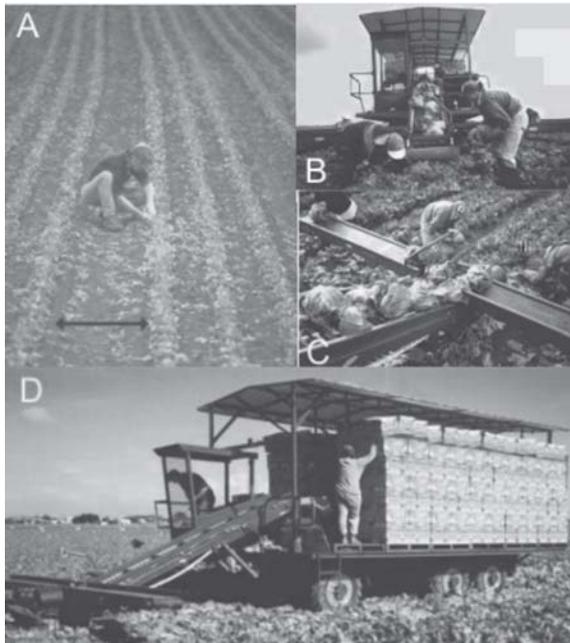


Fig. 3: (A) Detalhe do espaçamento para o tráfego do trator em cultivo de alface; (B) e (C) Postura ergonômica inadequada dos trabalhadores; (D) Equipamento de auxílio mecânico à colheita de repolho com tração 6x6.

2. Riscos no desenvolvimento da tecnologia

O desenvolvimento tecnológico de sistemas de beneficiamento, ou sistemas colheita de frutas e hortaliças, é um desafio cujos riscos podem ser reduzidos lançando-se mão dos recursos de projeto existentes em termos de trabalho em grupos multidisciplinares, que executam dimensionamento, simulação e otimização, tanto no aspecto funcional quanto no aspecto econômico, logístico, ambiental, social e administrativo. Espera-se que o projeto seja tecnicamente viável, ecologicamente correto, ergonomicamente adequado, economicamente viável e socialmente compatível.

A viabilidade técnica do projeto do equipamento depende principalmente do entendimento dos fenômenos físicos envolvidos nos processos e da utilização de recursos da engenharia disponíveis para seu dimensionamento e aprimoramento. Modelos ligados ao comportamento mecânico dos materiais em processo, cinemática e dinâmica dos mecanismos, fenômenos hidráulicos e térmicos envolvidos, assim como do comportamento estrutural do equipamento são atualmente adequadamente conhecidos e dispõem de dados e recursos informatizados de simulação suficientes para assegurar a viabilidade técnica do projeto. As cargas atuantes em um projeto estruturalmente viável devem provocar tensões e deformações compatíveis com os materiais utilizados nas peças que posicionam espacialmente todos os componentes do equipamento. A estrutura pode ser do tipo autoportante, ou seja, incorporada à função, ou reticulada, com barras cuja função é puramente estrutural.

Uma unidade móvel de colheita, beneficiamento ou transporte deve possuir mobilidade, ou seja, capacidade de se movimentar no terreno onde a operação deve ser realizada; isto implica em ter capacidade de rampa para vencer obstáculos, tais como sulcos ou lombadas ou, simplesmente, trafegar sobre um terreno ascendente; paralelamente, deve ter estabilidade ao tombamento, dirigibilidade e raio de giro adequado para as manobras requeridas no campo.

O grau de mecanização depende tanto do investimento tecnológico como do aspecto social; desse modo, a mecanização pode ser total ou parcial, com processos manuais ou mecatrônicos. O ideal é que o custo do projeto seja adequadamente reduzido, para que o investimento seja compatível com a atividade e com o investidor. Sendo assim, no momento do projeto devem-se fazer escolhas entre soluções alternativas eficientes.

É necessário um balanço entre o custo de mão-de-obra e a manutenção do equipamento, levando-se em consideração a sazonalidade e os encargos sociais, a confiabilidade do equipamento e a disponibilidade de assistência técnica. O investimento do agricultor deverá ser compatível com o sua capacidade de investimento, mesmo que a taxa de retorno do investimento no equipamento seja baixa.

Na estimativa do custo da operação, deve-se considerar a capacidade efetiva de colheita juntamente com os custos do combustível, mão-de-obra, reparos e manutenção, depreciação, garagem e seguro, assim como o custo dos lubrificantes.

A seguir, serão descritos os passos envolvidos para estimar cada parcela do custo de um equipamento. Em primeiro lugar, é necessário estimar sua capacidade de produção incluindo-se as principais variáveis ligadas a ela; essa capacidade permite expressar os custos fixos, principalmente depreciação e juros, e os custos variáveis, principalmente combustível, manutenção e mão-de-obra por unidade produzida.

• Capacidade efetiva de colheita (C_{ef})

O equipamento possui uma capacidade teórica ou potencial de produção C_{pot} , a qual corresponde a um funcionamento ideal ininterrupto. A capacidade potencial de produção normalmente não é atingida em função de restrições impostas pela disponibilidade do equipamento, pela disponibilidade de produto a ser processado, pelos tempos perdidos por deslocamento, mau tempo ou erros de planejamento, assim como pelos tempos alocados para manobras de cabeceira e outras interrupções transitórias da operação, tais como embuchamentos, obstáculos do terreno, falta de energia e abastecimento de insumos necessários à operação. Na medida em que a capacidade potencial é afetada de uma eficiência global E_{fg} , que engloba todas as perdas de produção descritas, seu valor diminui e atinge a capacidade efetiva C_{ef} dada pela equação 1,

$$C_{ef} = \frac{C_{pot} \cdot E_{fg}}{100} \quad 1$$

onde,

$$E_{fg} = E_{fa} \cdot E_{fd} \cdot E_{fu} \cdot E_{fo} \quad 2$$

sendo:

E_{fg} : Eficiência global, fração decimal de um dia em que o equipamento opera de forma ininterrupta;

E_{fa} : Eficiência de aproveitamento, fração decimal de um dia alocada como jornada de trabalho;

E_{fd} : Eficiência de disponibilidade, fração decimal da jornada de trabalho em que o equipamento se encontra disponível para operar após ter feito todas as manutenções necessárias para sua operação;

E_{fu} : Eficiência de utilização, fração decimal do tempo remanescente, após ter retirado da jornada de trabalho os tempos de manutenção, em que o equipamento se encontra em operação. Leva em conta todos os tempos perdidos por condição climática, falta de produto ou área para ser processada e outros;

E_{fo} : Eficiência operacional, fração decimal do tempo de operação em que o equipamento encontra-se processando o produto, após descontar os tempos de manobra, regulagens com a máquina em operação e similares.

• Custo de combustível (C_{Comb})

O combustível é, frequentemente, o principal componente dos custos variáveis e pode ser mais facilmente estimado pela equação 3, conhecendo-se a potência do motor do equipamento e considerando-se a fração efetivamente utilizada, já que sempre existe uma reserva de potência que depende da natureza da operação executada.

$$C_{Comb} = \frac{C_c}{C_{ef}} \cdot P_{Comb} \quad 3$$

onde o consumo de combustível C_c [l.h⁻¹] pode ser obtido da equação 4:

$$C_c = \frac{P_{Maq} \cdot P_M \cdot C_{esp}}{D_c \cdot 1000} \quad 4$$

sendo:

C_{Comb} : Custo do combustível [\$.t⁻¹];

P_{Comb} : Preço do combustível [\$.L⁻¹];

P_{Maq} : Potência do motor [cv];

P_M : Potência média utilizada [decimal];

C_{esp} : Consumo específico [g.cv-1.h⁻¹];

D_c : Densidade do combustível [kg.L⁻¹].

• Custo da mão-de-obra (C_{Mo})

Cada funcionário envolvido na operação do equipamento integra o custo da mão-de-obra e sua participação pode ser calculada por meio da equação 5.

$$C_{MO} = \frac{\left(1 + \frac{PTS}{30}\right) \cdot S \cdot (1 + ES)}{C_{dia} \cdot PTS} \quad 5$$

sendo:

C_{MO} : Custo da mão-de-obra [$\$.t^{-1}$];

P_{TS} : Período total da safra [dia];

S : Salário [$\$/mês$];

ES : Encargos sociais [decimal];

C_{dia} : Capacidade diária [$t.dia^{-1}$].

• Custo de reparos e manutenção (C_{RM})

A manutenção preventiva do equipamento envolve componentes tais como correias, filtros, rolamentos, vedações, materiais de atrito e outros componentes com vida útil curta. À medida que a manutenção preventiva for menos eficiente, outros custos aparecem com maior frequência na forma de reparos ou manutenções corretivas. A equação 6 representa um dos critérios para estimar os custos de reparos e manutenções, adequado para um estudo de viabilidade de uma proposta de equipamento.

$$C_{RM} = \frac{VA \cdot RF}{VU \cdot C_{ef}} \quad 6$$

sendo:

C_{RM} : Custo de reparo e manutenção [$R\$.t^{-1}$];

VA : Valor de aquisição [$R\%$];

VU : Vida útil do equipamento [h];

RF : Fator de reparos e manutenção, [decimal].

• Depreciação (D)

O equipamento, pelo uso, sofre deterioração e obsolescência, que fazem seu valor de mercado sofrer abatimento ao longo de sua vida útil. Essa perda de valor deve ser alocada ao custo da operação por meio de vários critérios, entre os quais a depreciação linear ao longo da vida útil representa um procedimento normalmente adequado para um estudo preliminar de viabilidade de uma nova proposta tecnológica.

$$D = (VA - VR) \cdot FRC + (VR \cdot J) \quad 7$$

O Fator de Recuperação de Capital, FRC, pode ser calculado pela equação 8, considerando-se o juro anual juntamente com o valor do investimento, e representa o custo fixo anual referente a ele (FRANCISCO, 1991). O cálculo leva em conta a vida do equipamento V dada pela equação 9 e a taxa anual de juros J .

$$FRC = \frac{J \cdot (1 + J)^V}{(1 + J)^V - 1} \quad 8$$

$$V = \frac{Vida \text{ útil}[h]}{Uso - Anual[h]} \quad 9$$

sendo:

D: Depreciação [R\$];

VR: Valor residual do equipamento [R\$];

J: Juros [decimal];

FRC: Fator de recuperação do capital [decimal];

V: Vida [anos];

• Taxa de garagem e seguro

Os gastos com taxas, garagem e seguros podem ser estimados em 2% do valor de aquisição do equipamento, sendo 1% relativo a taxas, 0,75% relativo a garagem e 0,25% relativo a seguros (AMERICAN SOCIETY..., 1990).

• Lubrificantes

Os lubrificantes são trocados a intervalos de tempo definidos pelo uso do equipamento, o qual está proporcionalmente relacionado ao consumo de combustível. Portanto, o custo dos lubrificantes pode ser estimado como uma porcentagem do custo do combustível, por exemplo, 15% , de acordo com a norma ASAE Standards (AMERICAN SOCIETY..., 1990), se não houver um dado mais específico correspondente ao tipo de equipamento em estudo. Equipamentos que utilizam acionamentos hidráulicos, por exemplo, terão maior custo com lubrificantes.

• Impacto ambiental do projeto

Além de baixo custo, o impacto ambiental do projeto vem ganhando importância no mercado. Assim, o projeto deve ser o mais sustentável possível utilizando-se da tecnologia disponível. Deve-se atentar para a preservação da água, para o ar e o solo, minimizando o impacto nesses recursos. Os lubrificantes, peças, pneus, baterias, filtros, elastômeros e materiais sinterizados, entre outros, demandam processos específicos de reciclagem ou descarte com mínimo impacto ambiental. O uso de combustíveis renováveis deve ser priorizado sempre que possível para diminuir a emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Quanto ao impacto social, a mecanização das operações agrícolas frequentemente causa desconforto na sociedade. Para reduzir esses impactos, deve ser estudada a disponibilidade regional de mão-de-obra, verificando-se o custo das operações manuais, semi-mecanizadas e mecanizadas, além das suas condições ergonômicas. Deve-se determinar o grau de automação mais adequado para a condição socioeconômica de cada região, a fim de manter o produto colhido competitivo em termos de qualidade e custo.

Quanto ao impacto do projeto sobre o solo, o maior problema no caso de veículos agrícolas está associado à sua compactação, para o que é possível adotar soluções do tipo bitola larga ou controle de tráfego, que permitem reduzir significativamente esse impacto ao reduzir a área trafegada. Nas condições topográficas específicas de muitas regiões brasileiras, a mobilidade dos equipamentos em terrenos declivosos merece uma atenção especial, principalmente pelo fato de existir o paradigma do trator agrícola cuja configuração limita drasticamente o uso da mecanização em terreno com inclinação inferior a 20%, limite que pode ultrapassar 40% de acordo com as condições de umidade do solo.

3. Mecanização em terrenos declivosos

Culturas extensivas como soja, milho e cana-de-açúcar, principais responsáveis pelo bom desempenho do agronegócio, dependem e dispõem de equipamentos para todo o processo produtivo, desde o preparo do solo até a colheita e o transporte. Esses equipamentos, predominantemente tratores, colhedores e veículos de transporte, utilizam tecnologia desenvolvida para topografia plana, dominante nos seus países de origem. Outras culturas, como frutas, hortaliças e parte da cana-de-açúcar, possuem também excelente potencial de mercado, mas no Brasil frequentemente são produzidas em terrenos declivosos para os quais não existem equipamentos adequados

que permitam atingir os níveis de competitividade dos produtos de agricultura plana. O caso das frutas e principalmente das hortaliças é particularmente crítico. Áreas declivosas, próximas de centros urbanos, poderiam ser aproveitadas, com menores custos de transporte e melhor qualidade do produto, se não fossem as restrições de topografia, principalmente para os tratores existentes.

O uso da mecanização agrícola sofre restrições à medida que aumenta a inclinação do terreno; o peso próprio dos equipamentos interage com a superfície do solo provocando condições que podem comprometer a estabilidade dos veículos fora de estrada. No entanto, a tecnologia disponível no início do século XXI, em termos de tratores, colhedoras e veículos de transporte, tem sua origem no início do século XX, em regiões de topografia plana. Essa condição levou à consolidação de um paradigma que restringe a mecanização a terrenos com declividade inferior a 20 %, e, no caso da colheita mecânica de cana-de-açúcar a tecnologia é ainda muito mais restritiva já que limita a declividade em 12 %. Uma constatação interessante surge da observação da carregadora Implanor-Bell, ilustrada na Figura 4, que opera regularmente nas encostas do Estado de Pernambuco, com declividades freqüentemente acima de 50%, sem que apresente falta de estabilidade. Segue uma análise mais detalhada dos fatores que limitam o uso da mecanização em terrenos inclinados, com base em limitadores físicos que participam da estabilidade dos equipamentos. O tombamento, o escorregamento lateral e o controle direcional são três fatores que podem comprometer a estabilidade de um veículo que opera em terrenos declivosos:



Fig. 4: Carregadora Implanor-Bell com bitola larga e centro de gravidade baixo, montada sobre pneus.

A) Tombamento lateral ou longitudinal

O polígono descrito pelos pontos de apoio do veículo representa o referencial de estabilidade ao tombamento. Sempre que a projeção vertical do centro de gravidade do equipamento se localize fora do polígono de estabilidade, ele se torna instável. A Figura 5 (a) ilustra o polígono de estabilidade de um trator agrícola, e as Figuras 5 (b) e (c) ilustram o limiar do tombamento lateral e longitudinal respectivamente; verifica-se que a configuração do trator convencional, com bitola inferior a 2 m e altura do centro de gravidade da ordem de 1 m apresenta uma inclinação de tombamento lateral de 100%, que, quando afetada de efeitos dinâmicos e irregularidades do terreno leva a um limite de estabilidade de aproximadamente 60%, valor esse que torna o trabalho em encostas uma operação de risco. O caso das colhedoras de cana existentes comercialmente é ainda mais crítico. A estabilidade ao tombamento lateral ou longitudinal pode ser contornada por meio de um dimensionamento adequado da bitola, a distância entre eixos e a altura do centro de gravidade do veículo, de forma a conseguir um polígono de estabilidade compatível com a inclinação do terreno a ser trafegado.

Os equipamentos de colheita incorporam normalmente unidades de processamento para o beneficiamento do produto colhido; a massa e o volume dessas unidades fazem com que seja difícil localizar o centro de gravidade a baixa altura. No entanto, é possível aumentar a estabilidade ao tombamento utilizando bitolas largas, como a

ilustrada na Figura 5 (d). Outro recurso para melhorar a estabilidade é a utilização de mecanismos de nivelamento, como o ilustrado na Figura 5 (e); trata-se de uma opção tecnicamente adequada, embora de maior custo e complexidade construtiva.

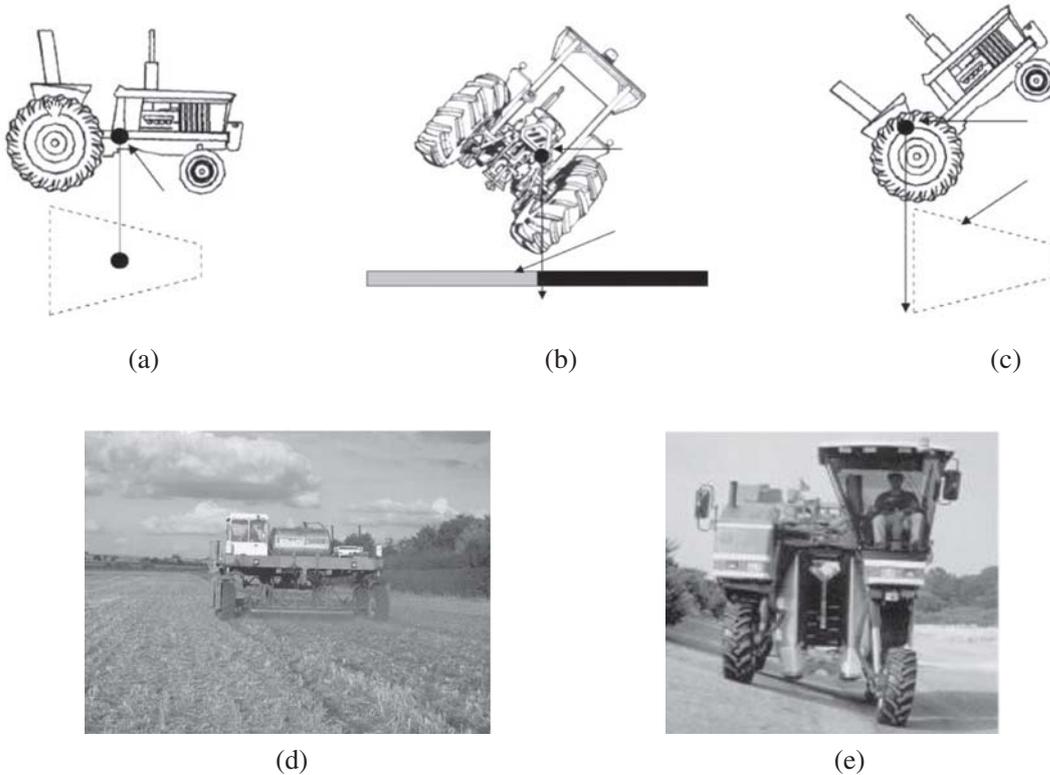


Fig. 5: Estabilidade ao tombamento do trator agrícola e recursos para seu melhoramento (SMITH, 2005).

- a: Polígono de estabilidade
- b: Limiar da estabilidade lateral
- c: Limiar da estabilidade longitudinal
- d: “Field Power Unit” com bitola larga de 8,5 m
- e: Colhedora com mecanismo de nivelamento estrutural

B) Escorregamento lateral de veículos em terrenos inclinados

Com o aumento da inclinação do terreno, aumenta também a magnitude da componente de força transversal T do peso do veículo (Fig. 6). À medida que essa força supera o limite da resistência do solo ao cisalhamento, surge uma condição de instabilidade provocada pelo escorregamento do pneu sobre o solo; essa condição depende das propriedades mecânicas do solo e da configuração dos pneus. Deve-se observar que os limites de declividade máxima reconhecidos atualmente estão normalmente associados às estabilidades ao tombamento e direcional e não ao escorregamento tangencial dos pneus.

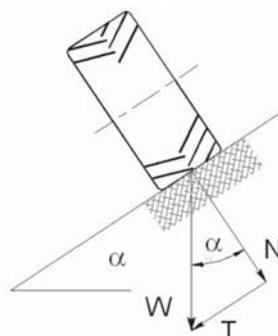


Fig. 6: Componentes do peso do equipamento.

N: Componente do peso normal ao terreno

T: Componente do peso tangencial ao terreno

W: Peso do veículo

São apresentadas a seguir três referências de natureza experimental que permitem verificar que o limite de inclinação do terreno determinado pelo escorregamento lateral em encostas encontra-se próximo de 70 %.

1- A carregadora ilustrada na Figura 4 opera satisfatoriamente nas encostas secas do verão, no Estado de Pernambuco. O referido projeto eliminou o problema de estabilidade ao tombamento utilizando bitola larga e centro de gravidade baixo e não apresenta problemas de escorregamento que comprometam seu desempenho.

2- A força necessária para provocar o deslizamento transversal de um pneu pode ser da magnitude indicada na Tabela 1.1, de acordo com Inoue et al. (1999). No caso de um pneu 14.9-28 R1, a força transversal atinge 49% da carga N, normal, ao solo, se este for preparado, e o valor chega a 70 % quando o pneu se encontra apoiado na superfície dura de asfalto. Cabe ressaltar que a relação entre a força tangencial e normal, atuantes na interface pneu-solo, corresponde à tangente trigonométrica do ângulo de inclinação do terreno. O trabalho analisa também o caso de superfície gramada onde a estabilidade fica muito prejudicada, mas essa condição representa apenas um referencial extremo, sem relação com as condições de solo seco de Pernambuco.

Tabela 1.1: Força transversal máxima aplicável a um pneu 14.9-28 R1 sobre três condições de solo (INOUE et al., 1999).

| Superfície | T: Força de deslizamento transversal N: carga vertical ; P: pressão insuflagem kPa | T para N= 18.800 N P = 179,5 kPa |
|----------------|---|-------------------------------------|
| Asfalto | $1272 + 0,6399 N - 0,021 P$ $r^2=90,87\%$ | 13.298 (70%) |
| Solo preparado | $1427 + 0,4159N$ $r^2=96,21\%$ | 9.246 (49 %) |
| Gramma | $-3652 + 115,5 P + 0,00002 N^2 -0,5208 P^2$ $r^2=95,18\%$ | 7.369 (39 %) |

3- Uma terceira constatação sobre o limite físico associado ao escorregamento tangencial dos pneus sobre o solo pode-se extrair das normas relativas ao desempenho de tração de tratores com tração em duas rodas, largamente estudados nos ensaios de Nebraska, EUA, e publicadas no ASAE Standards, Engineering Practices and Data. A norma ASAE-D497, “Agricultural Machinery Management Data”, permite estimar a força de tração desenvolvida por um pneu em função da carga normal e a patinagem. Trata-se de forças tangenciais aplicadas no plano do pneu e não transversalmente, mas ainda representam uma condição de atrito ou cisalhamento do solo sob a ação de um pneu de tração com garras periféricas. A Tabela 1.2 apresenta valores da força tangencial calculados de acordo com a referida norma.

Tabela 1.2: Relação força tangencial/força normal (T/N), estimada pela norma D497 ASAE-Agricultural Machinery Management Data (AMERICAN SOCIETY..., 1990).

| Superfície (Cn) | Patinagem (%) | | |
|---------------------|---------------|------|------|
| | 10 | 20 | 30 |
| Dura (50) | 0,52 | 0,65 | 0,68 |
| Solo firme (30) | 0,37 | 0,55 | 0,62 |
| Solo preparado (20) | 0,24 | 0,42 | 0,53 |

Pode-se observar na Tabela 1.2 que, aceitando-se um deslizamento de 10 a 30%, é possível aplicar uma carga tangencial ao pneu na faixa de 52 a 68% da carga normal à superfície, no caso de solos duros e secos. Forças tangenciais da ordem de 53% da carga normal podem ser obtidas na condição de solo preparado existente durante o plantio, no inverno.

C) A perda de controle direcional

O terceiro fator restritivo, a falta de estabilidade direcional, surge como consequência da deformação lateral dos pneus e do solo provocada pela componente lateral de peso do equipamento. O mecanismo que determina esse desvio de trajetória pode ser explicado adotando-se um modelo físico simplificado do comportamento do pneu e do solo, e analisando-se separadamente ambos esses efeitos.

O esquema da Figura 7(b) representa esquematicamente a deformação magnificada, que sofre o pneu da Figura 7 (a). Essa deformação, de magnitude “D”, acontece na região de contato do pneu com o solo e pode ser medida com relação ao resto da banda de rodagem, não deformada. À medida que o pneu gira e avança sobre o terreno, sucessivos pontos a, b e c, da banda de rodagem entram progressivamente em contato com o solo. Analisando-se o caso específico dos pontos a e b, verifica-se que este último se encontra deslocado uma distância “D” com relação ao centro “O” da roda, no sentido da declividade do terreno, ou seja, durante seu avanço o equipamento afastou-se essa distância da linha de marcha original. À medida que o ponto “b” entra em contato com o solo, um novo deslocamento “D” acontecerá entre o ponto “b” e o centro “O” da roda; o fenômeno se repete para um próximo ponto “c”, e assim sucessivamente.

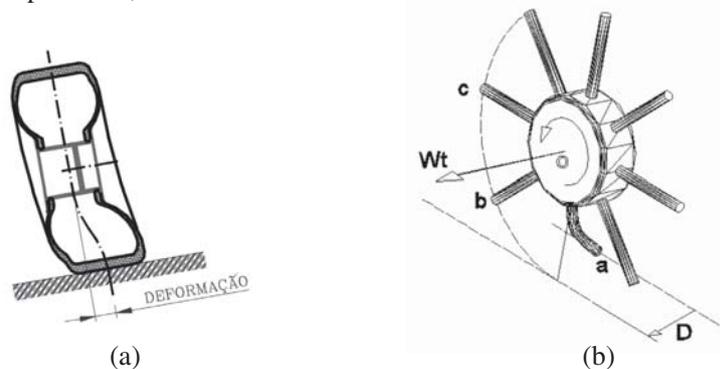


Fig. 7: Deformação lateral do pneu provocada pela componente lateral do peso do equipamento.

Com o avanço da roda, sucessivos pontos da periferia do pneu entram em contato com o solo e novos deslocamentos transversais acontecem; com isso, incrementa-se progressivamente o desvio da trajetória inicial, no sentido da declividade. O desvio poderia ser reduzido drasticamente utilizando-se pneus mais rígidos, do tipo utilizado em veículos de estrada, em rodovias, mas isso gera maiores pressões sobre o solo e os consequentes problemas de compactação que os pneus agrícolas tentam reduzir.

Além da deformação do pneu, a componente transversal do peso do equipamento provoca também a deformação do próprio solo. Para a análise da deformação do solo, é conveniente considerar que não existe deformação da roda e, posteriormente, ambos, efeitos podem ser superpostos para obter o comportamento do conjunto roda-solo.

A Figura 8 ilustra esquematicamente a deformação do solo através do deslocamento “D” que sofre o ponto “a” do extremo da haste “1”, se deslocando até o ponto “b”, quando a haste entra em contato com o solo e recebe a componente tangencial do peso do equipamento. Na seqüência, com a roda continuando a girar, uma nova haste “2” entra em contato com o solo no ponto “c” e uma nova deformação de solo acontece, fazendo com que o ponto “c” se desloque até o ponto “d”. Com o avanço da roda, novos pontos são atingidos sobre o solo e novos deslocamentos transversais acontecem e, com isso, incrementa-se progressivamente o desvio da trajetória inicial, no sentido da declividade. Deve-se ressaltar que o desenvolvimento da planta requer solos desagregados ou estruturados, com bastante porosidade, em geral, são propriedades que reduzem a rigidez e, conseqüentemente, aumentam a deformação do solo e o desvio de trajetória.

O desvio de trajetória do equipamento se dá portanto como resultado da superposição dos deslocamentos transversais descritos, originados das deformações do pneu e do solo.

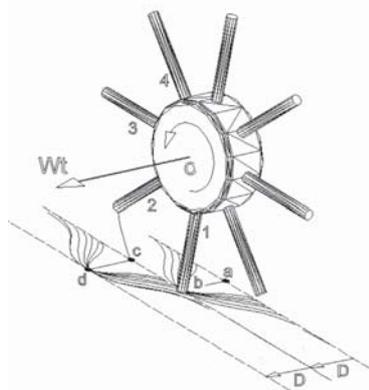


Fig. 8: Deformação lateral do solo provocada pela componente lateral do peso do equipamento no final.

Do ponto de vista da redução do desvio de trajetória, seria recomendável a utilização de solos compactados e rodas duras; ambos os fatores são contrários aos requerimentos ideais do ambiente físico requerido pela planta. Essa condição ideal pode ser viabilizada separando-se as áreas de plantio das áreas de tráfego por meio do tráfego controlado. Mesmo sem a aplicação desta técnica, é possível evitar o desvio de trajetória com a utilização de mecanismos de direção que aplicam uma angulação ao plano do pneu; com isso compensam o desvio “D” acima descrito e mantêm a trajetória ou linha de marcha definida pelo operador.

Os veículos agrícolas dispõem de mecanismo de direção em apenas um dos seus eixos: sendo no eixo traseiro, no caso das colhedoras de cereais e, no dianteiro, no caso dos tratores ou colhedora de cana-de-açúcar sobre pneus. Com a existência de direção em apenas um dos eixos, o equipamento apresenta escorregamento do segundo eixo, sem possibilidade de correção, do que resulta um desalinhamento do eixo geométrico longitudinal do equipamento com relação à linha de plantio. O uso de rodas direcionais em ambos os eixos permite corrigir essa anomalia, mas trata-se de recurso não disponível atualmente na maioria dos equipamentos agrícolas.

Nos casos dos equipamentos que utilizam rodeiros de esteiras, consegue-se eliminar a componente de desvio de trajetória associado à deformação do pneu. No entanto, permanece a componente de desvio de trajetória correspondente à deformação do solo; paralelamente, a correção de trajetória no caso das esteiras exige uma alteração da angulação do eixo longitudinal do veículo, o que permite que o equipamento acompanhe as linhas de plantio, mas não existe controle direcional independente nos eixos traseiro e dianteiro para permitir ajustar a tangência do eixo longitudinal do equipamento com as linhas de plantio; alinhamento esse que afeta o processo de alimentação no caso das colhedoras.

Os veículos com direção nas quatro rodas podem operar nos modos de “giro” e “paralelo” (Fig. 9). O modo de giro permite efetuar trajetórias curvas com raios muito reduzidos. No modo paralelo, o veículo pode se deslocar transversalmente, paralelamente a si mesmo, para compensar deslizamentos laterais em terrenos inclinados, sem mudar a orientação de tangência do seu eixo longitudinal com as linhas de plantio.

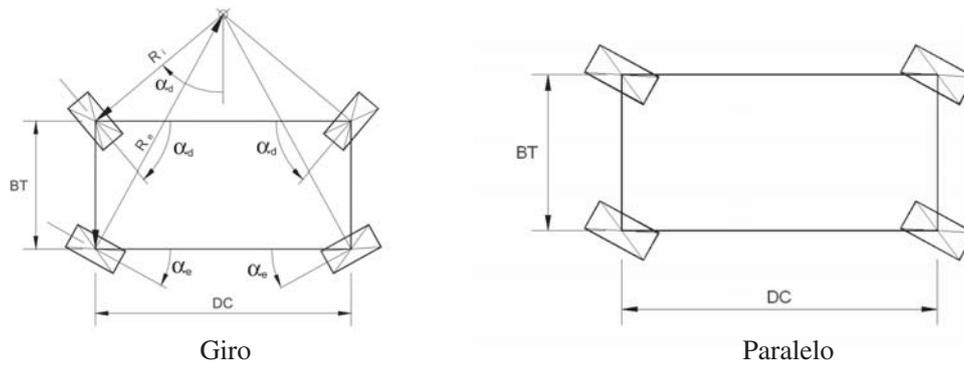


Fig. 9: Modos de operação direcional do veículo com direção nas quatro rodas.

O comportamento direcional descrito é exclusivo dos veículos de pneus com direção nas quatro rodas. A disponibilidade atual de transmissões hidrostáticas e de redutores planetários de roda viabiliza a fabricação da referida configuração de mecanismo direcional, sempre se utilizando componentes facilmente fornecidos no mercado nacional ou importados.

Da análise apresentada sobre movimentação de veículos autopropelidos de colheita, e outros, em terrenos inclinados, pode-se concluir que a grande deformação dos pneus agrícolas é uma característica desejável imposta a eles para se conseguir maior área de contato com o solo e, dessa forma, reduzir a pressão sobre este. A baixa rigidez da estrutura do pneu, desejável do ponto de vista da compactação do solo, prejudica a estabilidade direcional de veículos que utilizam eixos sem mecanismo de direção. O conceito de controle de tráfego que propõe a separação das faixas de cultivo e tráfego, juntamente com a utilização de recursos de direção em todos os eixos do veículo, permite elevar a restrição topográfica para uso de mecanização do limite atual de 20 % de declividade para valores muito superiores, definidos pelo limite físico imposto pelo escorregamento lateral do pneu sobre o solo.

4. Controle de tráfego (Pórtico autopropelido)

O conceito de tráfego controlado tem sido utilizado em diversas aplicações agrícolas, utilizando-se veículo com bitola convencional (estreita), ou bitolas largas como no caso da FPU (Field Power Unit), ilustrada na Figura 10. As quatro rodas direcionais dessa estrutura permitem que elas sejam posicionadas longitudinalmente à estrutura para o transporte, transversalmente para o trabalho e inclinadas tangenciando um círculo para o giro da unidade sobre seu próprio eixo.



(a)



(b)

Fig. 10: Pórtico Autopropelido.

- a) Veículo operando no conceito de tráfego controlado
- b) Posição das rodas que permitem o giro do veículo sobre seu próprio eixo.

Na Figura 11, é mostrado o equipamento com as rodas em posição de inversão, posição de operação e posição de transporte, o que permite ao equipamento mobilidade adequada para o trabalho e para o transporte.

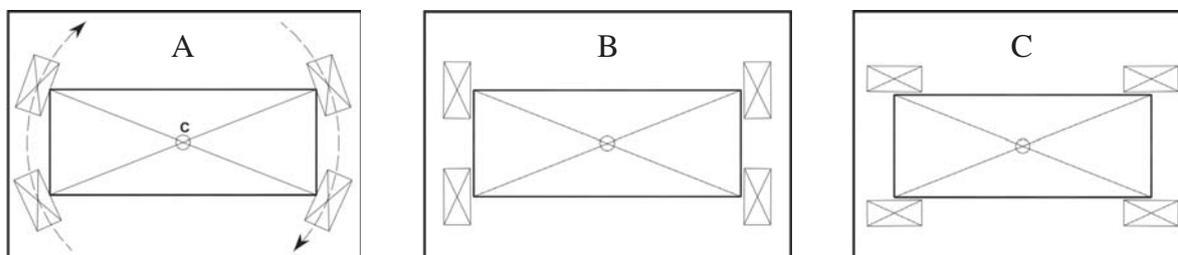


Fig. 11: Controle direcional na posição de inversão (A); posição de operação (B); e posição de transporte (C).

As linhas de tráfego, quando permanentes, podem ser compactadas de forma a permitir o uso de pneus mais rígidos, com maior capacidade de carga e com menor resistência ao rolamento; dessa forma tanto as plantas, localizadas nas faixas não trafegadas, quanto as rodas que operam sobre as trilhas compactadas encontram condições mais próximas do ideal, mesmo que seus requerimentos sejam diametralmente opostos. Devem ser levados em consideração os espaços reservados para insumos e produtos colhidos, que serão levados sobre a unidade móvel.

Com o controle de tráfego, consegue-se viabilizar a permanência da produtividade das culturas de forma sustentável, sem necessidade de processos de preparo do solo, tanto nas culturas perenes quanto nas de ciclo anual, além de permitir a adoção de tecnologias do tipo plantio direto, e irrigação localizada.

5. Capacidade da rampa

A capacidade de rampa de um veículo agrícola diz respeito à trafegabilidade, ou mobilidade do equipamento em campo e depende de características descritas a seguir referentes ao campo e ao equipamento.

• Resistência à penetração do solo [Índice de cone - C]

Na busca de métodos práticos para a avaliação das condições de solo visando obter informações referentes à capacidade de suportar tráfego e permitir a mobilidade de veículos, a WES (Waterwais Experimental Station), pertencente à U. S. Army Corps of Engineers, desenvolveu, durante a Segunda Guerra Mundial, o sistema de prospecção por meio de resistência do solo à penetração de uma ferramenta, que posteriormente foi padronizado pela ASAE.

O penetrômetro é introduzido no solo com velocidade constante de 1829 mm/min, e as leituras são feitas a cada 50 mm de profundidade em um registrador que atua pela deformação de uma mola ou célula de carga. O nome dado a essa medição é Índice de Cone.

O Cone possui vértice de 30°, diâmetro de base de 12,83 mm para solos duros e 20,27 mm para solos moles, com diâmetro de haste de 9,5 mm.

Valores de referência para o índice C:

- C = 200: Solo solto ou molhado;
- C = 700: Solo agrícola médio, tráfego bom, gerando alguma compactação visível;
- C = 1500: Solo agrícola firme, sem sinais visíveis de compactação.

• Número da mobilidade

Segundo o proposto por Gee-Clough (1980), o número de mobilidade M é um valor adimensional que expressa a relação entre a capacidade de sustentação do solo, diâmetro, largura e deflexão do pneu, e pode ser obtido pela Equação 10.

$$M = \frac{C \cdot b \cdot d}{W} \sqrt{\frac{\delta}{h}} \left(\frac{1}{1 + (b/2d)} \right) \quad 10$$

onde:

W: Peso [N];

C: Índice de Cone do Solo;

d: diâmetro do pneu [m];

b: largura do pneu [m];

$\frac{\delta}{h}$: Deflexão do pneu (constante para pneu agrícola) [0,2].

• Resistência ao rolamento

A estrutura de solo, quando adequada para o desenvolvimento das plantas, não apresenta suficiente sustentação para o tráfego de pneus, razão pela qual as superfícies do pneu e do solo se deformam até atingir uma área de contato compatível com a carga aplicada e de acordo com a pressão de contato pneu-solo, que está associada à pressão de enchimento do pneu. O solo deformado oferece uma resistência ao avanço do pneu, denominada de resistência ao rolamento, segundo ilustra a Figura 12. Essa resistência é proporcional à carga aplicada sobre o pneu e pode ser calculada pelas equações empíricas como a sugerida por Gee Clough (1980) na equação (11).

$$C_{RR} = 0,049 + \frac{0,287}{M} \quad 11$$

onde M é o número da Mobilidade calculado em função do índice de cone do solo, das dimensões do pneu, da forma de diâmetro e largura e da carga vertical aplicada sobre este.

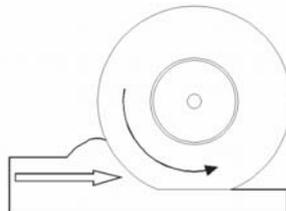


Fig. 12: Resistência ao rolamento.

• Capacidade de tração máxima

A capacidade máxima de geração de força de tração de um pneu pode também ser estimada pela equação empírica (12), do mesmo autor, em função do número de Mobilidade:

$$C_T(\max) = 0,796 - \frac{0,92}{M} \quad 12$$

onde $C_T(\max)$: Coeficiente de tração máximo

• Capacidade de tração em função do patinamento

O Coeficiente de tração aumenta à medida que existe maior deslizamento entre o pneu e o solo, e pode ser estimado pela equação (14):

$$k = \frac{4,838 + 0,061M}{(C_T)_{\max}} \quad 13$$

sendo

$$C_T = (C_T)_{\max} (1 - \exp(-ks)) \quad 14$$

onde M é o número da Mobilidade; k: Taxa constante, s: Patinamento (decimal).

• Eficiência de tração

A eficiência de tração pode ser quantificada por meio da relação entre a potência disponível no eixo da roda e a potência entregue na barra de tração do trator. A potência na barra é a potência no eixo menos as perdas provocadas pela resistência ao rolamento e pelo patinamento, conforme a equação (15):

$$\eta = \frac{C_T(1-s)}{C_T + C_{RR}} \quad 15$$

6. Transmissão de potência

A fonte de potência universalmente utilizada para o acionamento de máquinas agrícolas é o motor de combustão interna (MCI), normalmente do ciclo diesel, onde a energia química do combustível é transformada em energia mecânica na forma de torque e rotação. A velocidade de rotação do MCI se situa mais freqüentemente em torno de 2000 rpm, e o torque máximo disponível varia entre 170 e 700 Nm para motores com potência na faixa de 35 a 150 kw. As funções do equipamento normalmente demandam velocidades de rotação muito inferiores e torques em certos casos bastante superiores. Embora a velocidade de rotação do MCI permaneça constante no tempo, o torque entregue pelo motor varia de acordo com a demanda. As necessidades de torque e velocidade de rotação variam de uma função para outra, além de se apresentarem em vários locais diferentes do equipamento.

• Mudança de velocidade e torque

Para adequar a velocidade de rotação e o torque disponível no MCI a cada função do equipamento, são necessárias transmissões que podem ser mecânicas, hidráulicas ou elétricas. Na ordem cronológica de seu desenvolvimento, as transmissões mecânicas são as mais difundidas e podem estar constituídas por engrenagens, correias ou correntes que transmitem movimentos conforme ilustrado na Figura 13. Em ambos os casos, são geradas forças tangenciais transmitidas pelas correias ou correntes, ou, no ponto de contato, pelos dentes das engrenagens. Considerando-se que essa força tangencial atua tanto na roda pequena quanto na grande com a mesma intensidade, pode-se partir dessa igualdade para gerar relações de velocidades e torque entre as rodas dentadas ou polias que permitam dimensionar os diâmetros delas, de forma a fornecer os torques e as velocidades requeridas pelas funções do equipamento.

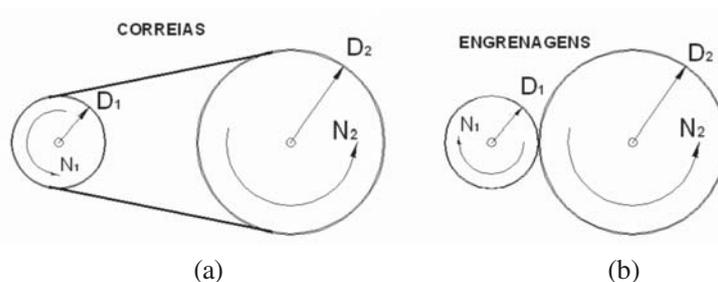


Fig. 13: Transmissões mecânicas adequando o torque e movimento de rotação requerido pela função.

a) correias ou correntes b) engrenagens

Di: Diâmetro primitivo da polia ou engrenagem [m]

Ni: Velocidade de rotação

Considerando-se que a velocidade tangencial na polia ou engrenagem 1 é igual à velocidade tangencial da polia ou engrenagem 2, pode-se obter a equação 16, que relaciona as velocidades de rotação com as dimensões das rodas.

$$V_1 = V_2$$

Logo,

$$V_1 = \pi D_1 N_1 = \pi D_2 N_2 = V_2$$

De onde surge uma expressão para a relação de transmissão RT que relaciona os diâmetros primitivos das polias ou engrenagens com suas velocidades de rotação.

$$D_2 / D_1 = N_1 / N_2 = RT \quad 16$$

Considerando-se também que a força tangencial atuante sobre a polia ou engrenagem 1 é igual à força tangencial atuante sobre a polia ou engrenagem 2, pode-se obter uma expressão que relaciona os torques transmitidos com as dimensões das rodas.

$$F_1 = F_2$$

Logo,

$$F_1 = T_1 / (D_1/2) = T_2 / (D_2/2) = F_2$$

De onde surge a equação 17 para a relação de transmissão RT, que relaciona os diâmetros primitivos das polias ou engrenagens com seus correspondentes torques.

$$T_2 / T_1 = D_2 / D_1 = RT \quad 17$$

onde: T1: torque na roda 1 [N.m]; T2: torque na roda 2 [N.m]

As equações 16 e 17 permitem dimensionar as rodas da transmissão mecânica para fornecer o torque e a velocidade de rotação necessária para cada função do equipamento, cujos valores surgem de estudos de laboratório, ou mesmo, de equipamentos existentes com funções similares.

• Transmissões hidráulicas

Para conseguir a adequação da velocidade de rotação aos requerimentos de cada função do equipamento, podem-se utilizar transmissões hidráulicas, as quais permitem, por meio da seleção do deslocamento volumétrico da bomba, ou do motor, adequar a velocidade de rotação a uma função específica. A pressão de acionamento surge espontaneamente em função da resistência oferecida pela carga. A pressão máxima é limitada pela resistência estrutural dos componentes hidráulicos; o deslocamento volumétrico do motor deve ser dimensionado para que essa pressão máxima não seja ultrapassada. A equação 18 permite selecionar o deslocamento volumétrico do motor hidráulico para atingir o torque necessário sem ultrapassar as pressões máximas recomendadas.

$$POT = T \times RPM = Pressão \times Vazão = Pressão \times Desl. Vol. \times RPM \quad 18$$

As transmissões hidráulicas são mais compactas que as transmissões mecânicas ou elétricas e, conseqüentemente, mais apropriadas à medida que as potências transmitidas aumentam. A Figura 14 ilustra um equipamento de auxílio mecânico para a colheita de tomate de mesa que utiliza transmissões hidráulicas em função da baixa velocidade requerida para a retirada manual dos frutos. A mão-de-obra retira os frutos da plantação, e o equipamento efetua o transporte e beneficiamento.



Fig. 14: Auxílio mecânico para colheita de tomate de mesa com acionamento hidráulico e velocidade continuamente variável por meio de bombas de deslocamento volumétrico variável
(Foto: Marcos David Ferreira)

• Transmissões elétricas

Para conseguir a adequação do torque de acionamento e a velocidade de rotação de cada função do equipamento, pode-se utilizar uma combinação de transmissões mecânicas e elétricas onde as primeiras fazem a adequação das relações de transmissão para obter o torque necessário e o motor elétrico controlado por inversor de frequência permite a variação de velocidade requerida pela operação. O inversor de frequência é um dispositivo eletrônico que, a partir da tensão e frequência constante da rede, permite alimentar com frequência variável um motor de indução trifásico e, com isso, variar a velocidade do motor. O equipamento UNIMAC-Tomate ilustrado na Figura 15, para auxílio à colheita de tomate de mesa, utiliza uma combinação de transmissões mecânicas planetárias, por correias micro-canal e acionamentos elétricos individuais em cada roda, para seu deslocamento. Motores de indução com 3,7 kW de potência, controlados por inversores de frequência, permitem variar de forma contínua a velocidade de deslocamento na faixa de 100 a 1500 m/h.



Fig. 15: Auxílio mecânico para colheita de tomate de mesa com acionamento elétrico e velocidade continuamente variável por meio de inversores de frequência nas quatro rodas.



As velocidades de operação mais freqüentemente variam entre 200 e 1500 m/h para equipamento de auxílio mecânico, onde a mão-de-obra e as funções mecanizadas se complementam e de 1500 a 8000 m/h, quando as funções são integralmente mecanizadas, sem participação de mão-de-obra.

• Movimentação do veículo - Capacidade de rampa

A movimentação do veículo exige que exista suficiente torque nos eixos das rodas e paralelamente, um escalonamento de velocidades que permita operar satisfatoriamente sob condições variadas da plantação a ser processada, e paralelamente, permitir velocidades de transporte, para o deslocamento entre áreas dentro da propriedade. A capacidade de tração de um veículo deve ser dimensionada para vencer a resistência ao rolamento, superar atividades associadas à topografia do terreno ou irregularidades localizadas da superfície do terreno e combinações desses fatores. Um sulco de plantio ou uma depressão do terreno pode representar para a roda uma rampa de 100%, se a inclinação da tangente à superfície do terreno no ponto de contato roda-solo for de 45 graus. Para conseguir uma mobilidade confiável do veículo nas diversas condições que deve superar nos terrenos em que opera, pode ser definida uma única capacidade de tração denominada de capacidade de rampa, dada pela equação 20, a qual pode ser calculada considerando-se que o veículo deve subir uma atividade rígida com um ângulo α de rampa.

$$POT_{motor} = \frac{RPM_{motor}}{RT} T_{roda} = \frac{RPM_{motor}}{RT} W \text{ sen}(\alpha) Re \quad 19$$

De onde surge a capacidade de rampa máxima para um veículo com determinadas características de peso, potência, velocidade de rotação no motor e relação de transmissão :

$$\alpha = \arcsen \left(\frac{POT_{motor} RT}{W RPM_{motor} R_e} \right) \quad 20$$

Além da capacidade de rampa, o veículo deve fornecer opções de velocidades de deslocamento compatíveis com a operação. Essas velocidades estão associadas a relações de transmissão que podem ser determinadas pela equação 21, onde se pode observar que a relação de transmissão total RT é determinada pela velocidade de deslocamento, o tamanho das rodas e a velocidade de rotação do MCI :

$$Vel = \frac{2\pi R_e RPM_{roda} 60}{1000}$$

$$RT = \frac{RPM_{motor}}{RPM_{roda}}$$

$$Vel = \frac{120\pi R_e RPM_{roda} 60}{1000}$$

Portanto,

$$RT = \frac{120\pi R_e RPM_{motor}}{1000 V_{el}} \quad 21$$

Substituindo-se a equação 21 na equação 20, pode-se obter a equação 22, que fornece a rampa em que o veículo pode trafegar em função de seu peso, a velocidade de deslocamento e a potência do motor.

$$\alpha = \arcsen \left(\frac{120\pi POT_{motor}}{1000 W V_{el}} \right) \quad 22$$

A equação 22 permite também obter a capacidade de rampa do veículo desde que a velocidade de deslocamento seja a mínima permitida pelas relações de transmissão disponíveis.

Agradecimento

Agradecimento à engenharia agrícola Michele Carvalho Silva pela colaboração na estruturação deste artigo.

Observação

Figuras 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 15 fornecidas pelo autor do capítulo.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural Machinery Management Data. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards 1990**. [S.l.]: ASAE, 1990.

FRANCISCO, W. **Matemática financeira**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 319 p.

GEE-CLOUGH, D. Selection of Tyre Sizes for Agricultural Vehicles. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, Bd., v. 25, p. 261-278, 1980.

INOUE, G. H.; DIAS, G. P.; QUEIROZ, D. M.; MARTYN, P. J. Forças nos Pneus e Estabilidade Lateral em Tratores Agrícolas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 18, n. 3, p. 64-72, 1999.

SMITH, D. W. **Safe Tractor Operation: Rollover Protection**. [S. l.]: The Texas A&M University System, 2005. Extension Safety Program E344-04/05). p. 1.





Capítulo 3

Beneficiamento de frutas e hortaliças



Marcos David Ferreira



1. Introdução

O tema “Beneficiamento e Classificação para Frutas e Hortaliças” é um assunto relativamente novo no Brasil e muito abrangente, para o qual seria necessário um capítulo mais extenso que o apresentado aqui. O objetivo deste é proporcionar acesso às principais informações e princípios básicos relativos a este assunto. Portanto, são apresentadas informações relacionadas a características do beneficiamento e suas etapas. As etapas referentes ao beneficiamento foram divididas em dez e são abordadas separadamente.

2. Onde beneficiar e classificar? Campo X Unidades de beneficiamento

O beneficiamento de frutas e hortaliças pode ser realizado diretamente em campo ou em unidades de beneficiamento estáticas (Fig. 1) ou móveis¹. Algumas hortaliças e frutas adaptam-se ao beneficiamento em campo, em especial aquelas mais sensíveis ao manuseio, como algumas frutas, folhosas e o morango. Outras podem ser beneficiadas tanto em campo, quanto em unidades de beneficiamento, dependendo do investimento disponível e da relação custo/benefício. Nas linhas de beneficiamento, os produtos em geral são mais bem visualizados e até classificados em equipamentos de precisão, de modo que podem ser muito bem selecionados. Por sua vez, em uma situação como essa, o produto pode ser exposto a uma maior incidência em danos físicos durante um número maior de movimentos e transporte. No campo, a seleção e classificação são em geral, manuais, conseqüentemente, mais sujeitas à subjetividade prática dos colhedores. Um exemplo característico é o tomate de mesa, que alguns anos atrás era beneficiado e classificado totalmente em campo, em bancadas de madeira localizadas no final dos carregadores, muitas vezes sem proteção contra chuva e sol, e embalado em caixas tipo K. Porém, com o aumento da demanda por produtos de qualidade, passou a ser beneficiado em máquinas de grande precisão. No entanto, deve-se ter em mente que o beneficiamento e classificação em unidades de beneficiamento não implicam obrigatoriamente o uso de máquinas; o sistema pode ser totalmente manual. Todavia, na grande maioria dos casos, observa-se esta interação com o uso de máquinas.

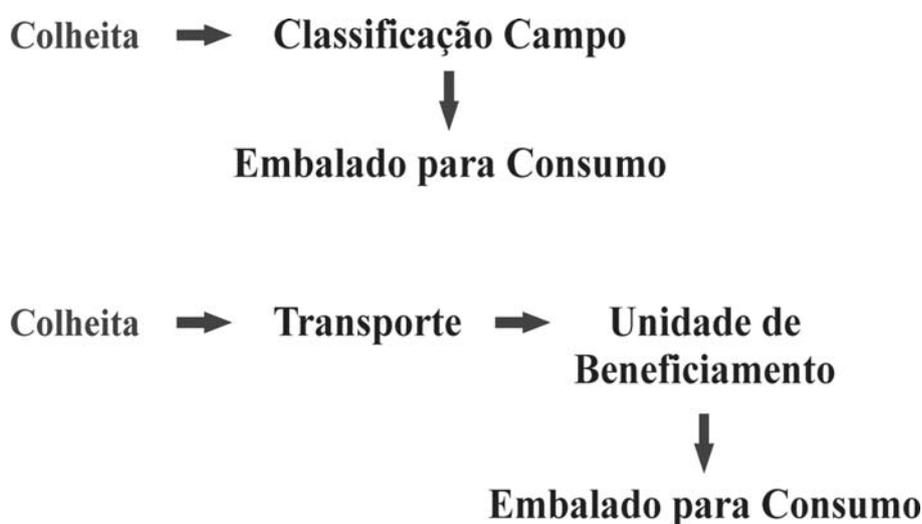


Fig. 1: Possibilidades de colheita e embalagem diretamente em campo ou através de uma unidade de beneficiamento e classificação.

¹- As unidades de beneficiamento móveis foram abordadas no capítulo anterior e são aplicadas em certas situações e para determinados produtos; este capítulo versa sobre unidades estáticas.

3. Unidades de beneficiamento e classificação - Etapas

O organograma (Fig. 2) dispõe as principais etapas de trabalho aplicadas na maioria das unidades de beneficiamento.

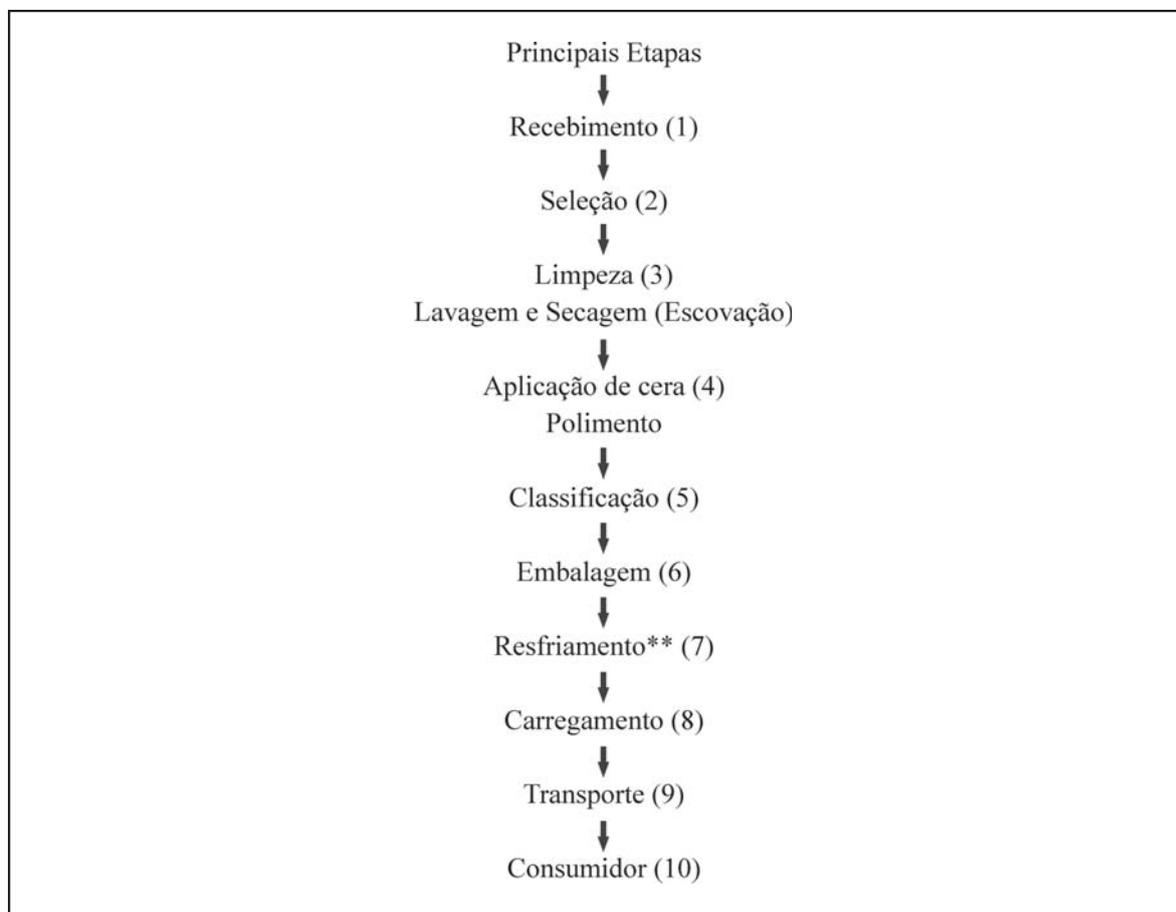


Fig. 2: Fluxograma de funcionamento de um galpão de beneficiamento de frutas e hortaliças.

**A etapa de resfriamento pode ocorrer antes ou depois da embalagem.

3.1 Recebimento

Esta etapa pode ser realizada a seco em esteiras (Fig. 3) ou em tanques de recebimento com água (Fig. 4). Em esteiras de recebimento, deve-se prestar atenção especial à incidência de danos físicos, podendo esta operação ser manual (Fig. 5) ou mecânica (Fig. 6). Em avaliações em linhas de beneficiamento, com recebimento manual, ficou diagnosticado que, nessa fase, ocorre a maior incidência em impactos, cuja intensidade depende exclusivamente do operador. A operação mecanizada pode ser automatizada tanto para caixas plásticas (Fig. 7) quanto para grandes caixas denominadas “beans” (Fig. 8).

No recebimento em tanques, a qualidade da água é fator crucial. A entrada de água e patógenos no interior do produto ocorre em medida variável. São especialmente sensíveis à infiltração de água e patógenos, produtos com lóculos (ex.: manga e tomate) e produtos com cortes e outras aberturas causadas por danos mecânicos. O problema de infiltração de água é agravado quando o produto é colocado em água mais fria que a temperatura da polpa. Produtos com elevada porcentagem de volume gasoso (baixa densidade) são mais susceptíveis aos danos causados pela infiltração de água de baixa qualidade.

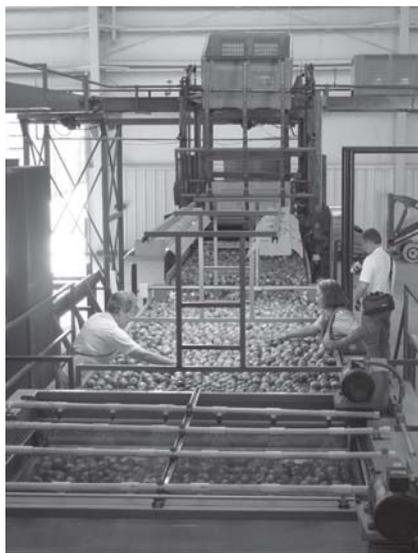


Fig. 3 e 4: Recebimento de pêssegos em esteira e batata-doce em tanques de água.
(Fotos: Marcos David Ferreira)



Fig. 5: Operação manual de descarregamento de limões.
(Foto: Marcos David Ferreira)

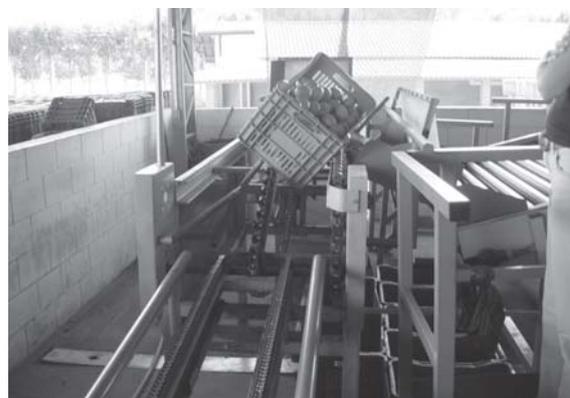


Fig. 6 e 7: Descarga mecânica de pêssegos e automatizada para laranjas, respectivamente.
(Fotos: Marcos David Ferreira)



Fig. 8: Descarregamento de tomates por sistema basculante.
(Foto: Marcos David Ferreira)

3.1.1 Pontos de transferência

Diversos produtos podem ser transportados através de esteiras ou roletes (revestidos ou não com cobertura plástica). Nesse transporte ocorrem as etapas de transferência (Fig. 9), em geral com pontos críticos, nos quais acontece maior incidência de impactos e conseqüentemente, danos físicos ao produto. Para diminuir esse problema, recomenda-se a utilização de protetores de impacto, tais como superfícies emborrachadas, roletes de espumas e “pequenas cortinas”, que possam diminuir a energia de impacto e o dano na transferência. O ajuste da velocidade das esteiras de funcionamento desses equipamentos também é um fator importante a ser ajustado para manter os danos mecânicos dentro de níveis aceitáveis.

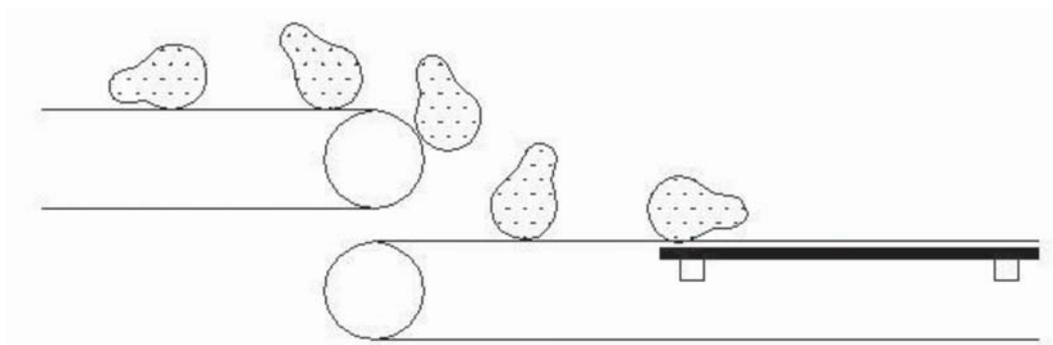


Fig. 9: Ilustração de um ponto de transferência, observando-se queda do produto, baseado em Kitinoja e Kader, (2002).

No Brasil, diferentemente de outros países, por exemplo, os Estados Unidos, não existe uma caracterização comercial difundida de superfícies protetoras utilizadas em linhas de beneficiamento e classificação para proteção na queda de frutos e hortaliças. Magalhães et al. (2007) avaliaram, para a redução na magnitude de impacto, oito diferentes superfícies protetoras: (1) Placa de borracha esponjosa de 9,5 mm (Figura 10); (2) Placa de borracha esponjosa de 6,5 mm; (3) Placa de E.V.A. (Etil Vinil Acetato) de 3 mm; (4) Courvim acoplado a espuma de 8 mm; (5) Lençol de borracha natural de 5,5 mm; (6) Lençol de borracha natural de 1,5 mm; (7) Bagun de 0,5 mm e (8) Placa de aço carbono de 5 mm. Observou-se que (1) borracha esponjosa de 9,5mm e (2) placa de borracha esponjosa de 6,5 mm reduziram as magnitudes de impacto medidas como aceleração (G , $m.s^{-2}$) por meio de esfera instrumentada com acelerômetro. As coberturas (3) e (4) demonstraram valores intermediários e (5), (6),

(7) e (8), valores mais altos. Os dois acolchoados com menor magnitude de impacto, em geral, são de maior custo por m², quando comparados àqueles que demonstraram valores intermediários para magnitude de impacto. Portanto, em uma implantação de protetores em linhas de beneficiamento é importante observar o custo do acolchoado e a relação com a altura de queda nas linhas de beneficiamento. Muitas vezes, pode ser mais interessante a utilização de um protetor de menor absorção e menor custo, reduzindo-se a altura de queda em pontos de transferência.



Fig. 10: Placa de borracha esponjosa de 9,5 mm, utilizada para amortização de impacto em pontos de transferência.
(Foto: Marcos David Ferreira)

Magalhães e Ferreira (2006) relatam que, em experimentos com tomates de mesa, a superfície de espuma reduziu a magnitude do impacto em aproximadamente 70%, para as alturas de queda de 10 e 20 cm e de 47% para a queda de 30 cm, quando comparada à superfície metálica. Por meio dos resultados obtidos, conclui-se que o uso de superfícies protetoras diminui significativamente os danos internos nos frutos.

3.2 Seleção

No Brasil, a seleção caracteriza-se pela retirada e eliminação antes da classificação de frutos danificados, deformados e com presença de doenças. A eliminação de frutos com doenças é importante, pois limita a sua disseminação. Como se trata de um trabalho repetitivo e constante, é necessário o posicionamento ergonômico do trabalhador para a operação. A seleção pode ocorrer no início do equipamento de beneficiamento (Fig. 11) ou, em alguns, casos, no final.



Fig. 11: Seleção de tomates de mesa em linha de beneficiamento
(Fotos: Marcos David Ferreira)

3.3 Limpeza

A etapa da limpeza é uma das principais no sistema de beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças, no que tange à sua influência no aspecto do produto. Dependendo da natureza do produto, a limpeza pode ser realizada de maneiras distintas. Algumas frutas não devem ser molhadas, como o caqui e também, certas hortaliças, por exemplo, cebola. O uso ou não da água no processo de limpeza, também, relaciona-se a preferências comerciais menos técnicas. Assim, por exemplo, a maior parte da batata comercializada no Brasil é lavada, enquanto que em outros países utiliza-se para limpeza apenas escovação a seco. O consumidor habituado ao produto lavado dificilmente comprará a batata escovada. A seguir, alguns pontos que merecem especial atenção na etapa de limpeza.

3.3.1 Água

Precisa ser de qualidade adequada, classe 1 (ANA, 2005) e disponível em quantidade e custo compatível. A lavagem pode ser realizada em tanques ou por meio de jatos de água, sejam esses na forma de spray ou de pequenas gotas de água (Fig. 12), ou em uma associação de duas alternativas: imersão em tanques e jatos de água, em geral nesta ordem. A lavagem dos frutos também pode ser realizada utilizando-se canos perfurados. Estudos recentes demonstram que o uso de bicos de spray proporciona uma economia na quantidade de água aplicada superior a 90% (SILVA et al., 2006) e também aumenta a eficiência do sistema de limpeza (SILVA et al., 2008).

A manutenção do funcionamento do sistema de limpeza precisa ser periódico, para que não ocorra o entupimento dos bicos utilizados para lavagem, prejudicando a eficiência dessa operação (FRANCO et al., 2004b), como se observa com frequência em vários galpões de beneficiamento.



Fig. 12: Etapa de lavagem de laranjas destinadas ao mercado fresco.
(Foto: Marcos David Ferreira)

A qualidade da água em uma linha de beneficiamento e classificação deve sempre ser monitorada. Amostragens de água em unidades de beneficiamento que apresentam teor considerável em matéria orgânica são indicativos de insatisfatória qualidade. A captação de água deve ocorrer distante de redes de esgoto ou de qualquer outra fonte de contaminação, como granjas de aves, por exemplo.

Sob o ponto de vista de quantidades relativas de água por quilo de produto, o uso de quantidade elevada de água, não indica maior eficiência no processo de lavagem e limpeza. Muitas vezes, menores quantidades de água, associadas à escovação, propiciam eficiente limpeza e substancial economia. No caso de recirculação de água para lavagem, então, o cloro como agente deve ser usado para conter a disseminação de patógenos no tanque de água e na linha de beneficiamento. As dosagens recomendadas para esse fim, em geral, estão entre 100-150 mg/L (ppm).

3.3.2 Escovas

Existem diversos modelos de escovas no mercado para utilização na etapa de limpeza e classificação. As cerdas podem ser de origem vegetal, sintética ou animal (Fig. 13 e 14).



Fig. 13: Cerdas utilizadas para confecção de escovas. Da esquerda para direita: cerda de náilon Preto, náilon branco, crina de cavalo, fibra de coco e sisal.

(Foto: Marcos David Ferreira)

As cerdas sintéticas de náilon, em geral, apresentam calibres variando de 0,15 mm a 0,30 mm. Nos últimos anos, tem-se observado um considerável uso de escovas de Polietileno Tereftalato (PET). Todavia, em estudos recentes, tem-se demonstrado que as cerdas dessas escovas possuem baixa flexibilidade, o que prejudica a eficiência de limpeza (MAGALHÃES, 2007). As cerdas de origem vegetal mais comuns são a fibra de coco e o sisal. Tanto cerdas de origem sintética como vegetal são mais utilizadas na etapa de lavagem. Cerdas de origem animal (crina de cavalo e rabo bovino), por outro lado, são mais usadas no polimento, após ou durante o processo de secagem e na aplicação de cera. Na etapa de secagem, utilizam-se escovas de espuma. Na etapa de lavagem, produtos com casca mais sensível recebem escovação com cerdas de origem sintética de menor calibre, por exemplo, 0,15 mm para o tomate de mesa. Produtos com casca mais resistente ou com alta agregação de terra são escovados com cerdas de náilon de maior calibre e/ou escovas com cerdas de fibra de coco. Cerdas de origem animal não aceitam molhamento e devem ser utilizadas para polimento em grande gama de produtos. As recomendações de cerdas e escovas são variáveis de acordo com a espécie, cultivar, estágio de maturação, e do equipamento utilizado. As escovas podem ser retas ou onduladas, sendo estas últimas, em geral, utilizadas na aplicação de ceras (Fig. 14).

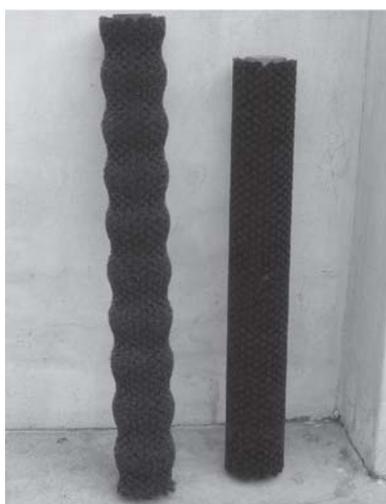


Fig. 14: Escovas com cerdas onduladas (esquerda) e cerdas retas (direita).

(Foto: Marcos David Ferreira)

3.3.3 Rotação de escovas

A rotação das escovas pode variar, dependendo da etapa e do produto. Estudos recentes demonstram que, para a etapa de limpeza, dependendo do tipo de cerda, a rotação de 120 rpm é a mais indicada (MAGALHÃES, 2007). Por sua vez, Peleg (1985) relata que uma inclinação de 5° na horizontal e uma velocidade de rotação de 150 a 200 rpm são normalmente satisfatórias para o bom funcionamento do sistema de lavagem. As variações nas recomendações de rotação podem estar relacionadas ao tipo de cerda e incidência de sujeira. Ferreira et al. (2005) observaram, em levantamento realizado em galpões de beneficiamento e classificação de tomate de mesa, que 4 dos 5 galpões estudados utilizavam escovas com cerdas de náilon no processo de lavagem de tomate de mesa, enquanto que uma unidade utilizava cerdas de crina de cavalo. Conforme já mencionado, as cerdas de crina de cavalo não são recomendadas para essa etapa e podem apodrecer em contato contínuo com água. Esses autores também relataram que a rotação utilizada na lavagem dos frutos variava de 46 a 168 rpm, de um galpão para outro. Rotações muito altas podem não proporcionar eficiência na limpeza e causar danos físicos aos frutos. Escovas mais novas aliadas a rotações mais altas podem causar danos físicos aos produtos.

3.3.4 Tempo de escovação

Para a limpeza adequada dos frutos, em geral, recomendam-se 20 segundos de escovação e, em alguns casos, até 30 segundos com rotação de 100 rpm (MILLER et al., 2001; WAGNER e SAULS, 2005). Franco et al. (2004a) observaram que o tempo de permanência dos frutos na etapa de limpeza varia em função do tamanho dos frutos. Frutos pequenos (65 a 70 mm) apresentaram um tempo de permanência de aproximadamente 2 min, enquanto frutos grandes (maior que 80 mm) levaram aproximadamente 3 min para percorrer a etapa de limpeza de um equipamento de beneficiamento de 10,94 m. Somente na etapa de lavagem, os frutos tiveram um tempo de permanência médio de aproximadamente 40 s. Silva et al. (2006) observaram que a eficiência de limpeza não está diretamente relacionada com o volume de água utilizado, mas sim à pressão da água, associada ao tempo de permanência dos frutos e à rotação das escovas. Vazões de $8,3 \times 10^{-6}$ e $13,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ apresentaram maiores índices de eficiência de limpeza; para o tempo de permanência de 1 minuto, a vazão de $13,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ apresentou maior eficiência de limpeza.

3.4 Aplicação de ceras

No Brasil, a aplicação de ceras é comum para frutas destinadas à exportação, por exemplo: limão, laranja e manga. No caso especial do limão, a não aplicação de cera ocasiona altas perdas, principalmente de água. Em geral, a aplicação de cera se dá por meio de spray, e, após isto, o produto passa por um túnel de secagem. Uma importante recomendação durante a secagem é que os frutos permaneçam estáticos e não rotacionem, pois movimentações anteriores à secagem podem causar manchas. No capítulo 6, são apresentadas maiores informações sobre aplicação de ceras em frutas e hortaliças.

3.5 Classificação

A classificação pode ser por (1) Diâmetro: frutas, bulbos e tubérculos e hortaliças em geral; (2) Peso: frutas e algumas hortaliças, por exemplo, tomate; (3) Cor: frutas e outros órgãos cuja maturação é acompanhada de variações na cor. Atualmente já existem equipamentos que eletronicamente separam para defeitos internos, externos e teor de sólidos solúveis (Brix).

Os equipamentos de classificação, grosso modo, podem ser divididos em sistemas mecânicos e eletrônicos. Os equipamentos de classificação mecânica em uso no Brasil, para frutas e hortaliças, classificam os produtos em tamanho mediante o uso de correia de lona furada, rolete transversal e longitudinal e taças ou bandejas. Os equipamentos com sistema eletrônico mais utilizados classificam por diâmetro, peso, cor e por eliminação de defeitos. Maiores informações sobre os sistemas de classificação são apresentados no capítulo 5.

3.6 Embalagens

A embalagem é o instrumento de proteção, movimentação e exposição do produto. A instrução normativa conjunta SARC/ANVISA/INMETRO nº 009, de 12 de novembro de 2002, estabelece as exigências para as embalagens de frutas e hortaliças frescas. As embalagens podem ser descartáveis ou retornáveis. Se retornáveis, devem ser higienizadas a cada uso. Se descartáveis, devem ser recicláveis ou de incinerabilidade limpa. Devem adicionalmente apresentar medidas paletizáveis, isto é, o seu comprimento e a sua largura devem ser submúltiplos de 1m por 1,2 m, a medida do palete padrão brasileiro (PBR). Devem também ser rotuladas, obedecendo à regulamentação do Governo Federal.

Rotulagem: Identidade do produto e identificação do produtor

O rótulo identifica o responsável pelo produto e a sua origem. Descreve o produto, utilizando as características estabelecidas pela norma de classificação. A rotulagem é obrigatória e regulamentada pelo Governo Federal.

Informações que devem constar no rótulo:

- Nome do cultivar da fruta ou hortaliça
- Nome do produtor
- Endereço – Bairro – Município – Estado - CEP
- Grupo de formato
- Grupo de coloração
- Grupo de durabilidade
- Subgrupo
- Apresentação
- Classe
- Categoria
- Data de embalagem
- Peso líquido
- Código EAN (opcional) – O código de barras é opcional, mas é fundamental para a obtenção e dos dados do rótulo nos processos automatizados.

3.7 Resfriamento

Frutas e hortaliças, em geral, possuem alta taxa metabólica, o que causa rápida perda na qualidade caso o produto não seja rapidamente resfriado para temperatura adequada de armazenamento e transporte. Infelizmente, no Brasil, a grande maioria das frutas e hortaliças não são adequadamente refrigeradas, exceção feita aos produtos de exportação. O resfriamento pode ocorrer antes ou depois da classificação, sendo mais utilizada a refrigeração posterior. No Brasil, os sistemas de resfriamento utilizados têm sido por ar-forçado e por água fria.

3.8 Carregamento

Importante a distribuição dos equipamentos, para proporcionar um melhor funcionamento e fluxo dentro da unidade de beneficiamento. A transferência das embalagens com o produto pós-classificado pode ser realizada manualmente ou por meio do uso de “palletesiras”, equipamento acoplado na parte inferior de um “pallet” (dimensões 1,00 x 1,20 m) (Fig. 15) para transporte desse até o interior do caminhão.



Fig. 15: “Pallet” utilizado para transporte de frutas e hortaliças

3.9 Transporte

O transporte do produto deve buscar manter a sua qualidade após a classificação. Condições de transporte inadequadas, sem a manutenção da cadeia do frio prejudicam a qualidade do produto final.

3.10 Consumidor

O consumidor está se tornando cada vez mais atento às condições que as frutas e hortaliças são produzidas e manuseadas. Para tanto, certificação de origem e qualidade tem sido utilizada para diversos sistemas de produção.

4. Unidades de beneficiamento e classificação - “Fluxo de funcionamento”

Importante que uma unidade de beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças possua um fluxo de funcionamento adequado, ou seja, que os produtos possam ser beneficiados continuamente, sem interrupções ou retornos desnecessários. A seguir, faz-se a demonstração de um fluxo ineficiente e de outro com maior eficiência de funcionamento (Fig. 16). Observar que, no fluxo ineficiente, existem um retorno dos produtos e uma mistura entre as etapas. Por sua vez, no fluxo eficiente, ocorre o desenvolvimento contínuo de todas as etapas, sem interrupções. Importante lembrar que, dentro da eficiência da produção, deve-se separar prioritariamente a linha em área suja e limpa; na primeira, ocorre o recebimento do produto e, na segunda, situa-se o produto em beneficiamento, finalizando com a embalagem.

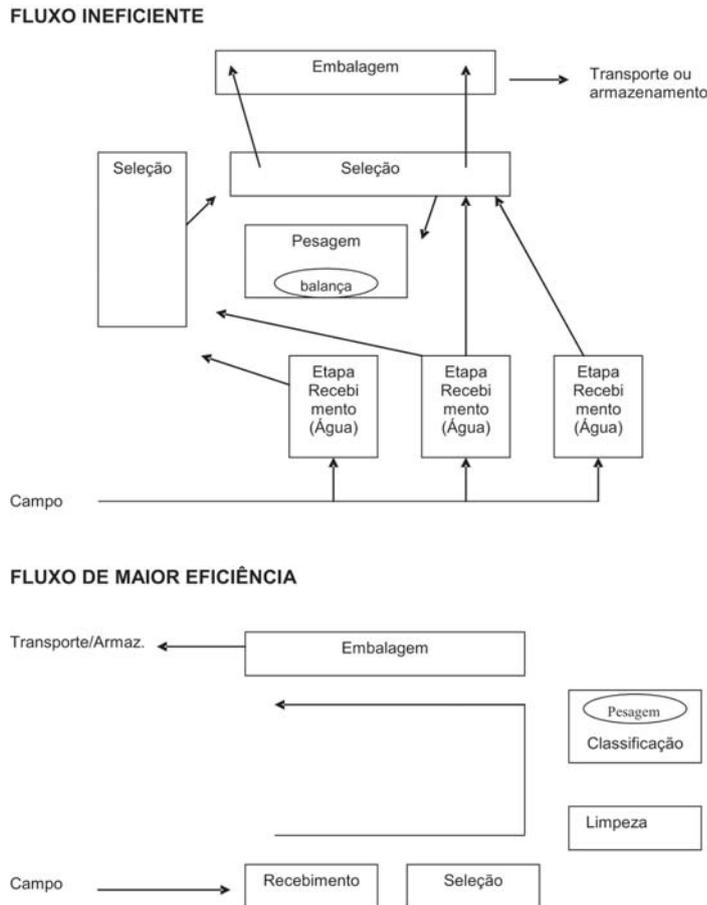


Fig. 16: Fluxos adequado e não-adequado no beneficiamento de frutas e hortaliças. Figura baseada em Kitinoja e Kader (2002).

Referências

- ANA - Agência Nacional das Águas. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água**. Brasília, DF, 2005. 44 p. (Caderno de Recursos Hídricos). Editor. M.P. Costa.
- FERREIRA, M. D.; KUMAKAWA, M. K.; ANDREUCCETTI, C.; HONÓRIO, S. L.; TAVARES, M.; MATHIAS, M. L. Avaliação de linhas de beneficiamento e padrões de classificação para tomate de mesa na região de Campinas, SP. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 4, p. 940-944, 2005.
- FRANCO, A. T. O.; FERREIRA, M. D.; TAVARES, M. Tempo médio de permanência do tomate de mesa na etapa de limpeza em uma linha de beneficiamento e classificação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004a. 1 CD-ROM.
- FRANCO, A. T. O.; FERREIRA, M. D.; TAVARES, M. Padrões de funcionamento para equipamento nacional de beneficiamento e classificação para tomate de mesa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004b. 1 CD-ROM.
- KITINOJA, L.; KADER, A. A. **Small Scale Postharvest Handling Practices: A Manual for Horticultural Crops**. 4. ed. [S. l.]: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 2002. 260 p.
- MAGALHÃES, A. M. **Eficácia de limpeza durante o beneficiamento do tomate de mesa**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, SP.
- MAGALHÃES, A. M.; FERREIRA, M. D.; BRAUNBECK, O. A.; ESTEVOM, M. V. R. Superfícies protetoras na diminuição de danos mecânicos em tomate de mesa. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 37, n. 3, p. 878-881, 2007.
- MAGALHÃES, A. M.; FERREIRA, M. D. Qualidade dos frutos de tomate de mesa quando submetidos a impacto por ocasião do beneficiamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 4, p. 481-484, 2006.
- MILLER, W. M.; WARDOWSKI, W. F.; GRIERSON, W. **Packingline machinery for Florida citrus packinghouses**. Florida: Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2001. 26 p. (Extension Bulletin 239). Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_AE184>. Acesso em: 11 mar. 2005.
- PELEG, K. **Produce handling, packing and distribution**. Westport: AVI Publishing, 1985. 625 p.
- SILVA, M. C.; TESTEZLAF, R.; FERREIRA, M. D. Proposta de um mecanismo de lavagem em equipamentos de beneficiamento de tomate de mesa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 2, p. 637-643, 2006.
- SILVA, M. C.; TESTEZLAF, R.; MAGALHÃES, A. M.; FRANCO, A. T. O.; FERREIRA, M. D. Otimização da eficiência de limpeza em equipamento de beneficiamento de tomate de mesa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP. 2008. no prelo.
- WAGNER, A. B.; SAULS, J. W. **Packingline operations**. Disponível em: <<http://aggie-horticulture.tamu.edu/citrus/l2292.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2005.



Capítulo 4

Avaliação da etapa de limpeza em sistemas de beneficiamento e classificação

Ana Maria de Magalhães
Marcos David Ferreira



1. Introdução

Um produto pronto para o consumo deve apresentar condições higiênico-sanitárias satisfatórias, ou seja, devem estar limpos: ausente de terra, resíduos de alimentos, sujidades e ou outras substâncias indesejáveis; e desinfetados: com um número reduzido de microorganismos, em um nível que não comprometa a segurança do alimento (BRASIL, 2003).

A limpeza é utilizada por razões sanitárias, pois muitos produtos recebem aplicação de defensivos agrícolas antes da colheita, muitos deles de alta toxicidade para o homem, mesmo em baixas concentrações. Assim, é necessária a sua remoção antes do embalamento (PELEG, 1985; ARTÉS e ARTÉS-HERNANDEZ, 2004). Por sua vez, Sigrist et al. (2002) definem que: “A limpeza consiste na remoção de partículas de solo ou outros materiais estranhos da superfície das frutas e hortaliças através da lavagem do produto. Muitas vezes são utilizadas escovas para facilitar a operação”. Alguns métodos que já foram testados para avaliação da eficácia de limpeza em sistema de beneficiamento serão considerados a seguir.

2. Métodos utilizados para avaliar limpeza

Na avaliação microbiana, Pao e Brown (1998) avaliaram a redução de microorganismos nas superfícies de citros durante o beneficiamento e observaram que, após a etapa de limpeza, houve uma redução na quantidade de microorganismos aeróbicos e fungos de 4 e 3,3 log CFU cm⁻² para 2,1 e 1,3 CFU cm⁻², respectivamente.

Michaels et al. (2003) verificaram a eficácia do processo de limpeza com relação à remoção de ceras e resíduos químicos de maçã, limão e pepino, fundamentando-se em um método onde o princípio da retirada de sujeira era baseado na aplicação de acetona. Outro método utilizado por esses autores para avaliar a eficácia de limpeza de maçãs foi verificar, após a limpeza, a presença de pesticidas organofosfóricos e organoclorados, por meio de análises em cromatógrafos a gás com detectores seletivos de nitrogênio fosfórico e com detectores de captação de elétron, respectivamente.

Nos últimos anos, foram desenvolvidas duas metodologias na Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, para a avaliação da eficácia de limpeza: análise com turbidímetro e análise com colorímetro. Para isso, foram utilizadas esferas de borracha com 70 mm de diâmetro e 235 g de massa, que simulavam frutos de tomate, nas quais foi aplicada uma sujeira artificial sintética.

A sujeira artificial foi preparada a cada dia de ensaio, por meio da homogeneização de 20 ml de polietileno de alta densidade com concentração 22,7% (Meghwax EPE 350N – Megh), 20 ml de têmpera de guache preta (Acrilex) e 6 g de carvão vegetal moído e peneirado, Tyler Mesh 48 (FRANCO et al., 2005). Para a aplicação da sujeira, cada esfera foi apoiada em um bécquer de 200 ml e realizou-se a aplicação da sujeira primeiramente em um lado da esfera; aguardaram-se 30 minutos para a secagem; só então se aplicou a sujeira do outro lado e aguardaram-se mais 30 minutos. A aplicação foi de apenas uma demão e com o auxílio de um pincel. Para mensurar a quantidade de sujeira aplicada em cada ensaio, a massa das esferas foi aferida antes e após a aplicação da sujeira, por meio de uma balança digital (Marte balanças e aparelhos de precisão Ltda, modelo AL500C), com capacidade máxima de 500 g e precisão de 0,01 g. A massa de sujeira (g) foi obtida pela diferença entre a massa inicial da esfera e a massa da esfera com a sujeira.

Para cada metodologia, foram utilizadas 30 esferas, divididas em 3 repetições com 10 esferas; em cada repetição foram adicionadas mais 14 esferas para completar quatro fileiras com seis esferas. As 24 esferas sujas e o controle foram colocadas aleatoriamente no equipamento, onde passaram pela etapa de limpeza do protótipo e permaneceram por um minuto, sendo 30 segundos em cada módulo. Nessa etapa, foram utilizadas escovas de náilon 0,15 mm e rotação de 100 rpm (0,58 m s⁻¹).

2.1 Análise com o colorímetro

Para avaliar a eficácia da etapa de limpeza por meio do colorímetro, utilizou-se um equipamento desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP (Fig. 1).

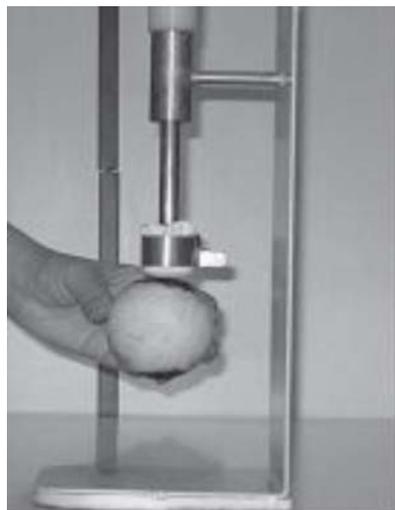


Fig. 1: Equipamento com peso constante e ponta arredondada desenvolvido para avaliar a eficácia de limpeza, após as esferas passarem pela etapa de limpeza no protótipo.
(Foto: Marcos David Ferreira)

O equipamento desenvolvido é dotado de um anel deslizante e uma ponta arredondada feita de espuma de 30 mm de diâmetro. Para avaliar a eficácia de limpeza, a ponta de espuma foi forrada com um tecido branco (Oxford), que foi friccionado por toda a superfície da esfera. As amostras de tecido utilizadas possuíam 100 mm de diâmetro, mas a parte de contato efetiva, era em média, de 30 mm de diâmetro. As amostras de tecido foram guardadas individualmente em uma embalagem plástica fechada (zip-lock) e, posteriormente, a área do tecido friccionada com esfera foi analisada no colorímetro (Minolta Hunter Lab, modelo 45/0-L), realizando-se a leitura do parâmetro L^* , que varia de 0 a 100, onde 0 indica o preto e 100, o branco (FRANCO et al., 2004), (Fig. 2).

Para criar um padrão de limpeza, realizou-se a leitura do parâmetro L^* das amostras de tecidos limpos, ou seja, antes de serem friccionados nas esferas.



Fig. 2: Etapas para determinação do índice de limpeza com o colorímetro; na seqüência de apresentação: esfera limpa, esfera suja, esferas no protótipo, fricção do tecido na superfície da esfera após passar pelo protótipo, amostra de tecido sujo e colorímetro.
(Foto: Ana Maria de Magalhães)

Os resultados foram relatados em função do índice de limpeza, descrito na equação 1, que varia de 0% = sujo a 100% = limpo.

$$IL_c = \left(\frac{L^*_{amostra}}{L^*_{padrão}} \right) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

onde:

IL_c = índice de limpeza obtido com o colorímetro, %;

$L^*_{amostra}$ = valor do parâmetro L^* para cada amostra (esferas que passaram pelo processo de limpeza);

$L^*_{padrão}$ = valor do parâmetro L^* para cada tecido antes de ser friccionado na esfera.

2.2 Análise com o Turbidímetro

Para avaliar a eficácia da etapa de limpeza por meio do turbidímetro, após passarem pela etapa de limpeza do protótipo, as esferas foram lavadas individualmente com 500 ml de água destilada, da qual se retiraram amostras para a análise de turbidez (Fig. 3).



Fig. 3: Etapas para determinação do índice de limpeza com o turbidímetro, na seqüência de apresentação: esfera limpa, esfera suja, esferas no protótipo, lavagem manual/individual das esferas após passarem pelo protótipo, amostra da água de limpeza e turbidímetro de bancada. (Fotos: Ana Maria de Magalhães)

Um índice de sujeira foi determinado por meio da análise de turbidez de 10 esferas totalmente sujas, ou seja, que não passaram pelo protótipo.

Todas as análises de turbidez foram realizadas no turbidímetro de bancada microprocessado (MS Tecnopon Instrumentação Científica, modelo TB 1000) com leitura de 0 a 100 NTU (número de turbidez) e precisão de 2%.

Os resultados foram dados em função do índice de limpeza, descrito na equação 2, que varia de 0% = sujo a 100% = limpo.

$$IL_t = \left(\frac{NTU_{\text{padrão}} - NTU_{\text{amostra}}}{NTU_{\text{padrão}}} \right) \times 100, \dots\dots\dots(2)$$

onde:

IL_t = índice de limpeza obtido com o turbidímetro, %;

$NTU_{\text{padrão}}$ = valor médio do número de turbidez do índice de sujeira (esferas sujas);

NTU_{amostra} = número de turbidez de cada amostra (esferas que passaram pelo processo de limpeza).

2.3 Comparação entre os métodos de avaliação

Magalhães (2007), avaliando os dois métodos aplicados a esferas, relatou que no ensaio com o uso do colorímetro, a quantidade de sujeira que restava nas esferas, posteriormente à limpeza, pode ser uma limitação para a avaliação da eficácia do processo, pois observou-se que a área do tecido utilizada para friccionar as esferas e avaliar o processo de limpeza ficava saturada após a retirada de uma determinada quantidade de sujeira e, a partir desse momento, não ocorria mais a retirada da sujeira, e o tecido começava a sujar novamente a esfera. Portanto, no método análise com o turbidímetro a eficácia de limpeza foi mais bem representada do que no método com o colorímetro. Todavia, alguns experimentos relatam resultados significativos para a aplicação da metodologia do colorímetro, em frutos de superfície lisa e com menor sujeira agregada, por exemplo, o tomate de mesa. Franco et al. (2004) utilizaram um colorímetro para avaliar a eficácia do processo de limpeza realizado por um equipamento de beneficiamento de tomate de mesa. Para isso, amostras de tecidos que foram friccionadas na superfície externa dos frutos, anterior e posteriormente ao processo de limpeza, foram analisadas com um colorímetro em escala CIELAB (L^* , a^* , b^*), onde a integralização desses três parâmetros em um diagrama tridimensional mostra a coloração do produto (MacGUIRE, 1992; SHEWFELT et al., 1988). Assim, os resultados foram expressos em termos de valor L^* e chroma $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$, onde L^* varia de 0 a 100, sendo 0 igual a preto e 100 igual a branco, e o chroma mostra a intensidade ou saturação de cor. Segundo esses autores, o método foi efetivo, pois os tomates que já haviam passado pelo processo de limpeza apresentaram o valor de L^* mais próximo a 100 quando comparado ao dos tomates que não passaram pelo processo de limpeza. O valor de chroma diminuiu, mostrando que houve uma redução na intensidade da cor e, conseqüentemente, a diminuição de impurezas.

Conclui-se que o método do colorímetro não representou a quantidade de sujeira que ainda restava nas esferas e, conseqüentemente, a eficácia do processo. Este método pode apresentar melhores resultados quando utilizado para avaliar a eficácia de limpeza para menores quantidades de sujeira. Todavia, é um método que pode apresentar algumas limitações. Já a análise realizada com o método do turbidímetro avaliou mais precisamente o processo de limpeza das esferas, sendo, portanto, o mais adequado para avaliar a eficácia do processo.

Agradecimento

Os autores agradecem ao Prof. Antonio Carlos Oliveira Ferraz, Feagri/Unicamp, pela contribuição às pesquisas as quais originaram os resultados apresentados neste capítulo.

Referências

ARTÉS, F.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Tratamientos postrecolección del tomate fresco: Tendencias e Innovaciones. In: NAMESNY, A. (Coord.). **Tomates: Producción y comercio**. [S. l.]: Ediciones de Horticultura S.L. Reus, 2004. Cap. 10. p. 109-120. ISBN: 84-87729-48-7.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/ Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/ Industrializadores de Alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 out. 2003.

FRANCO, A. T. O.; FERREIRA, M. D.; TAVARES, M. Avaliação do processo de limpeza do tomate de mesa em equipamento de beneficiamento e classificação nacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD-ROM.

FRANCO, A. T. O.; FERREIRA, M. D.; FERRAZ, A. C. O. Avaliação do processo de limpeza em protótipo do sistema UNIMAC*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Canoas: SBEA, 2005. 1 CD-ROM.

MACGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 2, p. 1254-1255, 1992.

MAGALHÃES, A. M. **Eficácia de limpeza durante o beneficiamento do tomate de mesa**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, SP.

MICHAELS, B.; GANGAR, V.; SCHATTENBERG, H.; BLEVINS, M.; AYERS, T. Effectiveness of cleaning methodologies used for removal of physical, chemical and microbiological residues from produce. **Food Service Technology**, [S. l.], v. 3, p. 9-15, 2003.

PAO, S.; BROWN, G. E. Reduction of microorganisms on citrus fruit surfaces during packinghouse processing. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 61, n. 7, p. 903-906, 1998.

PELEG, K. **Produce handling, packing and distribution**. Westport: AVI Publishing, 1985. 625 p.

SHEWFELT, R. L.; THAI, C. N.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 5, p. 1433-1437, 1988.

SIGRIST, J. M. M.; BLEINROTH, E. W.; MORETTI, C. L. Manuseio pós-colheita de frutas e hortaliças. In: CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. **Resfriamento de frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2002. 428 p.

Capítulo 5

Classificação de frutas e hortaliças

Marcos David Ferreira
Paulo Roberto Ferrari



1. Introdução

A classificação de frutas e hortaliças pode ser realizada manualmente ou por meio de equipamentos. Para a classificação manual, os operadores devem ser treinados e expostos a adequadas condições de iluminação, para o bom desenvolvimento do trabalho. O rendimento desse sistema é, em geral, menor do que o de um sistema mecânico ou automatizado; todavia algumas hortaliças e frutos de manuseio mais sensível ainda dependem de classificação manual.

Equipamentos de beneficiamento e classificação para frutas e hortaliças são amplamente utilizados no Brasil. Existem diversas empresas de maquinário para classificação espalhadas pelo país, em especial nas regiões sul e sudeste. Pode-se considerar que grande parte da indústria nacional de máquinas de classificação originou-se no município de Limeira, SP, derivada principalmente de fábricas de escovas de imigrantes italianos. Inicialmente, a maior demanda foi para equipamentos de classificação de laranja, devido à produção de citros naquela região. Pode-se considerar que a solidificação dessa indústria naquele município ocorreu na década de 70, com a fabricação de máquinas para outras frutas e hortaliças.

Os sistemas de classificação podem depender apenas de discriminadores mecânicos, ou de discriminadores ou sensores eletrônicos, que têm sido denominados: mecânico e eletrônico, respectivamente.

2. Sistema mecânico

A classificação por equipamentos pode ser dividida em dois principais tipos de sistemas: mecânico e eletrônico. Existem vários princípios mecânicos de classificação. Uma breve descrição dos equipamentos (5) mais comuns utilizados na classificação de frutas e hortaliças (FERRARI, 2006; PELEG, 1985) é apresentada a seguir.

2.1 Correia de lona furada

No funcionamento do equipamento, os frutos entram na máquina e caem conforme a furação da lona, ou seja, os menores, os intermediários e depois os frutos maiores (Fig. 1). Os furos de forma circular são indicados para frutos de forma arredondada, enquanto, para os frutos de forma esférica, o furo é definido segundo seu diâmetro ou comprimento, podendo ser elíptico. Existem também furações de forma hexagonal e quadrada, dependendo do tipo de produto.



Fig. 1: Classificador de lonas utilizado para classificação de tomate de mesa.
(Foto: Marcos David Ferreira)

2.2 Rolete longitudinal

A classificação realizada utilizando-se o calibrador de correia e rolete no sentido longitudinal à máquina é de funcionamento simples e muito comum no Brasil, em especial para frutas cítricas (Fig. 2). O mecanismo principal de classificação é composto de correia e rolete medidor. O rolo medidor é ajustado verticalmente para regular a altura (diâmetro) da saída lateral dos frutos menores no início da linha de classificação e, no final, dos maiores. A correia é inclinada para o lado do rolo e movimenta-se levando o produto até o rolete medidor, que por sua vez é rotativo, puxando assim o produto para a saída adequada ao seu diâmetro.



Fig. 2: Classificador em roletes longitudinais separando limões.
(Foto: Marcos David Ferreira)

2.3 Rolete transversal

O calibrador de rolete transversal é considerado por muitos produtores e técnicos, entre calibradores de sistema mecânico o mais eficiente na classificação dos produtos, pois possui um variador eletrônico de velocidade de rotação dos roletes, que possibilita mudar as condições de funcionamento do equipamento em função do tipo de fruta a calibrar e das suas condições (Fig. 3). Esse mecanismo de variação de velocidade de translação dos conjuntos de roletes incrementa a capacidade da linha e, com o sistema de giro dos roletes, posiciona os frutos, girando em torno do seu diâmetro maior, o que possibilita a calibração sempre pelo diâmetro maior. Além de poder variar a velocidade de translação, a velocidade de giro também é variável, o que possibilita a adaptação a todo tipo de fruto.



Fig. 3: Roletes transversais utilizados na classificação de citros.
(Foto: Marcos David Ferreira)

2.4 Taça ou bandeja

Esse tipo de equipamento é utilizado para classificar mecanicamente os frutos por meio da pesagem, sendo indicado para produtos com formatos diferentes, como pêssego e abacate, entre outros (Fig. 4). A classificação por peso pode ser realizada por meio de taça ou bandeja com transporte individual dos frutos ou em escala eletrônica com pesagem dos frutos em linha única. O calibrador de taça ou bandeja destinado a classificar os frutos mecanicamente, possui um sistema de classificação conhecido como “salto” para a pesagem do fruto. Nesse sistema, o fruto, após pesagem, é lançado da taça ou bandeja. Os equipamentos empregam um elemento medidor que impulsiona no lugar do salto. As taças ou bandejas são peças de um esticador de corrente, cujos elos fazem girar a estrutura de classificação do equipamento.



Fig. 4: Vista geral do classificador de bandejas
(Foto: Marcos David Ferreira)

2.5 Esteira de grades

Utilizada principalmente para bulbos e tubérculos, consiste em esteiras constituídas de material metálico de diferentes diâmetros e formatos (Fig. 5). Para tubérculos de batatas, o diâmetro da grade varia de acordo com o tamanho. Ferreira e Netto (2007) relatam variações de 40 a 45 mm em grades de classificação para batata.

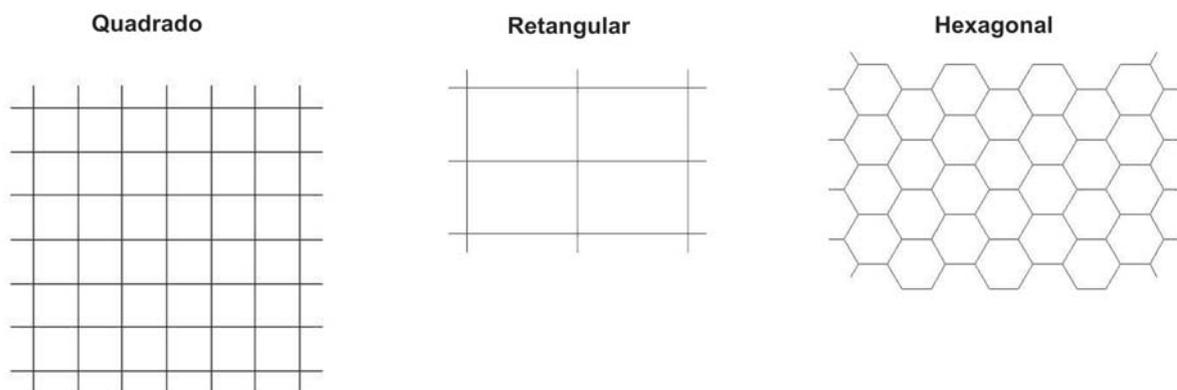


Fig. 5: Esteiras de grades utilizadas na classificação, em especial de tubérculos.

3. Sistema eletrônico

Os equipamentos com sistema eletrônico mais utilizados classificam por diâmetro, peso, cor e eliminação de defeitos. O sistema eletrônico possibilita a classificação dos frutos em vários critérios, como: peso – precisão de 1 g, diâmetro – precisão de 1 mm, cor, defeito, densidade e reconhecimento da forma (RODAMAF, 2005) (Fig. 6).



Fig. 6: Sistema de classificação eletrônico
(Foto: Marcos David Ferreira)

Em um calibrador, pode-se definir a classificação em até 16 calibres, 8 cores e 4 critérios de seleção, obtendo-se uma partida em 16x8x4, que totaliza 512 categorias possíveis. Alguns produtos necessitam de classificações com maior número de calibres e menor divisão para cores; outros necessitam de um número maior de classificações para cor, mas com menos calibres. Por sua vez, na prática nunca se necessita de tantas categorias assim, sendo difícil imaginar um calibrador com 512 saídas. Comumente, esse sistema é composto dos seguintes dispositivos: câmera, lente, lâmpada, filtro e microcomputador (HAHN, 2002).

Em geral, o maquinário nacional caracteriza-se pelo baixo índice de automação e uso intensivo de mão-de-obra, diferentemente de outros países, os quais optaram pelo uso de processos automatizados, pois o custo da mão-de-obra poderia tornar inviável a atividade de classificação. Esta situação no Brasil está modificando, devido ao aumento nos custos e encargos relativos ao empregado. Associa-se a isso uma demanda internacional por produtos de qualidade em um mercado extremamente competitivo.

Em meados da década de 90, iniciou-se uma demanda por equipamentos eletrônicos de maior precisão e rapidez importados tanto dos Estados Unidos, como da Europa e Argentina. A utilização de maquinários importados iniciou-se com os exportadores de frutas, e, posteriormente, de outros produtos. Considerando-se o tomate de mesa um exemplo ilustrativo, pois em aproximadamente uma década, ocorreu uma grande substituição de equipamentos de classificação mecânicos por equipamentos eletrônicos automatizados importados. Os maiores propulsores foram a equiparação cambial dólar/real no início da década de 1990 facilitando a importação e a concentração da produção por alguns agricultores, que se tornaram atacadistas comprando também de produtores menores.

Importante mencionar que, para o bom funcionamento do sistema de classificação, não deve ser levado em conta somente o maquinário, mas também o seu gerenciamento. Equipamentos eletrônicos não são garantia de uma classificação eficiente e, sim, a sua administração. Pesquisas recentes demonstram uma grande variação na eficiência de classificação em unidades de beneficiamento para tomate de mesa e citros, não só relacionada ao tipo de equipamento, mas também ao gerenciamento deste sistema. Outro desafio a ser vencido é a fabricação de máquinas de classificação que possam atender não somente o médio e grande produtor e o exportador, mas também o pequeno agricultor, com uma maior inserção dele no sistema. Portanto, pode-se concluir que, para o Brasil melhorar a conservação na pós-colheita e conquistar mercados, faz-se necessária a utilização de um sistema

de classificação eficiente, baseada no uso de equipamentos adequados e adaptados às nossas condições, com a realização de treinamento dos funcionários envolvidos.

Referências

FERRARI, P. R. **Avaliação da qualidade da classificação do tomate de mesa**. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

FERREIRA, M. D.; HENRIQUE NETTO, L. Avaliação de processos nas linhas de beneficiamento e classificação de batatas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 279-285, 2007.

HAHN, F. Multi-spectral Prediction of Unripe Tomatoes. **Biosystems Engineering**, London, v. 81, n. 2, p. 147-155, 2002.

PELEG, K. **Produce handling, packaging, and distribution**. [S. l.]: The AVI Publ. Comp., 1985. 625 p.

RODAMAF. **Optiscan II**: Manual de utilization. Valência: RODAMAF, 2005. 79 p.



Capítulo 6

Aplicação de ceras em frutas e hortaliças

Odilio Benedito Garrido de Assis
Marilene De Mori Morselli Ribeiro
Márcia Eiko Atarassi
Giuseppina Pace Pereira Lima
Marcos David Ferreira



1. Introdução

As perdas pós-colheita na produção e comercialização de frutas e hortaliças variam de 25 a 80%, dependendo do produto e da tecnologia aplicada. Essa situação é consequência de uma série de fatores conjugados, como a ausência de uma política específica no setor, a falta de conhecimento dos manipuladores e a aplicação de tecnologias adequadas para o transporte e conservação da qualidade do alimento.

Tecnologias simples ou combinações podem ajudar a reduzir consequências econômicas em qualquer ponto ao longo da cadeia, da produção ao varejo. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), frutas e verduras continuam a metabolizar suas próprias reservas depois da colheita. Além disso, produtos frescos podem ser infectados com microorganismos, que decompõem as células da fruta e levam à podridão. O meio mais comum de reduzir a atividade metabólica de frutas e microorganismos é o armazenamento a baixas temperaturas. Contudo, câmaras frias e transporte refrigerado nem sempre são disponíveis, devido não somente ao seu alto custo, mas muitas vezes à sua complexidade. Uma alternativa para auxiliar na redução das perdas pós-colheitas de alguns produtos frescos é a aplicação de cera em sua superfície, que apresenta grande potencial de uso no armazenamento e transporte, com diversos benefícios. Muitas frutas desenvolvem uma camada de cera natural sobre sua epiderme, por exemplo, maçã, uva, banana e manga, que pode ser sentida e observada como um pó sobre a superfície. Contudo, durante o manuseio, essa proteção natural é, em grande parte, removida. Assim, a aplicação de cera ajudaria a manter a qualidade do produto fresco, atuando como uma barreira que protege contra a entrada de microorganismos, além de reduzir a perda de massa e evitar que o produto tenha alterações na aparência e na textura.

Nos últimos anos, tem sido explorado o potencial de recobrimento de superfície para manter a qualidade do produto fresco e reduzir a quantidade de embalagens não biodegradáveis (MARTÍN-BELLOSO et al., 2005). A crescente importância comercial de frutas e hortaliças levou ao desenvolvimento de vários tipos de ceras para recobrimento, podendo se acrescentar outros produtos, como fungicidas, bactericidas e reguladores de crescimento. Segundo Wills et al. (1998), a utilização de ceras pode reduzir entre 30% e 50% a taxa de perda de água em condições comerciais. O uso de ceras mostrou-se eficaz na redução de perda de água em cereja, maracujá-amarelo e goiaba, proporcionando menor índice de murchamento e podridões, e mantendo a qualidade dos produtos (OLIVEIRA, 1996; MOTA, 1999; CARVALHO FILHO, 2000; OJEDA, 2001). Além disso, algumas ceras aumentam o brilho das frutas, sendo um atrativo para o consumidor.

2. Por que aplicar cera?

As frutas e hortaliças são organismos vivos com 80-90% de água em peso. A cera normalmente aparece quando a fruta atinge dois terços do seu crescimento. Se ocorrer a perda dessa camada protetora natural, a água começa a permear e evaporar rapidamente, resultando num produto desidratado, sem aparência de fresco. Para se obter uma vida prolongada de frutas ou hortaliças, é fundamental a prevenção da perda da água, mantendo os elementos vitais dos alimentos próximos aos do momento que são colhidos. Assim, o recobrimento da superfície tem sido empregado extensivamente para reduzir a perda de água, a difusão de gases, a movimentação de óleos e gorduras, a perda de sabores e aromas. Além disso, as coberturas melhoram as propriedades estruturais e a aparência externa do produto, e podem incorporar pigmentos, aromatizantes e aditivos (SALTVEIT, 1997).

A aplicação de ceras auxilia na redução das perdas pós-colheita, em especial quando realizada em conjunto com outras ações adequadas ao produto, como seleção de variedades, manuseio e beneficiamento cuidadoso, controle de doenças na pós-colheita, utilização de reguladores de crescimento, resfriamento, irradiação e operações de embalagens no armazenamento apropriadas.

3. Filmes e coberturas

Os filmes e coberturas comestíveis são aplicados em finas camadas de material sobre os alimentos, na forma de gel, por imersão ou pulverização. Após a evaporação do solvente, o depósito forma uma fina película sobre a superfície (CARVALHO FILHO, 2000). As coberturas podem ser usadas em frutos e hortaliças, tanto *in natura* (inteiros) como minimamente processados, para melhorar ou substituir algumas funções realizadas pelas camadas da epiderme natural.

As coberturas devem apresentar as seguintes características: serem de fácil mistura e aplicação, aderirem e serem estáveis na superfície do produto, serem razoavelmente transparentes, serem atóxicas, não terem sabor, não possuírem propriedades de textura que possam depreciar a qualidade do produto e não favorecerem o crescimento de microorganismos (BALDWIN et al., 1995; ASSIS e FORATO, 2007). A maioria das cutículas dos frutos repele água, dificultando a aplicação uniforme das películas. Desse modo, é necessário o uso de produtos que facilitem o espalhamento e adesão sem interferir nas propriedades principais das coberturas (SALTVEIT, 1997).

Segundo Carvalho Filho (2000), as películas comestíveis devem ser reconhecidas como seguras à saúde do consumidor, estar de acordo com as boas práticas de fabricação e dentro das exigências especificadas pela legislação vigente. No caso das frutas e hortaliças cuja casca é consumida, como a maçã e o caqui, são utilizadas ceras comestíveis de origem vegetal como de carnaúba. Nos frutos cujas cascas não são utilizadas, como a laranja e manga, podem ser utilizadas ceras sintéticas.

4. Tipos de coberturas

As coberturas comestíveis podem ser, de uma forma geral, classificadas em hidrofílicas e hidrofóbicas. As hidrofílicas são aquelas processadas a partir de materiais caracterizados por elevada afinidade por água, o que ocorre em função da predominância de grupos polares como as hidroxilas e amino em sua estrutura. Os grupos amino se dão por ligações covalentes (N-H), onde a eletronegatividade das ligações gera sítios de elevada polaridade tornando, assim, favoráveis o rearranjo e o estabelecimento de moléculas de água em torno desses sítios (ASSIS e SILVA, 2003).

Por sua vez, os revestimentos hidrofóbicos são geralmente à base de lipídeos ou proteínas e agem mais efetivamente como barreiras controladoras de umidade, e da permeação de oxigênio, dióxido de carbono, óleos e demais compostos voláteis, atuando eficientemente contra a deterioração natural. Essas coberturas são barreiras efetivas para o vapor de água, proporcionam brilho aos frutos, porém não apresentam resistência estrutural e durabilidade quando utilizadas isoladamente (HARDENBURG, 1967), sendo, muitas vezes, necessária a adição de plastificantes na composição (SCRAMIN et al., 2007).

Compostos sintéticos como a parafina, o polietileno e o PVA (acetato de polivinila), também são empregados isolada ou conjuntamente em uma ou mais camadas, ou em camadas compostas pela combinação de componentes.

Na Tabela 1, encontram-se listados os principais materiais empregados para o revestimento de frutas e hortaliças e suas principais ações, conforme apresentado na literatura, (em formulações sem aditivos) (ASSIS et al., 2008).

Tabela 1: Materiais usualmente empregados como revestimento e suas principais ações.

| Recobrimento | Principal ação |
|--|--|
| Alginato | Redução das perdas de água |
| Caseína /Monoglicérido acetilado Monoglicérido de ácido graxo | Barreira a gases, manutenção da cor |
| Amilose/ amilopectina | Barreira a gases; melhora da cor e da firmeza; ação antifúngica |
| Zeínas | Barreira a gases; redução de perdas de água, ação antimicrobiana e manutenção da firmeza |
| Pectina | Barreira a gases; ação antifúngica, manutenção da firmeza |
| Lipídeos | Barreira a gases; redução de perdas de água |
| Carboximetilcelulose (CMC) | Barreira a gases, manutenção da cor |
| Albúmen do ovo | Manutenção da cor e redução do escurecimento |
| Proteína do soro do leite | Barreira a gases; redução de perdas de água; manutenção da cor |
| Proteínas de soja | Barreira a gases; redução de perdas de água; manutenção da firmeza |
| Cera de carnaúba | Barreira a gases; redução de perdas de água; diminuição da desidratação superficial |
| Cera de abelhas | Barreira a gases; redução de perdas de água; diminuição da desidratação superficial |
| Quitosana | Ação antimicrobiana; manutenção da cor e redução do escurecimento |
| Goma xantana | Redução de perdas de água, diminuição da desidratação superficial |
| Carragenato | Redução de perdas de água |

Dentre os vários tipos de coberturas comestíveis, apenas alguns poucos são utilizados comercialmente e normalmente são resultantes de misturas de componentes de base lipídica, na forma de emulsões, feitas à base de ceras naturais como carnaúba, candelilla, cera de abelha; ceras derivadas de petróleo como polietileno, parafina e PVA e óleos vegetais e minerais. Esses compostos normalmente são misturados com resinas (goma laca e colofônia), que conferem brilho e diminuem as trocas gasosas (HAGENMAIER e SHAW, 1990, 1992).

Os lipídeos são biomoléculas de baixa solubilidade em água, mas solúveis em solventes não-polares. Normalmente, os lipídeos são associados a proteínas (lipoproteínas) e a carboidratos (glicolipídeos). Diferentemente dos polímeros, que apresentam estrutura repetitiva, os lipídeos podem ser representados como compostos que têm uma cadeia hidrocarbonada ligada a um grupo acil graxo, como estrutura básica, esquematicamente representada como R-COOH, onde R tem 10 ou mais átomos de carbono.

As ceras na realidade são misturas complexas de lipídeos não-polares e demais carboidratos, e podem ser classificadas, de acordo com a sua origem: (1) de origem animal: cera de abelha, cera de espermaceti, cera de Shellac; (2) de origem vegetal: cera de carnaúba, cera de candelilla, cera de cana de açúcar, cera de palma e cera de oricuri; e (3) de origem mineral e sintética: Ozoquerita, cera montânica e cera de polietileno.

5. Aditivos

Para a formação de uma emulsão com boas características de espalhamento sobre os frutos, fixação, secagem e estabilidade, é necessário utilizar emulsificantes, plastificantes, estabilizantes entre outros componentes. Assim, muitos compostos estão sendo pesquisados para melhorar as características das ceras, como a permeabilidade, brilho, resistência, flexibilidade e valor nutricional. Um exemplo são os plastificantes adicionados aos filmes comestíveis, que atuam como facilitadores de processo, pois reduzem a ligação interna do hidrogênio, enquanto aumentam o espaçamento intermolecular, gerando um filme menos frágil e mais flexível, aumentando a sua performance por reduzir as escamações e rachaduras, embora ocasionando uma maior permeabilidade à água (BALDWIN et al., 1995). Os plastificantes mais utilizados são os polióis, como o sorbitol e glicerol, mono, di ou oligosacarídeos, lipídeos e o ácido oléico.

Também são adicionados lipídeos e resinas às formulações para reduzir a liberação de gases e a perda de água, além de aumentar o brilho. Contudo, as frutas recobertas com resinas podem desenvolver uma cor esbranquiçada, devido à condensação, quando estocadas a frio e retirada a temperatura ambiente. Os emulsificantes e os estabilizantes mantêm as partículas lipídicas em suspensão fazendo que a emulsão fique estável e possa ser aplicada sem dificuldade. Normalmente, adiciona-se álcool para facilitar a dissolução das ceras na formação da emulsão e acelerar a secagem das coberturas após a aplicação. Muitos desses coadjuvantes não permanecem sobre o fruto após a aplicação, por serem voláteis.

As emulsões em água são mais seguras do que ceras em solvente, pois estas apresentam alto teor de inflamáveis. Os compostos normalmente utilizados são a cera de carnaúba, a cera de cana-de-açúcar, as resinas de breu modificadas e a Shellac. Contudo, o uso de breu é restrito, sendo aprovado somente em alguns países (RIBEIRO, 2007). As ceras vegetais são normalmente preferidas.

6. Cera de carnaúba

A cera de carnaúba é um produto natural extraído da carnaubeira (*Copernifera Cerifera*), espécie natural do nordeste brasileiro e tem sido aplicada sobre frutos e legumes desde a década de 1950. Esta cera possui uma estrutura lipídica complexa, cujo principal componente, segundo análises realizadas por Vandenburg e Wilder (1970), é éster de melissil ceronato (38-40%), seguido de diésteres p-hidroxicinâmico alifático (20-23%); ésteres ω -hidroxi-alifático (12-14%); álcoois mono-hídricos (10-12%); diésteres p-metoxicinamato alifático (5-7%) e demais combinações de hidrocarbonetos (5-7%).

A cera de carnaúba é também conhecida como “Cera do Brasil” ou “Cera de Palma”. É uma cera dura, quebradiça fundindo-se entre 83 a 86°C e solúvel em éter, benzina e aguarrás.

Comercialmente, são encontradas com nomes fantasia e em diferentes concentrações como: Citrosol, Meghwax, Cleantex, Carbin, Ceraflor, Fruit wax, Citrine, entre outros, e são classificadas de acordo com sua coloração ou pureza em: Tipo 1, de coloração amarelada-clara; Tipo 2, de coloração amarelo-laranja; Tipo 3, de coloração parda e a Tipo 4: parda tirante a negra.

7. Ação do revestimento

Um fruto ou um legume, assim como qualquer produto alimentício, está, em condições naturais, envolto por uma atmosfera gasosa composta de oxigênio, dióxido de carbono e nitrogênio, além de estar exposto a ações de temperatura e de incidência de luz. Mesmo após a colheita, frutos e vegetais continuam a respirar, transpirar e produzir hormônios de amadurecimento, alterando o equilíbrio inicial, o que resulta em variações nas concentrações de dióxido de carbono, oxigênio, água e etileno ao longo da estocagem. Flutuações na composição gasosa nem sempre resultam em influência negativa nas características de cor, textura ou qualidade nutricional (LEE et al., 1995). Sob condições ideais, a maioria das plantas, incluídos seus frutos, respira aerobicamente. A respiração aeróbica envolve a quebra de moléculas de carboidratos obtidos durante a fotossíntese. A queima lenta desses compostos ricos em energia, dos quais um dos mais simples é a glicose, constitui atividade metabólica bem conhecida e é usada na formação de adenosina trifosfato (ATP). Durante o processo respiratório normal, a

planta usa o oxigênio da atmosfera como um acceptor de elétrons no processo de fosforilação e libera dióxido de carbono.

Quando o fruto é colhido, há uma interrupção neste balanço gasoso, ocorrendo um alto influxo do oxigênio com proporcional perda do CO_2 . Nessa nova condição (alta concentração de O_2 com baixa de CO_2), as células internas não são mais renovadas e a respiração aumenta (no caso dos frutos climatéricos), o que provoca uma queda metabólica levando o fruto a um gradual amadurecimento.

Com a aplicação de revestimentos, tem-se a formação de uma cobertura com preenchimento parcial dos estômatos e das lenticelas, reduzindo-se, dessa forma, a transferência de umidade (transpiração) e as trocas gasosas (respiração). Como o início do processo de maturação está estreitamente associado ao aumento na produção de etileno e considerando-se que O_2 é necessário para a sua produção, a redução da permeação de O_2 para o interior do fruto gerará uma correspondente redução na produção de etileno (QI et al., 1999), o que permite, em princípio, prolongar a vida do fruto. Deve ser observado que uma redução significativa de O_2 pode acarretar uma mudança para a respiração anaeróbica, resultando, ao longo do tempo, um aumento de metabolismos indesejáveis, principalmente a ocorrência de fermentação (SOLOMOS, 1997).

Em alguns produtos vegetais, a desidratação superficial é que é o principal responsável pela alteração de cores e fuga de solutos. Esse fenômeno se traduz na perda de massa, o que geralmente ocorre pela saída na forma de vapor de água para o meio circundante, sendo neste caso as substâncias hidrofóbicas, como as ceras, aplicadas com vantagens (BALDWIN et al., 1995). A Figura 1 resume as principais trocas que ocorrem na superfície.

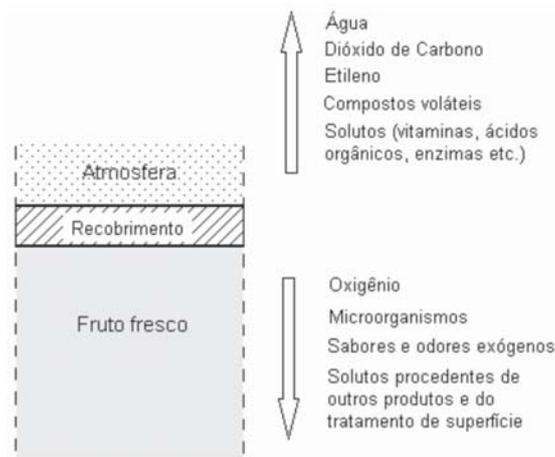


Fig. 1: Fenômenos de transporte que se estabelecem entre superfícies frescas e o ambiente externo. Baseado em Martín-Belloso et al. (2005).

8. Métodos e aplicação

Existem quatro métodos principais de encerar frutas e vegetais:

1. Método da parafina líquida

Neste método, as frutas e os vegetais são mergulhados na parafina quente. Alguns tipos de resinas são adicionados. A sua desvantagem é a camada espessa do material a ser usado.

2. Método de cera sólida

Neste caso, a cera é pressionada rapidamente contra escovas rotativas, sendo a eficiência menor.

3. Método *spray*

É aplicado *spray* da cera fundida sobre a fruta, que é polida mecanicamente. A cera é dissolvida em solvente.

Um bom recobrimento depende de: pressão empregada, volume de cera usada, temperatura da cera, distância da fruta do *spray* e quantidade de bicos do *spray*.

4. Método de cera em emulsão *spray* ou mergulho

Frutas e vegetais são lavados e secados. Só então é realizada a aplicação da emulsão de cera por *spray* ou mergulho. Os frutos recobertos pela cera são levados por esteira e secados num forno com ventilação a 40°C, e depois selecionados por tamanho e embalados.

9. Resultados de aplicação de ceras em frutas e hortaliças

Em frutas

Avaliou-se o efeito da aplicação de cera na qualidade de frutas (laranja pêra, limão, tangerina ponkan, caqui e manga) em alguns ensaios conduzidos em laboratório, na faculdade de Engenharia Agrícola-Unicamp, Campinas. Frutas foram selecionadas, para uniformidade de tamanho e cor, e em seguida, lavadas em água corrente, secadas com papel-toalha, numeradas e medidas. Para a aplicação de cera, as frutas eram dispostas sobre 3 escovas de náilon, que giravam a 100 rpm enquanto a cera era aplicada durante 30 segundos, por meio de um sistema composto por bomba hidráulica, tubulação e bico de aplicação com vazão de 4,4 litros por hora, e altura de aplicação de 25 cm (Fig. 2). Na seqüência, as frutas eram submetidas ao polimento por 30 segundos em escovas de náilon e secadas com um aquecedor elétrico durante 10 minutos. Após a aplicação da cera, é muito importante que o filme seja secado antes de qualquer manuseio, pois, caso contrário, a superfície torna-se opaca e pouca atrativa ao consumidor. A armazenagem das frutas foi em temperatura de 24°C±1°C durante 14 dias.

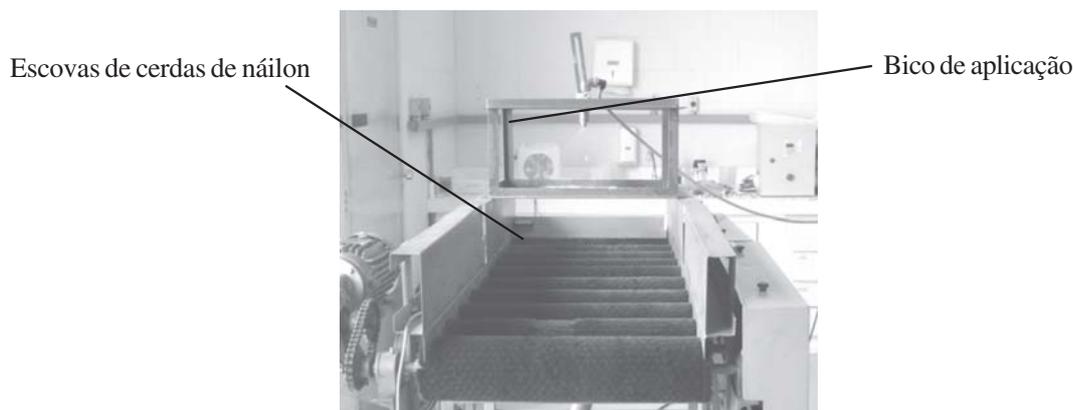


Fig. 2: Equipamento para a aplicação de cera e polimento

A cada dois dias, os frutos eram pesados e alterações na coloração avaliadas (parâmetros L, a* e b*) por meio de um espectrocolorímetro MiniScan XE Plus modelo 45/0-L, Hunter Associates Laboratory em dois pontos em cada fruto.

Em geral, observou-se que as frutas protegidas pela cera tiveram menor perda de massa em relação aos frutos sem sua aplicação, após 14 dias de armazenamento. Na aplicação de cobertura, com 18% de emulsão de cera de carnaúba (A), no caqui Fuyu, observou-se que, enquanto os frutos sem cera perderam 5,68% de massa, as frutas enceradas perderam 3,18%. Quando se diluiu a cera em 50% de água, a perda foi reduzida a 3,50%. A aplicação das coberturas: (A) 18% de emulsão de cera de carnaúba; (B) Cobertura comestível, emulsão de ceras de polietileno e carnaúba a 18%, e (C) emulsão de cera de polietileno e resina colofônia a 18% na laranja-pêra e na tangerina Ponkan causou o mesmo efeito na conservação da massa das frutas. Para as laranjas sem cera, a perda foi de 7,89% e, nas frutas com cera, foi de 4,40% em média; no caso das tangerinas apenas lavadas, o valor foi de 10,29%, enquanto as frutas enceradas perderam 4,80%. O limão Tahiti e a manga Tommy tiveram a melhor conservação de massa quando receberam a cera (A). O limão teve perda de massa de 5,23%, enquanto os frutos

sem cera perderam 11,08%; as mangas tiveram perda de 3,80% e os frutos somente lavados perderam 8,48%. Nas mangas, a cera (B) teve o mesmo desempenho que a cera (A).

Observou-se que a cera teve influência também na conservação da firmeza do caqui Fuyu e da manga Tommy: pois os frutos com cera tiveram menor porcentagem de descarte, isto é, de fruto inadequados para comercialização devido a amolecimento. Importante parâmetro de qualidade. O caqui teve 56% de descarte dos frutos sem cera, enquanto os frutos em que se aplicou a cera (A) tiveram 24%. A diluição da cera (A) em 75% de água fez que 12% dos frutos fossem descartados após 14 dias. A manga teve 56% dos frutos sem cera descartados, e os frutos que tiveram a aplicação da cera (A) foram descartados em 32% após 12 dias.

Em geral, a aplicação de cera forneceu uma conservação da aparência externa destas frutas.

Em hortaliças

A aplicação comercial de cera de carnaúba em tomate de mesa ocorre tanto no Brasil como em outros países, proporcionando uma melhor conservação na pós-colheita, com a redução na perda de massa e manutenção da aparência externa. Chiumarelli e Ferreira (2006) avaliaram diferentes coberturas comestíveis sobre a qualidade pós-colheita do tomate de mesa, cultivar Débora, utilizando as seguintes coberturas: cera de carnaúba Fruit Wax H2 (18%), emulsão de resinas Fruit Wax M-AC (18%) e cera de carnaúba Megh Wax ECF-124 (18%). Após a limpeza e aplicação das ceras, os frutos foram armazenados a 12,5°C e 25°C e 90% de umidade relativa. O tratamento com Megh Wax ECF-124 proporcionou menor perda de massa e frutos mais firmes em ambas as temperaturas. A aplicação de cera contribuiu para uma diminuição na perda de massa e decréscimo no número de frutos descartados devido a danos físicos e podridões, sendo Megh Wax ECF-124 mais eficiente na manutenção da qualidade de tomates de mesa.

10. Legislação ^{1, 2, 3}

Este capítulo não se aprofunda no tema legislação, mas tão somente fornece algumas informações aos interessados que podem auxiliá-los neste assunto.

O Food and Drug Administration (FDA) regula as ceras (part 172.210) e a Comunidade Européia as ceras E901, E-903 e E-904. As ceras descritas acima são aprovadas ou reconhecidas como seguras para consumo humano. Contudo, alguns consumidores têm restrições ao seu uso.

Vegetarianos e outros que evitam produtos de origem animal não irão consumir as frutas e vegetais que contêm ceras de origem animal e ou emulsionantes, como ácido oléico.

Em 1994, entrou em vigor no regulamento do FDA que a fruta e legume encerrados sejam identificados por uma etiqueta. Também é permitido que seja informado que não há nenhuma cera na fruta fresca e/ou vegetal. Atualmente, na área de tecnologia de alimentos estudam-se novos recobrimentos de filmes comestíveis, baseados em plantas. Os interessados nos padrões de qualidade de aditivos utilizados em alimentação devem consultar o Food Chemicals Codex (FCC), compêndio de reconhecimento internacional, o qual estabelece padrões para substâncias utilizadas em produtos alimentícios, permitindo a sua aplicação mundialmente por indústrias, usuários, etc.

Referências

ASSIS, O. B. G.; FORATO, L. A.; BRITTO, D. Revestimentos Comestíveis Protetores em Frutos Minimamente Processados. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 22, n. 160, p. 99-106, 2008.

Para maiores informações sobre legislação acessar:

(1) Regulamento (CEE) n.º 2092/91, de 24 de junho de 1991, relativo ao modo de produção biológico de produtos agrícolas e à sua indicação nos produtos agrícolas e gêneros alimentícios ([http://www.catim.com/legislacao/DOCS/Reg%20\(CE\)%202092%20de%201991.pdf](http://www.catim.com/legislacao/DOCS/Reg%20(CE)%202092%20de%201991.pdf)).

(2) CNNPA - Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos determina na resolução CNNPA n.º 23/68 sobre aditivos, CNNPA n.º 23/68 Artigo 6º Decreto 55.871, de 26 de março de 1965, item 5.1.6.2 da Resolução 23, de 15 de março de 2000 (http://www.anvisa.gov.br/alimentos/aditivos_farmaco.htm)

(3) Para o Mercosul, Resolução n.º 05 de 2007 do Subgrupo de Trabalho n.º 3 –Regulamento Técnico Mercosul sobre “Lista positiva de aditivos para materiais plásticos destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos” (www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/CP/CP%5B19415-1-0%5D.PDF)

ASSIS, O. B. G.; FORATO, L. A. A pesquisa em filmes comestíveis na Embrapa Instrumentação Agropecuária. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 3., 2007, Londrina, PR. **Anais do III Workshop da Rede de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. p. 53-55.

ASSIS, O. B. G., SILVA, V. L. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. **Polímeros**, São Carlos, v. 13, n. 4, p. 223-228, 2003.

BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M. O.; BAKER, R. A. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 35-38, 1995.

CARVALHO FILHO, C. D. **Avaliação da Vida de Armazenagem e Qualidade de Cerejas (*Prunus avium* L.) cv. Ambrunés, com a Utilização de Coberturas Comestíveis**. 2000. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – FEAGRI, UNICAMP, Campinas.

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

CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M. D. Qualidade pós-colheita de tomates 'Débora' com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 383-387, 2006.

HAGENMAIER, R. D.; SHAW, P. E. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and (hydroxypropyl)methylcellulose. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v. 38, p. 1799-1803, 1990.

HAGENMAIER, R. D.; SHAW, P. E. Gas permeability of fruit coating waxes. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 117, p. 105-109, 1992.

HARDENBURG, R. E. Wax and related coatings for horticultural products: A bibliography. **Agricultural Research Service Bulletin**, Washington, n. 15 p. 51-55, 1967.

LEE, L.; ARUL, J.; LENCKI, R.; CASTAIGNE, F. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: Physiological basis and practical aspects – Part 1. **Packing Technology and Science**, [S. l.], n. 8, p. 315-331, 1995.

MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. C.; BALDWIN, E. A. Conservación mediante recubrimientos comestibles. In: GONZÁLEZ-AGUILAR, et al. (Ed.). **Nuevas Tecnologías de Conservación: Productos Vegetales Frescos Cortados**. [S. l.: s. n.], 2005. cap. 15. p. 340-356.

MOTA, W. F. **Conservação Pós-Colheita do Maracujá-Amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flaricarpa Deg.*) Influenciada por Ceras e Filme Plástico**. 1999. 58 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OJEDA, R. M. **Utilização de Ceras, Fungicidas e Sanitizantes na Conservação de Goiabas 'Pedro Sato' sob Condição Ambiente**. 2001. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, M. A. **Utilização de Película de Fécula de Mandioca como Alternativa à Cera Comercial na Conservação Pós-Colheita de Frutos de Goiaba (*Psidium guajava*)**. 1996. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba.

QI, L.; WU, T.; WATADA, A. E. Quality changes of fresh-cuthoneydew melons during controlled atmosphere storage. **Journal of Food Quality**, Wastport, n. 22, p. 513–521, 1999.

RIBEIRO, M. M. M. Comunicação Pessoal. 2007.

SALTVEIT, M. E. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: TOMÁS-BARBERÁN, F. A. (Ed.). **Phytochemistry of Fruit and Vegetables**. [S. l.]: Oxford University Press, 1997. p. 205-220.

SCRAMIN, J. A.; BRITTO, D.; ASSIS, O. B. G.; COLNAGO, L. A.; FORATO, L. A. Surface wetting and DMA characterization of zein/oleic acid based films. In: INTERNATIONAL MACROMOLECULAR COLLOQUIUM - IMC, 11.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES - ISNaPol, 6., 2007, Gramado, RS. Natural polymers and composites. **Resumos...** [São Carlos: ABPol, 2007]. não paginado. 1 CD-ROM. Paper 117.

SOLOMOS, T. Principles underlying modified atmosphere packaging. In: WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits & vegetables**. New York: Chapman and Hall, 1997. p. 183-225.

VANDENBURG, L. E.; WILDER, E. A. The structural constituents of carnauba wax. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Chicago, v. 47, n. 12, p. 514-518, 1970.

WILLS, R.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Postharvest of Fruit, Vegetables, and Ornamentals**. 4th ed. [S. l.]: UNSW, 1998. 262 p.



Capítulo 7

Aspectos ergonômicos e de segurança laboral em unidades de beneficiamento de frutas e hortaliças

Celso de Oliveira Braga
Ivan Augusto Vall Ribeiro
Marco Antonio Martins
Roberto Funes Abrahão
Mauro José Andrade Tereso



1. Introdução

Ainda se configuram raros os estudos sobre os riscos ocupacionais e sobre as exigências laborais em Unidades de Beneficiamento (UB) de produtos agrícolas. Essa lacuna justifica a utilização dos conceitos da Ergonomia para que se conheça mais sobre as dificuldades e os riscos nas atividades de trabalho desenvolvidos em UB.

Simcox et al. (2001) relataram que o Departamento de Saúde Ambiental da Universidade de Washington investigou os riscos de lesões osteomusculares na indústria de embalagem de frutas com o objetivo de compreender a natureza desses riscos e prover informações aos empregadores e empregados para ajudar no desenvolvimento de mecanismos de controle. Realizaram-se avaliações ergonômicas nas atividades de classificação, embalagem e separação em três unidades de beneficiamento de maçã em Washington. Foram caracterizados e analisados os fatores de risco para seis tipos de trabalho de embalagem. Atenção particular foi dada às operações de empacotamento manual e semi-automático e enchimento de bandejas. Várias tarefas apresentaram pelo menos um fator de risco na zona de perigo.

Kader (2002) avaliou a seleção manual de uma linha de beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças nos Estados Unidos. Suas sugestões concentraram-se em aspectos do projeto, tais como: o espaço adequado para o pessoal de seleção; a velocidade da correia transportadora, que deve ser variável para ajustar as diferenças na qualidade do produto e para uma seleção mais precisa; a esteira de transporte, que deve permitir aos operadores uma visão adequada da superfície do produto; plataformas ajustáveis, para que os trabalhadores possam operar em uma altura confortável em relação ao transportador e estar menos sujeitos à fadiga. Os postos de seleção devem ser projetados para evitar que as pessoas fiquem com os braços alongados. Uma confortável área de trabalho permite que as pessoas trabalhem com seus braços superiores posicionados próximo à vertical e seus antebraços, próximo à horizontal.

Burkhardt e O'Brien (1979) pesquisaram uma mesa de classificação desenvolvida para a indústria de processamento de tomates na Califórnia, que poderia ser utilizada para outras frutas e vegetais. Este estudo focou as dimensões da máquina e a posição dos dispositivos de controle, em função de dados antropométricos, de modo a aumentar o conforto dos trabalhadores e a produtividade nas mesas de classificação mecanizadas de frutas e vegetais.

Studman (1998) realizou um estudo ergonômico sobre a classificação da maçã com trabalhadores da Nova Zelândia. Verificou que as dimensões da mesa de seleção obrigavam os selecionadores a realizar freqüentes movimentos dos braços para além de seu alcance de trabalho. Os operadores relataram maior desconforto ao final de seus turnos, com dores no pescoço e ombros. O desconforto foi consideravelmente menor nos trabalhadores que operaram nas mesas menos largas. A mesa de seleção também era muito alta. A colocação de estrados permitiu que os operadores trabalhassem com mais conforto.

Ribeiro (2007) estudou Unidades de Beneficiamento de Tomate no Estado de São Paulo e procurou avaliar o risco de lesão do sistema osteomuscular dos trabalhadores envolvidos com a movimentação manual de cargas. Utilizou a equação do *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), que determina o Limite de Peso Recomendado (LPR) para movimentação de cargas, e o Diagrama de Áreas Dolorosas para identificar as áreas do corpo que apresentaram desconforto após a jornada de trabalho. Em todos os casos estudados, o peso real da carga movimentada manualmente superou o limite de peso recomendado. O volume de produção, o tipo de tecnologia empregada e o número de trabalhadores disponível para executar as tarefas de MMC foram determinantes nos resultados obtidos no Limite de Peso Recomendado. O Diagrama de Áreas Dolorosas identificou extremo desconforto na área posterior do tronco, ombros, braços e antebraços, corroborando os resultados obtidos pela equação do NIOSH.

Braga (2007) utilizou o Método NASA TLX para avaliar as exigências físicas e mentais e o Questionário de Avaliação Visual (QAV) para avaliar as exigências visuais nos postos de seleção de Unidades de Beneficiamento de Tomates. Os resultados revelaram que a exigência mental foi elevada nos postos de seleção da maioria das UB. A exigência visual foi elevada nas UB com baixos níveis de iluminamento. A exigência física foi alta para os operadores dos postos de alimentação de todas as UB. As exigências laborais dos postos de trabalho estão relacionadas ao nível tecnológico dos equipamentos, ao grau de mecanização no processo de produção, ao projeto e layout do galpão, aos fatores ambientais e à organização do trabalho nas UB.

Martins (2007) identificou uma série de fatores de risco em Unidades de Beneficiamento de Tomate de Mesa no Estado de São Paulo e desenvolveu uma lista de verificação relativa a aspectos de ergonomia e segurança do trabalho.

O estudo do trabalho humano nas unidades de beneficiamento (UB) reveste-se de especial relevância, já que permite a análise dos aspectos organizacionais, ergonômicos e de segurança laboral, com vistas a uma melhor configuração das tarefas e dos ambientes de trabalho, numa perspectiva que considera tanto a saúde dos trabalhadores como a eficiência das operações.

2. Movimentação manual de cargas em unidades de beneficiamento

O processo de beneficiamento é composto de várias etapas, e em algumas delas a Movimentação Manual de Cargas (MMC) apresenta-se de forma intensa, seja pelo peso das cargas movimentadas, pelo ritmo (frequência de levantamentos), seja pela associação de dois ou mais fatores.

A MMC em UB pode ser mais ou menos intensa conforme o nível de mecanização empregado para movimentar as cargas. Existem etapas do processo que possuem dispositivos que dispensam o uso de força física, como no caso do traslado de paletes, em que se usam paleteiras elétricas ou empilhadeiras. No entanto, em algumas fases do processo o uso de força física é indispensável, pois não existe tecnologia disponível no mercado brasileiro para substituí-la. Numa UB, a movimentação manual de cargas pode ocorrer no descarregamento dos caminhões, na armazenagem antes ou após a seleção, na alimentação da máquina, na pesagem das caixas após a seleção, na embalagem, nos processos de paletização, e no carregamento dos caminhões durante a expedição.

Para Grandjean (1998), a movimentação manual de cargas deve ser considerada como trabalho pesado e tem como principal consequência os distúrbios da coluna vertebral, em especial, o desgaste dos discos intervertebrais.

A MMC expõe a saúde dos trabalhadores a riscos de lesão do sistema osteomuscular principalmente quando variáveis como peso, frequência de levantamentos/ abaixamentos, altura da carga e as distâncias de deslocamentos são excessivas. Dentre outras patologias osteomusculares, esses fatores podem causar a lombalgia, que é responsável por grande parte dos afastamentos por motivo de saúde, gerando altos custos ao Estado e ao setor produtivo. Nas unidades de beneficiamento, existe uma variedade grande de tarefas que envolvem MMC. Essas tarefas têm características diferentes e que envolvem vários fatores, exigindo que o trabalhador adote posturas e frequências de levantamentos e abaixamentos variadas para cada uma delas.

Chaffin et al. (2001) argumenta que a MMC tem sido uma grande preocupação para os pesquisadores que estudam o uso da força física e a prevenção de distúrbios osteomusculares no trabalho nos últimos dez anos do século passado. Aproximadamente um terço dos trabalhadores dos EUA estava envolvido em atividades de trabalho com MMC. A sobrecarga mostrou ser a causa das lombalgias em mais de 60% dos trabalhadores com queixas de dores lombares. Menos de um terço dos trabalhadores afastados por lombalgias, em função de lesões por sobrecarga, retornou ao mesmo posto de trabalho que as desencadeou. Cerca de 25% de todas as lesões ocupacionais nos Estados Unidos foram decorrentes de atividades com sobrecarga. O levantamento de cargas estava envolvido com aproximadamente 70% das queixas de lesões por sobrecarga. A MMC foi responsável por 23% de todas as doenças ocupacionais, estimando-se um custo anual de US\$ 5,2 bilhões.

Segundo a European Agency for Safety and Health Work (2000), trinta por cento dos trabalhadores europeus queixam-se de dores nas costas; 17 %, de dores nos braços e pernas; e 45 %, de dores causadas por más posturas, muitas das quais associadas à movimentação manual de cargas pesadas. Dentre os vários fatores que aumentam o risco de distúrbios sacrolombares estão o trabalho físico pesado, elevação e movimentação de cargas, posturas incorretas, má organização do trabalho e o trabalho pouco especializado.

Para Dempsey (1999), a maior parte dos critérios de avaliação é para tarefas de MMC individuais. Entretanto, a maioria dos trabalhos que envolvem a MMC é composta por múltiplas tarefas. Assim, torna-se difícil analisá-las segundo um único critério de avaliação. A literatura disponível apresenta várias metodologias para análise de MMC, cada uma delas com suas especificidades.

O “Ovaco Working Posture Analysing System” (OWAS) é um método para análise da carga postural, e está baseado em uma classificação simples e sistemática das posturas de trabalho e em observações das tarefas. A versão informatizada é denominada “WinOwas”.

O método “Rapid Entire Body Assessment” (REBA) tem como objetivos: desenvolver um sistema de análise postural sensível aos riscos músculo-esqueléticos em várias tarefas; dividir o corpo em segmentos a serem codificados individualmente, servindo como referência os movimentos planos; fornecer um sistema de escores para a atividade muscular causada por posturas diversas e/ou instáveis.

O “Rapid Upper Limb Assessment” (RULA) tem como objetivo investigar a exposição dos trabalhadores aos fatores de risco como a postura, a contração muscular estática, a repetição e a força. O método também deve determinar os fatores que mais contribuem para o risco associado à tarefa.

Já o “Strain Index” (SI) é um método semiquantitativo desenvolvido para determinar se os trabalhadores estão expostos a riscos de lesões nos membros superiores. Baseia-se em variáveis relativas à tarefa ocupacional, como a intensidade da força exigida, a duração do esforço e a recuperação relativa dos membros afetados. Para o cálculo do (SI) são considerados seis determinantes de risco: intensidade do esforço, duração do esforço, frequência do esforço, postura das mãos/punhos, ritmo do trabalho e duração da jornada de trabalho.

O objetivo do método “Occupational Repetitive Actions” (OCRA) é calcular um índice quantitativo que represente os riscos associados aos movimentos repetitivos dos membros superiores e estabelecer um número recomendado de movimentos por minuto, considerando-se algumas variáveis, tais como esforço físico, posturas dos membros superiores e pausas durante a jornada de trabalho.

O método denominado “Humanoid Articulation Reaction Simulation” (HarSim) permite avaliar as demandas físicas para a prescrição de tarefas ou propostas de planejamento para projetar tarefas e locais de trabalho. O modelo possui funções que permitem calcular as forças e os momentos de flexão para 34 juntas do corpo, tanto quanto as pressões intradiscais em todas as vértebras.

O método “3D Static Strength Prediction Program” (3D SSPP) foi desenvolvido pelo Centro de Ergonomia da Faculdade de Engenharia da Universidade de Michigan. Serve para analisar as tarefas de movimentação manual de cargas (MMC) e consiste em um software que prediz a força estática requerida em tarefas como levantar, pressionar, empurrar e puxar, gerando ilustrações gráficas tridimensionais do homem.

Dentre os métodos disponíveis para a avaliação da MMC, o método da equação do *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) é o mais adequado, pois não interfere na rotina de trabalho e aborda a maioria dos parâmetros que compõem a MMC. O NIOSH desenvolveu, em 1981, uma equação para avaliar a manipulação de cargas no trabalho. Sua intenção foi criar uma ferramenta para identificar os riscos de distúrbios osteomusculares associados à carga física e recomendar um limite de peso adequado para cada tarefa em questão, de maneira que uma determinada porcentagem da população pudesse realizar a tarefa sem risco de desenvolver distúrbios osteomusculares.

A equação NIOSH é baseada no conceito de que o risco de distúrbios osteomusculares aumenta com o distanciamento entre o limite de peso recomendado (LPR) e o peso efetivamente manipulado.

O Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 2002) elaborou, no ano de 1994, a primeira edição do manual de aplicação da Norma Regulamentadora 17 (NR 17) e, em anexo, apresentou um resumo do método de aplicação da equação do NIOSH, representado pela seguinte fórmula:

$$\text{LPR} = 23 \cdot \left(\frac{25}{H} \right) \cdot [1 - (0.003 \cdot |V - 75|)] \cdot \left[0.82 + \left(\frac{4.5}{D} \right) \right] \cdot [1 - (0.0032 \cdot A)] \cdot F \cdot C$$

O índice de risco associado ao levantamento de carga (IL) corresponde ao quociente entre o peso real da carga levantada (PC) e o limite de peso recomendado (LPR), ou seja, $IL = PC/LPR$. A equação do NIOSH para o levantamento de cargas determina o limite de peso recomendado (LPR), a partir de seis fatores de redução ao peso limite (23kg), cujos coeficientes podem variar entre 0 e 1, alguns obtidos em tabelas. O valor da constante de carga foi estabelecido em 23 kg para o método NIOSH através de critérios biomecânicos, psicofísicos e fisiológicos. O caráter multiplicativo da equação faz com que o valor limite de peso recomendado vá diminuindo à medida que se afaste das condições ótimas. Os coeficientes podem variar entre 0 e 1, alguns obtidos em tabelas, e que consideram a distância horizontal (H); a distância vertical (V) na origem da carga; o deslocamento vertical (D) entre a origem e o destino da carga; o ângulo de assimetria (A) medido a partir do plano sagital; a frequência média de levantamentos (F) e a qualidade da pega (C).

Podem ser consideradas três zonas de risco, segundo os valores do índice de levantamento obtidos para a tarefa:

- Risco limitado ($IL < 1$). A maioria dos trabalhadores que realizam este tipo de tarefa não deveria desenvolver distúrbios.
- Risco moderado ($1 < IL < 3$). Alguns trabalhadores podem adoecer ou sofrer lesões, se realizarem essas tarefas. As tarefas desse tipo devem ser redesenhadas ou atribuídas apenas a trabalhadores selecionados que serão submetidos a controle.
- Risco elevado ($IL > 3$). Este tipo de tarefa é inaceitável do ponto de vista ergonômico e deve ser modificada.

Outra metodologia muito adequada para a avaliação da MMC é o Diagrama das Áreas Dolorosas. Trata-se de um método subjetivo, composto por um questionário e um diagrama do corpo humano (Fig. 1), dividido em 24 áreas, onde os trabalhadores, ao final de um período de trabalho, apontam para as áreas do corpo em que sentem desconforto e através de uma escala de 0 a 7, determinam o grau desse desconforto. Este método permite um levantamento sistemático das manifestações somáticas nos trabalhadores.

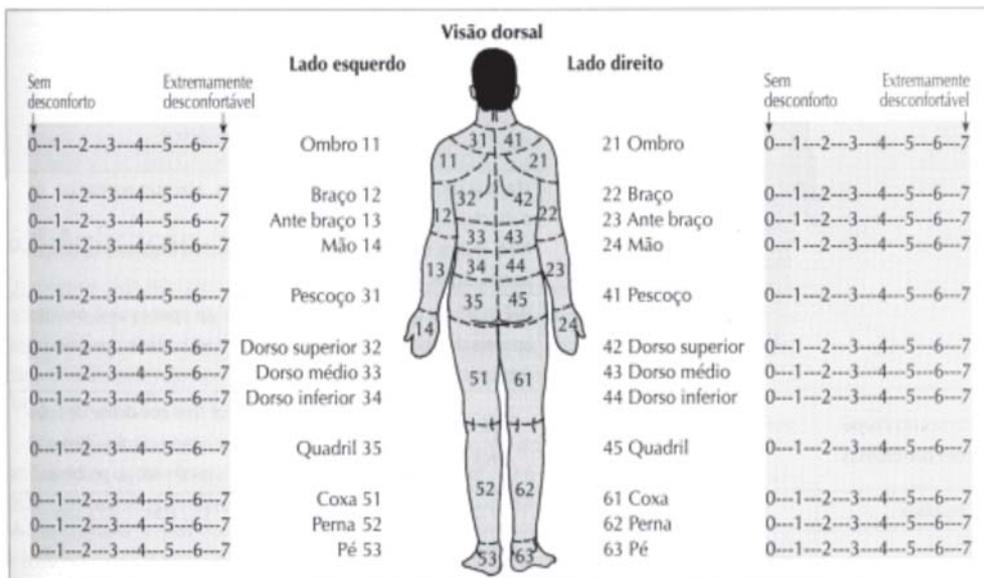


Fig. 1: Diagrama das Áreas Dolorosas (IIDA, 2005)

Ribeiro (2007) utilizou o método de NIOSH e o Diagrama de Áreas Dolorosas para avaliar a movimentação manual de cargas em seis Unidades de Beneficiamento de Tomates. O Diagrama das Áreas Dolorosas foi adaptado, objetivando facilitar a compreensão dos trabalhadores e agilizar sua aplicação. A adaptação consistiu em estabelecer dentro de uma escala de 0 a 7, três faixas de avaliação de desconforto:

- 0 - 1 - 2 = Nenhum desconforto até pouco desconfortável (cor branca)
- 3 - 4 = Desconfortável (cor amarela)
- 5 - 6 - 7 = Muito desconforto a extremamente desconfortável (cor vermelha)

Na Figura 2, Ribeiro (2007) apresentou resumidamente os resultados de LPR, IL e do Diagrama das Áreas Dolorosas por posto de trabalho em seis UB estudadas no Estado de São Paulo. Deve ser observado que os valores de IL acima de 3 (risco elevado) estão destacados em vermelho.

| | UB 1 | UB 2 | UB 3 | UB 4 | UB 5 | UB 6 |
|------------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| Descarregamento de Caminhões | | | | | | |
| LPR | 12,2 kg | 3,2 kg | 3,2 kg | 12,7 kg | 3,9 kg | 3,9 kg |
| IL | 1,9 | 7,5 | 7,5 | 1,9 | 6,2 | 6,2 |
| Alimentação da Máquina | | | | | | |
| LPR | 10,1 kg | 3,8 kg | 4,0 kg | 9,7 kg | 6,8 kg | 4,0 kg |
| IL | 2,3 | 6,0 | 6,0 | 2,4 | 3,5 | 6,0 |
| Pesagem | | | | | | |
| LPR | 13,1 kg | 9,2 kg | 9,8 kg | 12,5 kg | 10,3 kg | 3,9 kg |
| IL | 1,6 | 1,8 | 2,2 | 1,7 | 2,1 | 5,6 |
| Paletização 2 | | | | | | |
| LPR | 12,5 kg | 8,9 kg | 9,3 kg | 12,1 kg | 9,3 kg | 4,2 kg |
| IL | 1,7 | 2,5 | 2,3 | 1,8 | 2,4 | 5,2 |
| Carregamento de Caminhões | | | | | | |
| LPR | 10,8 kg | | | 12,3 kg | | |
| IL | 2,0 | | | 1,8 | | |

Fig. 2: Diagrama das Áreas Dolorosas (RIBEIRO, 2007).

A MMC apresentou-se muito intensa nos diversos postos que compõem o fluxo de produção nas UB de tomate, expondo os trabalhadores a riscos de distúrbios osteomusculares em decorrência dos fatores determinantes das tarefas, como ritmo, altura inicial das caixas, distâncias dos deslocamentos das caixas e o peso das caixas movimentadas. Esses fatores estão diretamente ligados ao volume de produção, ao tipo de tecnologia empregada e ao número de trabalhadores disponível para executar as tarefas. Os resultados obtidos pelo método NIOSH foram preocupantes. Os valores de IL para todos os postos localizaram-se na zona de risco moderado e de risco elevado. O Diagrama das Áreas Dolorosas também apresentou resultados que inspiram atenção. Os trabalhadores relataram extremo desconforto em áreas do corpo com grande potencial de lesões osteomusculares para a coluna lombar e sacral, os ombros e o pescoço.

Os postos de descarregamento de caminhões e de alimentação da máquina apresentaram os piores resultados, tanto pelo método NIOSH como pelo diagrama de áreas dolorosas, o que aponta a necessidade urgente de modificação das tarefas nestes postos.

O autor avançou nas seguintes recomendações para a melhoria das condições de trabalho nas UB estudadas:

1) empregar mecanização nos postos de alimentação da esteira para a virada ou tombamento das caixas ou um

sistema de bancada com roletes a uma altura adequada para reduzir os esforços dos operadores; 2) instalar esteira rolante nos postos de operação das bicas de saída para condução das caixas cheias até à pesagem, para evitar a sobrecarga de trabalho físico destes operadores; 3) reduzir o peso das caixas; 4) promover o rodízio de tarefas, com consequência na diminuição da frequência de levantamentos e abaixamentos de caixas e no período de exposição num mesmo posto de trabalho.

3. Os postos de trabalho de seleção de produtos

O propósito da seleção nas unidades de beneficiamento é o de remover os produtos agrícolas que não alcançaram um determinado padrão. A seleção é geralmente feita por operadores que inspecionam visualmente os frutos que passam por eles. Os operadores identificam os frutos abaixo do padrão e os removem da linha, dispondo-os em local apropriado. Algumas vezes, o fruto é rolado para permitir a sua integral visualização e facilitar a inspeção.

A tarefa de seleção de produtos agrícolas em mesas pode ser classificada como uma tarefa repetitiva para os membros superiores e de esforço físico moderado. Pode também ser considerada uma tarefa de precisão, exigindo contração rápida e comedida dos músculos, além de coordenação e precisão de movimentos, concentração mental e controle visual. Dessa forma, a tarefa demanda um esforço cognitivo e postural. Se não estiver bem balanceada, pode gerar fadiga física, cognitiva e visual.

Geralmente, o trabalho de seleção é executado em pé. Se a área de trabalho é muito alta, os ombros são erguidos para compensar, o que leva a contrações musculares dolorosas na altura das omoplatas, nuca e costas (trabalho muscular estático). Se a área de trabalho é muito baixa, a musculatura das costas é sobrecarregada pelo excesso de curvatura do tronco. Em trabalhos majoritariamente em pé, as alturas recomendadas são de 5 a 10 cm abaixo da altura dos cotovelos (GRANDJEAN, 1998). No trabalho de seleção de frutos, recomenda-se entre 10 e 15 cm de altura dos cotovelos da superfície de trabalho, para facilitar a manipulação dos frutos (STUDMAN, 1998).

Na definição da altura das mesas classificadoras, pode-se tomar como base o maior usuário. A medida antropométrica adequada, no caso, é a altura dos cotovelos, em pé, do percentil 95 masculino. Segundo a pesquisa do INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA (1995), essa medida corresponde a 112 cm para a população brasileira. Adotando-se recomendação de Studman (1998), a altura da mesa deve ficar entre 97 e 102 cm. Devem ser disponibilizadas plataformas de elevação para os operadores de menor estatura. Já a altura do cotovelo da população feminina, em pé, corresponde a 91,5 cm. Recomenda-se, portanto, que as plataformas de elevação tenham até 15,5 cm de altura.

A definição da largura ótima da mesa de seleção está ligada ao conceito de Zona de Trabalho Sustentável para tarefas repetitivas dos membros superiores que exijam esforço físico moderado e é baseada em dimensões antropométricas estáticas. Essa Zona é aquela em que uma pessoa está a uma altura e distância confortáveis com relação à área de trabalho, com espaço suficiente para o movimento dos ombros, cotovelos e mãos, em todos os planos (sagital, transversal e frontal). Ela é limitada por fronteiras relacionadas ao alcance efetivo de coleta de ambas as mãos em todos os planos, sem a necessidade de flexão excessiva do tronco.

As manipulações fora do alcance exigem movimentos do tronco. Para evitá-lo, os objetos devem situar-se dentro de um envoltório tridimensional de alcance dos braços. As operações mais importantes devem situar-se dentro de um raio aproximado de 50 cm, a partir da articulação entre os braços e os ombros (GRANDJEAN, 1998).

A taxa em que os frutos podem ser selecionados depende do tipo e variedade de critérios adotados – danos físicos, tamanho, maturação (BOLLEN et al., 1993). Para maçãs, quando se seleciona por danos físicos, essa taxa gira em torno de 1 a 2 frutos por segundo (STUDMAN, 1998). Com a diminuição da porcentagem de objetos com defeito, Harris (1968) mostrou que ocorre um aumento na taxa de erros (frutos que apresentam danos físicos que “escapam” da seleção e falsos positivos). Já Geyer e Perry (1982) mostraram que, se o tempo permitido à inspeção aumenta, aumenta também a precisão da seleção.

A configuração inadequada da tarefa de seleção, os aspectos ambientais, tecnológicos e organizacionais podem provocar fadiga mental (cognitiva), física ou visual aos trabalhadores, quando a carga de trabalho for

elevada. Aqui, a expressão carga de trabalho designa o custo para o operador conseguir um determinado nível de rendimento ou um resultado concreto na realização do trabalho. Ela é o resultado da interação entre os requisitos da tarefa e as circunstâncias em que ela se desenvolve - as capacidades, condutas, sensações e percepções do trabalhador (MORAY, 1988).

A tarefa de seleção nas unidades de beneficiamento de produtos agrícolas compreende exigências eminentemente cognitivas e visuais, embora também possa apresentar elevada exigência física, dependendo da organização do trabalho e da configuração tecnológica dos equipamentos.

A avaliação da carga de trabalho nas tarefas de seleção é usualmente feita pela aplicação de métodos subjetivos. O Método NASA TLX (Hart e Staveland, 1988) é um método subjetivo desenvolvido para a avaliação da carga de trabalho dos operadores em situação real de trabalho. Este método dispõe de seis escalas (Fig. 3) correspondentes aos seguintes fatores: níveis de realização, esforço, frustração - influenciados pelas características individuais dos operadores - e os níveis de exigências mental, física e temporal - determinados pela situação real de trabalho. Pergunta-se ao operador qual a sua sensação sobre cada um deles. Para cada fator avaliado, o operador indicará um valor entre 0 (zero) e 100 (cem) correspondente à sua sensação ou percepção subjetiva dos níveis de dificuldades encontrados na realização da atividade. Além disso, responderá a 15 (quinze) perguntas de comparação entre pares destes fatores, para apontar aqueles que tiveram maior peso na sua carga de trabalho.

Nome do operador: _____ Posto de trabalho: _____

EXIGÊNCIA MENTAL

Baixa Alta

EXIGÊNCIA FÍSICA

Baixa Alta

EXIGÊNCIA TEMPORAL

Baixa Alta

NÍVEL DE REALIZAÇÃO

Baixo Alto

NÍVEL DE ESFORÇO

Baixo Alto

NÍVEL DE FRUSTRAÇÃO

Baixo Alto

Fig. 3: Formulário do NASA TLX

Braga (2007) utilizou o método NASA TLX na avaliação da carga de trabalho dos postos de seleção de seis unidades de beneficiamento de tomate da região de Campinas, São Paulo. A exigência mental foi elevada para 54,3% dos operadores dos postos de trabalho das bicas e seleção; já a exigência física foi alta para 20% dos operadores dos postos de seleção das UB analisadas. Para avaliar a exigência visual das tarefas de seleção de tomates, o autor desenvolveu e utilizou um questionário de avaliação visual. Esse método permitiu que os operadores expressassem suas sensações sobre os sintomas oculares, sintomas visuais, sintomas gerais e uma variedade de sinais comportamentais e atitudes que assumiram para minimizar o desconforto visual. O questionário foi construído com base na Escala de Likert modificada (KARASEK e THEORELL, 1990). As alternativas de respostas e as questões formuladas encontram-se na Figura 4.

| <i>Nome do operador:</i> | | | | <i>Posto de trabalho:</i> |
|--------------------------|----|---|---|--|
| F | Av | R | N | Sinto tensão no globo ocular no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto tensão no globo ocular após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto uma sensação de peso no globo ocular no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto uma sensação de peso no globo ocular após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto formigamento no globo ocular no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto formigamento no globo ocular após o trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto queimação no globo ocular no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto queimação no globo ocular após o trabalho. |
| F | Av | R | N | Percebo vermelhidão no globo ocular no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Percebo vermelhidão no globo ocular após o trabalho. |
| F | Av | R | N | Tenho sensações visuais de imagens e manchas coloridas no trabalho |
| F | Av | R | N | Tenho sensações visuais de imagens e manchas coloridas após o trabalho |
| F | Av | R | N | Tenho sensações visuais de borramento no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Eu tenho sensações visuais de borramento após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto dores de cabeça no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto dores de cabeça após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto cansaço no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto cansaço após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto tontura no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto tontura após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto vertigens no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Sinto vertigens após um dia de trabalho. |
| F | Av | R | N | Não consigo perceber cores no meu trabalho. |
| F | Av | R | N | Não consigo perceber cores ao final do trabalho. |

Fig. 4: Estrutura do Questionário de Avaliação Visual (QAV)

Os resultados da aplicação do questionário revelaram uma ligação estreita entre a ocorrência de fadiga visual e os níveis de iluminamento dos postos de seleção. A norma brasileira NBR 5413 sugere níveis de iluminamento de 1000 lux em ambientes industriais onde ocorrem tarefas de inspeção. Em metade das unidades de beneficiamento estudadas, foram observados níveis de iluminamento inferiores a 400 lux, e a exigência visual foi considerada elevada pelos trabalhadores.

4. Fatores de risco laboral em unidades de beneficiamento de frutas e hortaliças

A Engenharia de Segurança do Trabalho classifica os fatores de risco laborais em riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos (acidentes). Segundo Gonçalves (1996), a descrição de cada classe de fator de risco é a seguinte:

- Riscos físicos: são as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores (ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas e radiações ionizantes e não ionizantes, bem como o infra-som e o ultra-som).
- Riscos químicos: são as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via

respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão.

- Riscos biológicos: consideram-se riscos biológicos a exposição a vírus, bactérias, protozoários, fungos, parasitas e bacilos.
- Riscos ergonômicos: consideram-se riscos ergonômicos quaisquer fatores que possam interferir nas características psicofisiológicas do trabalhador, causando desconforto ou afetando sua saúde. As tarefas extenuantes de levantamento e transporte manual de cargas, os ritmos acelerados de trabalho, as tarefas repetitivas do ponto de vista biomecânico, a ausência de pausas, a monotonia, a manutenção de posturas inadequadas em função do arranjo deficiente do posto de trabalho são exemplos de riscos ergonômicos.
- Riscos mecânicos (acidentes): são quaisquer fatores que coloquem o trabalhador em situação de perigo e afetem sua integridade, bem-estar físico e moral. As máquinas e equipamentos sem a devida proteção, os pisos escorregadios, a probabilidade de ocorrência de incêndio e explosão, o arranjo físico inadequado do espaço de trabalho e a iluminação inadequada são exemplos de riscos mecânicos.

A exposição continuada a determinados fatores de risco pode propiciar a ocorrência das DORT (doenças osteomusculares relacionadas ao trabalho), conjunto heterogêneo de distúrbios funcionais ou orgânicos induzidos por fadiga neuromuscular. Sua ocorrência está associada a tarefas repetitivas de ciclo curto e também a tarefas que exijam grande esforço muscular quando moduladas por fatores organizacionais, como alta frequência, duração prolongada e ausência de pausas. As DORT são tipificadas pela portaria nº 3908 de 1998 do Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS).

Num estudo realizado em seis unidades de beneficiamento de tomate da região de Campinas, São Paulo, Martins (2007) apontou a ocorrência do seguinte conjunto de fatores de risco:

- Riscos Físicos - Em uma das unidades de beneficiamento analisadas, observou-se a exposição de trabalhadores dos postos de seleção a níveis de ruído próximos ou pouco superiores a 85 dBA e a temperaturas IBUTG superiores a 26,7 °C;
- Riscos Químicos - Em duas unidades de beneficiamento, observou-se o contato direto da pele das mãos dos trabalhadores que operavam, sem luvas de proteção, com tomates não higienizados, caracterizando risco de contaminação por agrotóxicos;
- Riscos Biológicos - A manipulação de tomates apodrecidos sem o uso de luvas de proteção, propiciando o contato com fungos e bactérias, foi observada nos postos de seleção de todas as UB analisadas;
- Riscos Ergonômicos - O estudo apontou a manutenção de posturas inadequadas pelos trabalhadores dos postos de seleção e de movimentação de caixas em função da inadequação antropométrica dos equipamentos e dos espaços de trabalho. Também foram observadas, em todas as unidades de beneficiamento analisadas, jornadas de trabalho de mais de 12 horas contínuas, freqüentemente no período noturno;
- Riscos Mecânicos (acidentes) - Nesta classe de riscos, o estudo relata um amplo conjunto de fatores predisponentes a acidentes. Com relação aos equipamentos de beneficiamento, observaram-se engrenagens, correntes e hélices expostas, sem barreiras mecânicas. Além disso, verificou-se também: o uso de caixas de madeira com farpas, pregos e grampos expostos; estrados em más condições; pisos escorregadios e sem demarcação para trânsito de equipamentos; iluminação insuficiente; plataformas de carga e descarga com espaço insuficiente e sem proteção contra quedas.

A Fig. 5 ilustra alguns dos fatores de risco observados.



Fig. 5: Caixas com grampos expostos, piso escorregadio, falta de barreiras mecânicas em equipamento
(Fotos: Celso de Oliveira Braga)

O estudo sugere o uso do seguinte conjunto de equipamentos de proteção individual: luvas de látex e raspa de couro ou vaqueta (para a manipulação dos produtos e para a movimentação manual de cargas); sapatos de segurança com biqueiras de aço; capacete; óculos de proteção; uso de protetores auriculares quando o nível de ruído for superior a 85 dBA durante a jornada de trabalho.

No Apêndice, encontra-se uma lista de verificação de fatores de segurança e ergonomia para unidades de beneficiamento de produtos agrícolas.

Referências

- BOLLEN, A. F.; PRUSSIA, S. E.; LIDROR, L. **Visual inspection and sorting**. In: SHEWFELT, R. L.; PRUSSIA, S. E. (Ed.). **Postharvest Handling: A Systems Approach**. [S. L.]: Academic Press, 1993.
- BRAGA, C. O. **Análise Ergonômica do Trabalho e Exigências Laborais em Unidades de Beneficiamento de Tomate de Mesa**. 2007. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Manual de Aplicação da Norma Regulamentadora nº 17**. 2. ed. Brasília: MTE, 2002. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/Empregador/SegSau/Publicacoes/Conteudo/106.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2006.
- BURKHARDT, T. H.; O'BRIEN, M. Human considerations in mechanizing fruit and vegetable grading. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, p. 507-509, 1979.
- CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Biomecânica Ocupacional**. 3. ed. Belo Horizonte: Ergo Editora Ltda, 2001.
- DEMPSEY, P. G. Utilizing criteria for assessing multiple-task manual materials handling jobs. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdam, n. 24, p. 405 – 406, 1999.
- EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK. **Perturbações das Cervicais e dos Membros Superiores Relacionados com o Trabalho**. Espanha, 2000. (FACTS 5). Disponível em: <http://osha.europa.eu/publications/factsheets/5/index.htm?set_language=pt>. Acesso em: 17 out. 2006.
- GEYER, L. H.; PERRY, R. F. Variation in detectability of multiple flaws with allowed inspection time. **Human Factors**, New York, v. 24, n. 3, p. 361-365, 1982.
- GONÇALVES, E. A. **Segurança e Medicina do Trabalho**. São Paulo: LTr, 1996.
- GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. 4. ed. São Paulo: Artmed Editora AS, 1998.

HARRIS, D. H. Effect of defect rate on inspection accuracy. **Journal of Applied Psychology**, Washington, v. 52, n. 5, p. 377-379, 1968.

HART, S. G.; STAVELAND, L. E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and Theoretical Research. In: **Human Mental Workload**. Amsterdam: North-Holland, 1988. p. 139-183.

IIDA, I. **Ergonomia, Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA (Brasil). **Manual de Aplicação dos Dados Antropométricos**. Rio de Janeiro, 1995.

KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. Califórnia: University of California, 2002.

KARASAK, R.; THEORELL, T. **Healthy Work**. Nova York: Basic Book, 1990.

MARTINS, M. A. O **Trabalho em Unidades de Beneficiamento de Tomate**: Aspectos de Segurança Laboral. 2007. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas.

MORAY, N. Mental Workload Since 1979. **International Reviews of Ergonomics**, [S. l.], v. 2, p. 123-150, 1988.

RIBEIRO, I. A. V. **Análise Ergonômica do Trabalho em Unidades de Beneficiamento de Tomate de Mesa**: Movimentação Manual de Cargas. 2007. 202 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola, área de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas.

SIMCOX, N.; FLANAGAN, M. E.; CAMP, J.; SPIELHOLZ, P.; SYNDER, K. **Musculoskeletal risks in Washington state apple packing companies**. Seattle: Field Research & Consultation Group, University of Washington, Department of Environmental Health, 2001. Wa 98195.

STUDMAN, C. **Ergonomics in Apple Sorting**: A pilot Study. Palmerston North, New Zealand: Centre for postharvest and refrigeration research, Massey University, 1998. p. 323-334.

Apêndice

Local :

Data :

**LISTA DE VERIFICAÇÃO DE INSPEÇÃO
DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM UNIDADES DE
BENEFICIAMENTO DE TOMATE**

**Folha:
1/06**

Responsável :

ASSUNTOS

S N P NA

Legenda: S - Sim N - Não P - Parcialmente NA - Não se Aplica

PISOS

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 1. Sem risco de escorregamento? | | | | |
| 2. Não apresentam saliência nem depressões que prejudiquem a circulação de pessoas ou a movimentação de materiais? | | | | |
| 3. Oferecem resistência suficiente para suportar as cargas móveis e fixas, para as quais a edificação se destina? | | | | |
| 4. Limpos? | | | | |
| 5. Os locais de passagens de pedestres e macas estão desobstruídos? | | | | |

ESCADAS FIXAS

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1. Dotadas de corrimão e rodapé? | | | | |
| 2. Sem risco de escorregamento? | | | | |
| 3. Oferecem resistência suficiente para suportar as cargas móveis e fixas, para as quais a edificação se destina? | | | | |
| 4. Corrimão e rodapé em bom estado de conservação? | | | | |

RAMPAS

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1. Dotadas de corrimão e rodapé? | | | | |
| 2. Sem risco de escorregamento? | | | | |
| 3. Oferecem resistência suficiente para suportar as cargas móveis e fixas, para as quais a edificação se destina? | | | | |

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 1. Todo o maquinário ou equipamento está aterrado? | | | | |
| 2. Cada máquina tem um interruptor de emergência? | | | | |
| 3. Os interruptores de emergência são visíveis? | | | | |
| 4. Os funcionários utilizam somente tomadas independentes? | | | | |
| 5. A chave geral da máquina está ao alcance do operador? | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| 6. Os painéis elétricos estão desobstruídos e demarcados? | | | | |
| 7. As tomadas, caixas e painéis elétricos possuem indicação de voltagem? | | | | |
| 8. Em caso de incêndio, pode-se desligar facilmente a chave geral? | | | | |

ORGANIZAÇÃO E LIMPEZA GERAL

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1. Os locais de trabalho estão em ordem, livres de sujeiras e de materiais? | | | | |
| 2. As áreas de circulação estão desobstruídas? | | | | |
| 3. A limpeza é feita regularmente? | | | | |
| 4. Há recipientes para coleta seletiva? | | | | |

FATORES AMBIENTAIS / RUÍDO

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 1. Na alimentação da esteira, na mesa de seleção, no extra b, nas bicas, no descarte, na pesagem, no estoque, no carregamento e no descarregamento, os níveis de ruído são mantidos abaixo de 85 dB (A)? | | | | |
| 2. O ruído não interfere com a comunicação, a segurança ou a eficiência do trabalho? | | | | |
| 3. São realizadas manutenções periódicas nas máquinas a fim de reduzir o ruído? | | | | |
| 4. O desconforto provocado pelo ruído é evitado? | | | | |
| 5. Há biombos acústicos separando os ambientes? | | | | |
| 6. Há equipamentos de proteção individual adequados contra ruídos? | | | | |

FATORES AMBIENTAIS / ILUMINAÇÃO

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 1. Na alimentação da esteira, no descarte, no armazenamento, no carregamento e no descarregamento, a iluminância sobre a tarefa é mantida entre 200 e 300 lux? | | | | |
| 2. Na mesa de seleção, na seleção extra b, nas bicas e na pesagem, a iluminância sobre a tarefa é mantida entre 1000 e 1500 lux? | | | | |
| 3. A luz natural é usada também para a iluminação ambiental? | | | | |
| 4. São realizadas periodicamente trocas e limpezas nas lâmpadas? | | | | |
| 5. As fontes de luz são localizadas convenientemente? | | | | |
| 6. As reflexões e sombras são evitadas? | | | | |

FATORES AMBIENTAIS / TEMPERATURA

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 1. Na alimentação da esteira, na seleção extra b, nas bicas, no descarte, na pesagem, no armazenamento, no carregamento e no descarregamento, o máximo I.B.U.T.G. é de 27,5°C? | | | | |
| 2. Na mesa de seleção, o máximo I.B.U.T.G. é de 30,5°C? | | | | |

| EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL – E.P.I. | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 01. Os funcionários recebem E.P.I.s? | | | | |
| 02. Os funcionários são obrigados a utilizar os E.P.I.s? | | | | |
| 03. Os E..P.I.s, possuem C.A.s (Certificado de Aprovação)? | | | | |
| 04. Os funcionários utilizam os E.P.I.s corretamente? | | | | |
| 05. Os funcionários recebem E.P.I.s adequados ao risco de cada atividade? | | | | |
| 06. Os funcionários foram orientados e treinados, no que diz respeito ao uso adequado, guarda e conservação dos E.P.I.s ? | | | | |
| 07. Os E.P.I.s são substituídos imediatamente, quando danificados ou extraviados? | | | | |
| 08. Os E.P.I.s são higienizados? | | | | |
| 09. Os funcionários que trabalham na alimentação da esteira, na seleção extra b, nas bicas, no descarte, na pesagem e no armazenamento utilizam luvas de raspa ou vaqueta e calçado de segurança com biqueira de aço? | | | | |
| 10. Os funcionários que trabalham na mesa de seleção, utilizam <i>*luvas de látex, *máscara respiratória descartável</i> e calçado de segurança com biqueira de aço? (<i>*se o tomate não foi lavado</i>) | | | | |
| 11. Os funcionários que trabalham no carregamento e no descarregamento utilizam luvas de raspa ou vaqueta, calçado de segurança com biqueira de aço e cintos de segurança tipo pára-quedista em altura superior a 2m? | | | | |
| 12. Os empilhadeiras utilizam luvas de raspa ou vaqueta e calçados de segurança com biqueira de aço, durante o manuseio de caixas de tomate? | | | | |
| 13. Os empilhadeiras utilizam protetores auriculares, exceto nas empilhadeiras elétricas? | | | | |
| 14. Todos os funcionários utilizam protetores auriculares, se o ruído for superior a 85 dB (A)? | | | | |
| 15. Os funcionários que pregam caixas de madeira, utilizam óculos de segurança incolor e calçado de segurança com biqueira de aço? | | | | |

| MÁQUINA DE BENEFICIAMENTO DE TOMATE | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 01. As áreas de circulação e os espaços em torno da máquina foram dimensionados de forma que o material, os trabalhadores e os transportadores mecanizados possam movimentar-se com segurança? | | | | |
| 02. A distância mínima entre as máquinas é de 60 cm a 80 cm? | | | | |
| 03. As correias, polias, hélices e engrenagens da máquina na alimentação da esteira, na mesa de seleção, no extra b, nas bicas e no descarte estão enclausuradas dentro de sua estrutura ou devidamente isoladas por anteparos adequados? | | | | |
| 04. As correias, polias, hélices e engrenagens da máquina na alimentação da esteira, na mesa de seleção, no extra b, nas bicas e no descarte estão em perfeitas condições? | | | | |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 05. A distância entre os roletes na alimentação da esteira e na mesa de seleção são pequenas para evitar prensamentos e esmagamentos? | | | | |
| 06. Existem esteiras transportadoras em cima dos roletes, na alimentação da esteira e na mesa de seleção? | | | | |
| 07. Não existem improvisações de biombos de papel ou de madeira na mesa de seleção dos tomates? | | | | |
| 08. Não existem acúmulos d'água embaixo e ao lado da mesa, na qual os tomates são lavados? | | | | |
| 09. Não existem improvisações de caixas de madeira ou caixas plásticas na alimentação da esteira ou na seleção dos tomates? | | | | |
| 10. Os funcionários estão protegidos das chamas, liberadas durante a secagem de tomate? | | | | |
| 11. A máquina é lubrificada freqüentemente? | | | | |
| 12. O operador pára a máquina para lubrificá-la? | | | | |
| 13. O botão de parada de emergência da máquina é visível e está situado perto do operador? | | | | |
| 14. Existe um programa de manutenção preventiva? | | | | |
| 15. Os funcionários foram treinados? | | | | |

SINALIZAÇÃO

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 01. Os locais de passagens de pedestre estão demarcados? | | | | |
| 02. As macas estão sinalizadas e demarcadas? | | | | |
| 03. Os extintores estão sinalizados e demarcados? | | | | |
| 04. Os hidrantes estão sinalizados e demarcados? | | | | |
| 05. As tomadas, caixas e painéis elétricos possuem indicação de voltagem? | | | | |
| 06. Os painéis elétricos estão demarcados? | | | | |
| 07. Existem placas informando sobre o tráfego de empilhadeiras? | | | | |
| 08. Existem placas informando sobre o uso do corrimão? | | | | |
| 09. Existem placas alertando sobre o perigo de retirar as proteções das correias ou engrenagens? | | | | |
| 10. Existem placas alertando para não lubrificar a máquina quando ela estiver em operação? | | | | |
| 11. Existem placas informando sobre o uso do protetor auricular? | | | | |
| 12. Existem placas informando sobre o uso de luvas de látex na mesa de seleção do tomate? | | | | |
| 13. Existem placas informando sobre o uso do óculos de segurança ao pregar caixas? | | | | |
| 14. Existem placas informando sobre o uso do calçado de segurança com biqueira de aço? | | | | |
| 15. Existem placas informando sobre o uso de luvas de raspa ou vaqueta durante o manuseio de caixas de tomate? | | | | |
| 16. Existem placas informando sobre o uso do cinto de segurança do tipo Pára-quedista para trabalhos em altura superior a 2m? | | | | |
| 17. Existem placas informando sobre o uso de máscara respiratória descartável na mesa de seleção do tomate? | | | | |

| EMPILHADEIRA | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 1. O operador está habilitado a operá-la? | | | | |
| 2. O operador utiliza cartão de identificação, com o nome e fotografia, em lugar visível? | | | | |
| 3. O exame médico está dentro do prazo de validade, que é de um ano? | | | | |
| 4. Está indicada na empilhadeira, em lugar visível, a carga máxima de trabalho permitida? | | | | |
| 5. A empilhadeira possui sinal de advertência sonoro (buzina)? | | | | |
| 6. A empilhadeira é inspecionada e as peças defeituosas, ou que apresentem deficiências, são imediatamente substituídas? | | | | |
| 7. No caso de empilhadeira movida a motor de combustão, o local é aberto e ventilado? | | | | |

| EQUIPAMENTO DE COMBATE A INCÊNDIO | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1. Existem extintores e hidrantes no local? | | | | |
| 2. Há Funcionários habilitados para o uso dos extintores e hidrantes? | | | | |
| 3. Os extintores são adequados às possíveis classes de fogo? | | | | |
| 4. Os extintores estão carregados e com os prazos corretos? | | | | |
| 5. Os extintores e hidrantes estão desobstruídos? | | | | |
| 6. Os extintores e hidrantes são revisados periodicamente? | | | | |
| 7. Existem alarmes de incêndio no local? | | | | |

| CONDIÇÕES DAS CAIXAS | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1. Livres de grampos, pregos expostos e de farpas de madeira? | | | | |
| 2. Boa pega? ("Boa pega" pode ser definida como confortável, quando a mão pode envolver o objeto e livre de quinas vivas) | | | | |

| PALETEIRA | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1. Os garfos estão bem centralizados sob o palete? | | | | |
| 2. Não está sendo operada com cargas em rampas? | | | | |
| 3. Não é utilizada para transportar pessoas? | | | | |
| 4. O operador não está saindo, freando e girando demasiadamente rápido? | | | | |

| RISCOS ERGONÔMICOS | | | | |
|--|--|--|--|--|
| 01. Sem excesso de horas-extras (+10h por semana)? | | | | |
| 02. Sem jornadas de trabalho prolongadas? | | | | |
| 03. Sem monotonia e repetitividade? | | | | |
| 04. Sem exigência de postura inadequada? | | | | |
| 05. Sem esforço físico intenso? | | | | |
| 06. Sem trabalho em turno e noturno? | | | | |
| 07. Sem controle rígido de produtividade? | | | | |
| 08. Sem sobrecarga individual, devido à redução de funcionários ? | | | | |
| 09. Sem imposição de ritmos de trabalho excessivos ? | | | | |
| 10. Há esquema de substituição de funcionário faltante? | | | | |
| 11. Sem dificuldades no relacionamento entre funcionário e chefia? | | | | |



Capítulo 8

Boas práticas agrícolas na pós-colheita de hortaliças

Celso Luiz Moretti
Leonora Mansur Mattos



1. Introdução

A inocuidade dos alimentos consumidos tem sido uma preocupação diária em todo o mundo. A cada dia que passa, a população entende que sua saúde está intimamente relacionada com o alimento consumido.

As hortaliças são parte integrante da dieta da população mundial. No Brasil, o consumo é, ainda, relativamente pequeno, ficando ao redor de 80 kg por habitante por ano. Todavia, em função de algumas espécies serem excelente fonte de vitaminas, sais minerais e substâncias antioxidantes, como a vitamina C e o β -caroteno, além de fornecerem compostos que previnem o câncer, como o pigmento licopeno, abundante em hortaliças como o tomate e a melancia, o consumo desses alimentos tem crescido no país.

Contudo, se por um lado o consumo de hortaliças possibilita uma vida mais saudável, por outro pode também ser o veículo de uma série de toxinfecções alimentares causadas por microrganismos e intoxicação pelo excesso de agrotóxicos. A adoção das boas práticas agrícolas (BPA), análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) e ferramentas de rastreabilidade como a identificação por rádio frequência (RFID) para a produção e manuseio pós-colheita de hortaliças permite minimizar a ocorrência de contaminações de caráter químico, físico e microbiológico, possibilitando que o consumidor tenha um alimento mais saudável e livre de contaminação. Em outras palavras, um alimento mais seguro.

A idéia central do presente documento é fornecer recomendações de caráter geral que permitam uniformizar a adoção de procedimentos pós-colheita que assegurem a qualidade das hortaliças produzidas, minimizando a ocorrência de contaminações químicas, físicas e microbiológicas. Tendo em vista a variada gama de hortaliças cultivadas e a diversidade de clima e solos do território brasileiro, pretende-se que as orientações apresentadas sejam suficientemente flexíveis para permitir sua aplicação em diferentes sistemas agroindustriais (cadeias produtivas).

2. Principais etapas e perigos associados ao manuseio pós-colheita de hortaliças

Após a colheita, feita preferencialmente nas horas mais frescas do dia, as hortaliças são transportadas rapidamente para os galpões de beneficiamento, onde passarão por uma série de etapas visando a agregação de valor ao produto. Dessa forma, as hortaliças podem ser lavadas, para a retirada das sujidades superficiais aderidas ao produto, selecionadas e classificadas por cor, tamanho, calibre, dentre outros aspectos, e embaladas em caixas de papelão ou plástico, dependendo do mercado de destino.

Após a embalagem, as hortaliças podem ser resfriadas por diferentes métodos, como resfriamento por ar frio, ar frio forçado, hidro-resfriamento com água gelada e resfriamento a vácuo, cujo objetivo é retirar calor do produto, abaixando sua temperatura. O produto pode ser armazenado ou, então, despachado para o mercado de destino.

Durante essas etapas, as hortaliças estão sujeitas a perigos de ordem física, química e microbiológica, que podem comprometer sua qualidade final. Perigos de ordem física podem ser pedaços de madeira, vidro, pregos, dentre outros, que durante o manuseio pós-colheita podem contaminar o produto. Para a maioria das hortaliças, esse tipo de perigo é de importância secundária, uma vez que é facilmente identificável a olho nu. Exceção a essa regra é o caso de algumas hortaliças como o repolho ou alface americana, dentre outras, cujo imbricamento das folhas pode esconder a presença desses corpos estranhos, fazendo com que os mesmos cheguem até o consumidor.

Os perigos químicos podem ser classificados como resíduos de agrotóxicos, metais pesados ou micotoxinas. Tais contaminações podem ser tanto oriundas do campo de produção como ter corrido na etapa pós-colheita. De maneira geral, as contaminações de ordem química são as mais difíceis de se eliminar quando já instaladas. Todavia, podem e devem ser evitadas. O uso correto de agrotóxicos registrados e na dosagem correta, a produção das hortaliças em áreas não contaminadas com metais pesados e o controle de doenças fúngicas causadas por fungos dos gêneros *Alternaria*, *Aspergillum* e *Fusarium*, dentre outros, que podem produzir micotoxinas, são formas eficazes de se evitar a contaminação de ordem química.

Finalmente, os perigos microbiológicos devem também ser tratados de forma sistemática em qualquer plano de produção segura de hortaliças. Os perigos microbiológicos são caracterizados pela presença de microrganismos

patogênicos ao ser humano que contaminam as hortaliças tanto na fase de produção quanto na fase pós-colheita. Microrganismos como *Salmonella sp.*, *Listeria monocytogenes* e *Clostridium botulinum*, dentre outros, podem causar sérios prejuízos à saúde de consumidores. Mais adiante nesse documento serão comentadas as formas empregadas para se evitar a ocorrência desses perigos.

2.1 Colheita e transporte do produto colhido para o galpão de beneficiamento

A colheita das hortaliças deve ser realizada com o emprego de utensílios limpos e higienizados. Os colhedores devem também estar com as mãos limpas, higienizadas e com as unhas aparadas.

Após a colheita, as hortaliças frescas devem ser transportadas em condições que minimizem a possibilidade de contaminação química, física ou microbiana. As seguintes práticas devem ser adotadas:

- a. as instalações destinadas ao armazenamento e transporte de hortaliças frescas devem ser construídas de forma a minimizar a ocorrência de danos mecânicos e evitar o acesso de animais;
- b. hortaliças frescas impróprias ao consumo humano devem ser retiradas antes do transporte para a casa de embalagem;
- c. os trabalhadores envolvidos com a colheita devem remover o máximo possível de sujeira (solo, pedaços de madeira, pedras, etc.) antes de enviar o produto para a casa de embalagem;
- d. materiais de limpeza e substâncias tóxicas devem ser adequadamente identificados e mantidos ou armazenados em locais seguros.

2.2 Recepção e lavagem das hortaliças

Ao chegarem no galpão de beneficiamento, algumas hortaliças são submetidas a uma primeira lavagem para a retirada de sujidades superficiais aderidas ao produto. O gerenciamento da qualidade da água irá variar durante os processos de manuseio pós-colheita. Os trabalhadores envolvidos com as diversas etapas deverão atuar no sentido de minimizar as possibilidades de introdução ou disseminação de patógenos na água empregada nos tratamentos pós-colheita.

A qualidade da água empregada irá depender do estágio da operação. Como exemplo, água limpa pode ser empregada para os estágios iniciais de lavagem, enquanto que a água utilizada para o enxágüe final deve ser de qualidade potável. Adicionalmente, para assegurar-se uma melhor qualidade das hortaliças, devem ser observados os seguintes passos:

- a. quando apropriado, desinfetantes devem ser adicionados à água para reduzir-se o risco de contaminação cruzada. A concentração dos desinfetantes deve ser monitorada e controlada para assegurar que são mantidos em concentrações efetivas;
- b. quando apropriado, a temperatura da água utilizada na pós-colheita deve ser controlada e monitorada;
- c. caso seja utilizada água reciclada, sua qualidade deve ser monitorada de tal forma que a mesma não se constitua em risco para a qualidade das hortaliças frescas;
- d. a última lavagem ou enxágüe, realizada com água de qualidade potável, tem o objetivo de retirar resíduos de desinfetantes utilizados anteriormente, exceção feita nos casos onde os resíduos de desinfetantes são necessários para prevenir a ocorrência e proliferação de patógenos;
- e. quando apropriado, o gelo utilizado nas operações de resfriamento deve ser produzido com água potável.

2.3 Seleção e classificação

As etapas de seleção e classificação são, em sua maioria, realizadas manualmente pelos trabalhadores no galpão de beneficiamento. Assim, procedimentos de higiene operacional devem ser observados, conforme descrito adiante neste documento.

As superfícies de todos os utensílios utilizados para a seleção e classificação das hortaliças devem estar limpas e higienizadas a fim de se evitar a ocorrência de contaminação cruzada.

2.4 Resfriamento rápido

Água potável deve ser usada em sistemas que utilizarem como técnica de resfriamento o hidro-resfriamento ou gelo picado. A qualidade da água, nesses casos, deve ser monitorada e controlada. Nos sistemas que empregarem ar forçado, deve-se proceder à limpeza periódica dos ventiladores e das mantas utilizadas para cobrir as hortaliças frescas.

A água condensada proveniente dos evaporadores empregados nos sistemas de resfriamento não deve cair sobre as hortaliças frescas durante o armazenamento em câmaras frias. Tais sistemas devem ser periodicamente higienizados.

2.5 Embalagens

As embalagens empregadas no armazenamento de hortaliças frescas devem ser fabricadas de material inerte, que não reaja com o produto. No caso de caixas de papelão ondulado, caso seja aplicada cera para impermeabilização, essa deve ser de padrão alimentar, isto é, cujo contato com alimentos seja permitido por legislação.

2.6 Armazenamento refrigerado

Quando se julgar apropriado, as hortaliças frescas deverão ser armazenadas sob condições refrigeradas. A temperatura e umidade relativa serão definidas de acordo com as exigências individuais de cada produto, e devem ser monitoradas e controladas periodicamente. A água condensada proveniente dos evaporadores empregados nos sistemas de resfriamento não deve cair sobre as hortaliças frescas. Tais sistemas devem ser mantidos limpos.

3. Limpeza e sanificação de equipamentos e superfícies

Os equipamentos de limpeza devem ser mantidos em bom estado de conservação, com o intuito de facilitar as etapas de limpeza e desinfecção. Para que a limpeza dos diversos utensílios utilizados no manuseio das hortaliças seja eficiente, os equipamentos de colheita e os contentores passíveis de reutilização devem ser limpos e desinfetados antes de entrarem em contato, pela primeira vez, com as hortaliças frescas.

Os agentes mais comuns utilizados para a limpeza são a água e detergentes. Estes últimos podem ser classificados de acordo com suas propriedades em:

- a. tensoativos: melhoram a qualidade umectante;
- b. alcalinos: favorecem a ação dissolvente sobre resíduos sólidos e fornecem boa capacidade emulsionante;
- c. ácidos: retiram incrustações e removem depósitos de sais;
- d. sequestrantes: evitam depósitos de sais nas superfícies
- e. fosfatos: dispersam os resíduos protéicos.

A limpeza e a sanificação dos equipamentos e das instalações são pré-requisitos para a manutenção da qualidade das hortaliças frescas. A sanificação ou desinfecção consiste na redução da população de microrganismos presentes numa superfície higienizada para níveis próximos a zero. Tais microrganismos podem estar alojados nos resíduos imperceptíveis que ainda permanecem nas superfícies após a limpeza. Diversos produtos podem ser utilizados para a sanificação (Tabela 1).

Tabela 1: Principais agentes sanificantes empregados para a limpeza de utensílios e instalações

| Sanificante | Concentração de uso (mg.kg ⁻¹) | Faixa de pH efetivo | Tempo de contato (min.) | T (°C) | Eficiência* | | |
|--------------------------------|--|---------------------|-------------------------|------------------|-------------|-------|--------|
| | | | | | Bactérias | Vírus | Fungos |
| Amônia Quaternária | > 300 | 9,5-10,5 | 10-15 | Ambiente | *** | * | *** |
| Compostos inorgânicos de cloro | 100-400 | 6,0-8,0 | 10-15 | Ambiente (<40°C) | *** | * | * |
| Iodoformo | 25-100 | 4,0-5,0 | 10-15 | Ambiente (<40°C) | *** | * | ** |
| Ácido peracético | 75-1000 | <8,0 | 10-15 | 8 – 30 °C | *** | *** | *** |
| Peróxido de hidrogênio | 3.000 – 60.000 | 2,0-6,0 | 5-20 | > 40°C | *** | ** | ** |

* moderadamente eficaz

** eficaz

*** altamente eficaz

4. Prevenção de contaminação cruzada

A contaminação cruzada ocorre quando um produto limpo se contamina ao entrar em contato com uma superfície ou com outro indivíduo contaminado. Durante a produção, colheita e procedimentos pós-colheita, é necessário cuidado para evitar-se o risco de contaminação cruzada. Para tanto, os indivíduos que entrarem em contato com hortaliças frescas devem observar o seguinte:

- hortaliças frescas que não se prestarem para o consumo humano devem ser separadas durante os processos de produção e colheita;
- os trabalhadores envolvidos com a colheita não devem carregar nos contentores destinados a produtos colhidos outros materiais, como alimentos, agrotóxicos, entre outros;
- equipamentos e contentores utilizados previamente para o transporte de substâncias tóxicas (agrotóxicos, esterco, lixo) não devem ser utilizados para o manuseio de hortaliças frescas; e
- prevenir-se contra a contaminação das hortaliças frescas ao proceder a embalagem no campo, tomando-se o cuidado de não contaminar o produto pela exposição dos contentores ao solo, a fezes de animais ou esterco.

5. Saúde e higiene dos trabalhadores e instalações sanitárias

A saúde e o asseio pessoal de todos os trabalhadores que entrem em contato direto com as hortaliças devem ser monitorados periodicamente. No caso de a propriedade receber visitantes, estes devem utilizar aventais e gorros, principalmente nos galpões de beneficiamento, a fim de evitar a contaminação das hortaliças.

Instalações sanitárias devem estar disponíveis a fim de possibilitar a higiene pessoal dos trabalhadores. Tais instalações devem:

- a. estar localizadas em locais de fácil acesso;
- b. possuir projeto adequado de tal forma a permitir a retirada periódica de dejetos sem contaminar o meio ambiente;
- c. possibilitar a higiene pessoal dos trabalhadores; e
- d. ser mantida em boas condições de funcionamento e limpeza.

Os banheiros dos galpões de beneficiamento devem possuir local apropriado onde os trabalhadores possam trocar de roupa confortavelmente, além de serem providos de armários onde possam ser guardados seus pertences pessoais. Os banheiros devem possuir uma fonte de água limpa, que não seja proveniente de nenhum sistema de recirculação; sabão; toalhas descartáveis; e, se possível, uma solução sanificante para ser utilizada em conjunção com outras práticas de higiene.

No que diz respeito à saúde dos trabalhadores, é importante evitar que aqueles com alguma moléstia entrem em contato direto com as hortaliças frescas. Moléstias muito comuns como infecção de ferimentos superficiais, diarreia, gripe e vômitos devem ser informadas aos supervisores, e os trabalhadores portadores devem ser afastados de suas atividades.

Além da saúde, o asseio pessoal dos trabalhadores, principalmente daqueles que entram em contato direto com as hortaliças, deve ser observado. Unhas aparadas, cabelos e barbas curtos, dentre outros aspectos, devem ser levados em consideração. Os trabalhadores devem lavar as mãos periodicamente, principalmente aqueles que entram em contato direto com as hortaliças frescas. Cortes ou machucados superficiais devem ser protegidos com ataduras à prova de água, quando for o caso de os trabalhadores continuarem suas atividades.

O comportamento dos trabalhadores também deve ser observado. Eles devem evitar atitudes que possam resultar na contaminação das hortaliças como cuspir, fumar, mascar chicletes e espirrar ou tossir sobre os produtos não embalados.

6. Rastreabilidade

Os produtores de hortaliças devem manter anotações atualizadas sobre as práticas de cultivo, colheita e distribuição de seus produtos. Tais dados devem ser mantidos por períodos de tempo superiores ao da comercialização ou vida de prateleira de seus produtos. A documentação dá credibilidade ao produtor e facilita a condução de um programa de segurança alimentar.

Os principais pontos a serem anotados são local de produção, talhão, época de plantio e transplântio (quando for o caso), informações concernentes aos insumos utilizados (adubação mineral e orgânica), agrotóxicos aplicados (dosagem, nível de toxidez, número de aplicações), tipo de irrigação e informações sobre a qualidade da água utilizada, controle de pestes (roedores) e data da colheita, dentre outros. No caso de o próprio produtor embalar seus produtos, todas as informações referentes às práticas de manuseio pós-colheita também devem ser anotadas, como tipo de pré-resfriamento empregado, temperatura de armazenamento, entre outras. Os lotes devem ser identificados, preferencialmente com códigos de barra.

Uma alternativa à utilização do código de barras para rastreabilidade de frutas e hortaliças frescas é a identificação por rádio frequência (RFID), tecnologia que vem sendo a cada dia mais utilizada. A identificação por rádio frequência ou *radio frequency identification* (RFID) é um método de identificação automática que se baseia no armazenamento e recuperação de dados armazenados em sistemas com o emprego de antenas e etiquetas (*tags*) ou *transponders*. Uma etiqueta de identificação por rádio frequência é, basicamente, um objeto que pode ser incorporado a um produto, embalagem, pallet, animal ou mesmo pessoa com o intuito de identificação, fazendo-se uso de ondas de rádio frequência. Em outras palavras, essa identificação tem objetivo similar à da técnica de identificação por código de barras possuindo, entretanto, várias vantagens comparativas.

O funcionamento do sistema é baseado em três partes: um transmissor (ou etiqueta), uma antena e um sistema de leitura. A etiqueta, que possui uma microantena em seu interior e pode ser tão pequena quanto metade de um grão de areia, recebe sinais eletromagnéticos emitidos por uma antena e, por sua vez, envia as informações armazenadas, que são lidas por uma leitora. Uma grande vantagem desse sistema é que, diferentemente do código de barras, não há necessidade da proximidade física entre leitora e etiqueta bem como não é necessário que a etiqueta esteja no raio de visão da leitora. As etiquetas possuem em sua constituição chips de silício e micro antenas, e podem ser de dois tipos: ativas e passivas.

De maneira geral, tanto as etiquetas passivas quanto ativas podem ter uma variada gama de tamanhos e formatos. Etiquetas usadas em animais possuem diâmetro aproximado de uma ponta de lápis e comprimento de 1,3 cm. Já as usadas em humanos são do tamanho de um grão de arroz. As etiquetas podem ser maiores, como é o caso dos discos de plástico presos às peças de roupas para impedir o furto em várias lojas em todo o mundo. Por outro lado, existem etiquetas maiores, de 15 x 10 cm de lado e 5 cm de espessura, usadas para rastrear contêineres em sistemas de transporte intermodal.

Existe uma gama muito variada de aplicação dos sistemas de identificação por rádio frequência. A tecnologia pode ser usada em documentos como passaportes, em bibliotecas, pedágios em rodovias, identificação de animais, no controle de vendas e de estoque em supermercados, na manutenção preventiva de aeronaves, no controle de bagagens em aeroportos, no controle de pacientes em hospitais e até em freqüentadores de clubes “privês” europeus.

Uma grande rede americana de supermercados é a principal precursora do uso da tecnologia de identificação por rádio frequência no controle e rastreabilidade de diversos produtos. A rede supermercadista iniciou o processo estimulando seus fornecedores a adotarem o uso da etiquetas nos produtos fornecidos. Inicialmente, foram feitos testes com 100 fornecedores, que verificaram uma melhora significativa na eficácia e eficiência de seus processos de compra e venda de insumos e produtos acabados. A estratégia dessa empresa é adotar a identificação por rádio frequência diretamente em suas lojas e em seus centros de distribuição. Todavia, tal estratégia tem dificultado que pequenas empresas que fornecem produtos para a gigante varejista consigam atender todas as exigências da tecnologia forçando-as, em muitas situações, a deixar de fornecer.

A adoção da identificação por rádio frequência possibilita que produtos perecíveis como caixas ou *pallets* de tomates, melões ou laranjas, dentre outros, possam ser identificados e rastreados até o produtor, dando mais segurança para quem vende e mais tranquilidade para quem compra.

Uma associação de produtores de frutas e hortaliças do estado americano da Flórida tem estimulado produtores a se familiarizarem com a tecnologia de identificação por rádio frequência, sobretudo em relação às suas grandes possibilidades de utilização na rastreabilidade. Uma das principais preocupações do grupo está relacionada com o significativo número de surtos de contaminação em produtos frescos nos Estados Unidos, como o ocorrido em 2006 com espinafre, e com a dificuldade que se tem em localizar a origem. A idéia é rastrear o produto em toda a cadeia produtiva e, com o auxílio de etiquetas ativas, monitorar o ambiente ao redor do produto quanto à temperatura e umidade relativa, dentre outras possibilidades.

Literatura consultada

BANSAL, R. Coming Soon to a Wal-Mart Near You. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, New York, v. 45, n. 6, p. 105-106, 2003.

BLAU, J. **Germany plans passports with biometric data in November**: Computerworld. Disponível em: <<http://www.computerworld.com/securitytopics/security/story/0,10801,102177,00.html>>. Acesso em: 05 abr. 2007.

BOYCOTT GILLETTE. **RFID Tags Confirmed in Australian Mach3 Razor Packages**: Consumers Against Supermarket Privacy Invasion and Numbering (CASPIAN). Disponível em: <www.boycottgillette.com/press.html>. Acesso em: 30 mar. 2007.

- DAS, R. **An Introduction to RFID and Tagging Technologies**. Cambridge, UK: White paper, IDTechEx, 2002. Disponível em: <www.idtechex.com>. Acesso em: 2 abr. 2007.
- EDWARDS, J. Tag, You're It. **CIO Magazine**, Febr. 15, 2003. Disponível em: <www.cio.com/archive/021503/et_article.html>. Acesso em: 05 mar. 2007.
- FRANK, H. K. Mycotoxins and phytoalexins in stored crops. In: WEICHMANN, J. **Postharvest physiology of vegetables**. 1st ed. New York: Dekker, 1987. p. 413-426.
- FRANK, H. K.; ORTH, R.; FIGGE, A. Patulin in Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft. **Z. Lebensm, Unterforsch.**, Berlin, v. 163, p. 111-114, 1977.
- FOODPRODUCTIONDAILY.COM. **Results of Fresh Produce RFID to Be Revealed**. Disponível em: <www.foodproductiondaily.com/news/news-NG.asp?n=53061-results-of-fresh>. Acesso em: 02 abr. 2007.
- GAUCHER, G. M. Mycotoxins: their biosynthesis in fungi: Patulin and related carcinogenic lactones. **J. Food Protec.**, Des Moines, v. 42, p. 810-814, 1979.
- HOPKINS, J. The toxicological hazards of patulin. **Food Chem.Toxicol.**, Oxford, v. 31, p. 455-459, 1993.
- KARKKAINEN, M. Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods. **International Journal of Retail & Distribution Management**, Bradford, v. 31, n. 10, p. 529-536, 2003.
- JAY, J. M. **Modern Food Microbiology**. 6th ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 2000. 765 p.
- KORSTEN, L.; WEHNER, F. C. Fungi. In: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. 2nd ed. New York: Dekker, 2003. p. 485-518.
- LOPES, C. A.; SANTOS, J. R. M. dos. **Doenças do tomateiro**. Brasília: EMBRAPA HORTALIÇAS/ EMBRAPA-SPI, 1994. 61 p.
- MORETTI, C. L. Casa de embalagem e transporte In: ELEMENTOS de Apoio de Boas Práticas Agrícolas e o Sistema APPCC. 1^a ed. Brasília, DF: CampoPAS, 2004. v. 1. p. 165-180.
- MORETTI, C. L. Vegetable crops production In: GUIDELINES for Good Agricultural Practices. Brasília, DF: Embrapa, 2002. v. 1. p. 65-97.
- MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A. Tecnologias modernas a serviço da automação e da rastreabilidade In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTAS, HORTALIÇAS E FLORES, 2., 2007, Viçosa, MG. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Pós-colheita de Frutas, Hortaliças e Flores**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. v. 1. p. 63 – 68.
- MURPHY, P. A.; HENDRICH, S.; LANDGREN, C.; BRYANT, C. M. Food mycotoxins: an update. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, n. 5, 2006.
- PLESSI, M.; BERTELLI, D. MONZANI, A. Valutazione del contenuto di patulina in prodotti per la prima infanzia a base di mela. **Riv. Scienza Alimentazione**, [S. l.], v. 27, p. 237-243, 1998.
- SCOTT, P. M.; FULEKI, T.; HARWING, J. Patulin content of juice and wine produced from moldy grapes. **J. Agric. Food Chem.**, Easton, v. 25, p. 434-436, 1977.
- SYLOS, C. M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Incidence of patulin in fruits and fruit juices marketed in Campinas, Brazil. **Food Add. Contam.**, [S. l.], v. 16, p. 71-74, 1999.

SHARMA, R. P. Immunotoxicity of Mycotoxins. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 7, p. 892-897, 1993.

THE RFID GAZETTE. The Future Is Here: A Beginner's Guide to RFID. **RFid Gazette**. Disponível em: < http://www.rfidgazette.org/2004/06/rfid_101.html>. Acesso em: 10 mar. 2007.

WELT, B. A.; EMOND, J. P. **RFID**: Making it so... With some help from the University of Florida. [S. l.]: Department of Agricultural & Biological Engineering, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 2005. 6 p. (Circular 1465).



Capítulo 9

Avaliação para a incidência de danos mecânicos em frutas e hortaliças



Marcos David Ferreira
Adonai Gimenez Calbo





1. Introdução

As perdas pós-colheita podem ser geradas por fatores diversos como incidência de injúrias mecânicas, utilização de embalagens impróprias, comercialização do produto a granel, não-utilização da cadeia do frio, transporte inadequado, classificação não padronizada, condições das estradas, toque excessivo por parte dos consumidores, exposição inadequada do produto (CEAGESP, 2002; CASTRO et al., 2001). SARGENT et al. (1999) demonstrou que os danos mecânicos são o principal fator para a perda de qualidade no atacado e no varejo dos principais produtos hortícolas.

Os dois pontos mais importantes para manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos são a redução das injúrias mecânicas e a manutenção da cadeia do frio. Danos mecânicos ocorrem durante o manuseio do produto, nas etapas de colheita, seleção, embalagem, transporte e exposição, ocasionados por forças de compressão e por impacto com outros frutos ou em superfícies duras e não protegidas (MOHSENIN, 1970; HYDE e ZHANG, 1992). Danos mecânicos devidos a impactos, compressão, vibração, cortes e rachaduras estão relacionados com alterações fisiológicas, metabólicas, de aroma, sabor e qualidade em diferentes produtos hortícolas tais como maçãs, pepinos, batatas e tomates (MORETTI e SARGENT, 2000). Ferreira et al. (2006a) relatam que a incidência em danos mecânicos é cumulativa, inicia-se na colheita e é acrescida durante cada manuseio posterior, podendo também variar durante o ciclo de colheita em produtos como o tomate, os quais são submetidos a colheitas múltiplas (FERREIRA et al., 2005).

A severidade dos danos causados por impactos, em uma linha de beneficiamento e classificação, pode ser reduzida diminuindo a altura de queda nos pontos de transferência entre as etapas, utilizando-se protetores, os quais podem dissipar a força de impacto, ou reduzindo o número de quedas e pontos de transferência (HYDE e ZHANG, 1992). Para redução nas forças de impacto sofrida pelos frutos e dos danos físicos em linhas de beneficiamento e classificação estas devem ser projetadas preferencialmente em uma linha reta, sem desvios e curvas, e possuírem alturas de queda tão reduzidas quanto possível nos pontos de transferência (SARGENT et al., 1999).

Na pesquisa da pós-colheita, tem sido um grande desafio mensurar a incidência de impactos no campo durante a colheita e nas unidades de beneficiamento para relacioná-las com a incidência em danos físicos. A seguir, neste capítulo, algumas informações sobre como mensurar a magnitude de impacto e danos mecânicos na pós-colheita em campo e em laboratório. Este capítulo abrange uma revisão generalizada, não abordando a totalidade dos métodos hoje disponíveis nesta área.

2. Mensuração da magnitude de impacto na pós-colheita

Bollen (2006) propõe dois métodos para a mensuração da incidência de danos físicos: o primeiro relaciona-se à amostragem de frutos durante manuseio e a quantificação dos danos físicos; e o segundo refere-se ao uso de instrumentos para mensurar as forças que agem no sistema e correlacioná-las aos níveis de danos físicos que podem ser esperados.

Esse mesmo autor definiu dois grupos de instrumentação disponíveis para quantificar a magnitude de impacto durante manuseio dos produtos. Um primeiro grupo, que mensura as forças durante embalagem e transporte dos produtos, e um segundo grupo, sensores de impacto como o “fruto falso”, que registra acelerações do sensor quando faz o mesmo percurso dos frutos no manuseio pós-colheita, submetendo-se individualmente as forças durante o manuseio. Essas acelerações, conforme, considerado no capítulo 10, são proporcionais às compressões transientes, que de fato causam os danos em nível de tecido.

2.1 Forças envolvidas nas operações de embalagem e transporte

Estes equipamentos podem ser simples, por exemplo, filamentos de vidro que se quebram quando as acelerações utilizadas estão acima da sua capacidade ou mesmo mais sofisticados, como o acelerômetro (BOLLEN, 2006).

¹ No atual texto, também se utilizou a expressão dano físico relacionada a danos mecânicos. Esta expressão pode também estar associada a danos por temperatura, stresse, radiações.

O acelerômetro é um equipamento mecânico que pode ter interface eletrônica para mensurar movimentação e vibração durante transporte. Existem diferentes modelos de acelerômetro, que devem ser escolhidos de acordo com as magnitudes e frequências dos estresses a serem medidos e custo. Moretti et al. (2002) relatam a aplicação no transporte de melões do acelerômetro "small size impact recorder", que registra em papel acelerações como múltiplos da aceleração da gravidade no plano vertical ou horizontal, de acordo com a forma como se posiciona o equipamento. Apesar do princípio de funcionamento, este equipamento é conveniente e não é necessário acoplar computadores ou cabos de transmissão para leitura. Para utilização de acelerômetros, é necessário acoplar o equipamento a um computador durante o uso deste, o que pode ser um fator de limitação, em especial para grandes distâncias. Lacerda e Ferraz (2007) descrevem detalhadamente metodologia para uso de acelerômetros no transporte de frutas, tendo como modelo o figo "Roxo de Valinhos".

2.2 "Fruto falso" ou "laranja mecânica"

Bollen (2006) descreve cinco desses equipamentos, disponíveis no mercado para registrar e estimar a magnitude dos impactos sofridos pelos produtos em algumas etapas do manuseio pós-colheita. A mais comum dessas esferas instrumentadas é um equipamento com envoltório plástico contendo um acelerômetro triaxial utilizado como sensor de impacto (Fig. 1 e 2).

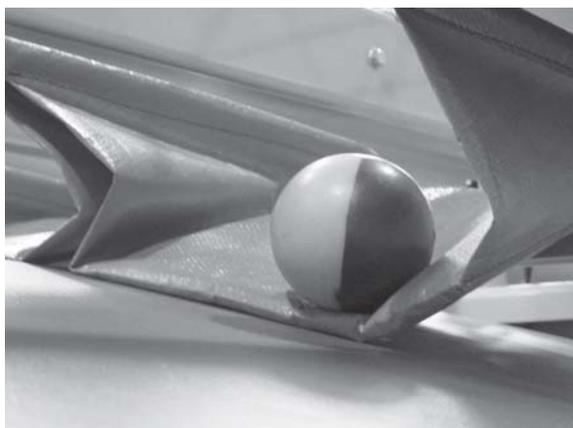


Fig. 1: Esfera Instrumentada
(Foto: Marcos David Ferreira)



Fig. 2: Esfera acoplada ao computador
(Foto: Marcos David Ferreira)

A esfera instrumentada tem sido utilizada para vários produtos como tomate (FERREIRA et al., 2005; SARGENT et al., 1992), batata (FERREIRA e NETTO, 2007), maçãs (GUYER et al., 1991; SOBER et al., 1990), laranja (FERREIRA et al., 2006b; MILLER e WAGNER, 1991), cebola (TIMM et al., 1991), abacate, mamão e abacaxi (TIMM e BROWN, 1991). Para as avaliações mencionadas, os autores utilizaram níveis de impactos de acordo com acelerações máximas tomadas como múltiplo da aceleração média da gravidade ao nível do mar ($G = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$) e nas diferenças de velocidade (m.s^{-1}) nas linhas de limpeza e seleção que possam ser indicativas de superfícies de abrasão e de impacto. Todavia, velocidade é também positivamente correlacionada com a aceleração máxima: à medida que se aumenta a altura de queda, maiores serão a aceleração máxima e a velocidade (SARGENT et al., 1992).

Os pontos críticos para impacto variam muito entre produtos e linhas de beneficiamento. Ferreira e Netto (2007) avaliaram cinco unidades de beneficiamento no estado de São Paulo (Fig. 3), e foi observado que os pontos das linhas de classificação para batata que demonstraram maior G foram os de transferência (entrada no lavador e ensaque). Em três unidades (B, C e D), os maiores valores de aceleração foram observados na etapa de lavagem (entrada do lavador), notando-se na unidade C, G superior a 140 m/s^2 . Na entrada do processo de secagem, observa-se uma redução nos valores de G em todas as unidades, porém com crescente ascensão nos outros três pontos de transferência. As diferenças de aceleração de impacto entre as unidades de beneficiamento,

em pontos coincidentes, podem estar relacionadas à velocidade de deslocamento, rotações das escovas, altura de queda e tipo de superfícies protetoras entre os equipamentos utilizados.

Ferreira et al. (2006b) descrevem, para citros, elevadas acelerações de impacto no recebimento. Foi observado que 93,7% dos impactos estimados por esfera instrumentada variaram entre 24 G a 131 G. Na Figura 4, pode-se observar que a etapa 1, referente ao recebimento nesta linha, apresentou média de aceleração máxima igual a 226 G. Esta etapa consistia no descarregamento dos frutos do caminhão, com queda de 90 cm de altura diretamente no concreto. Miller e Wagner (1991) relatam resultados semelhantes em que 80% dos impactos máximos em linha de classificação para citros variam entre 25-150G são causados por quedas em superfícies rígidas de metal ou em uma camada de cobertura emborrachada insuficientemente espessa.

Cada produto possui particularidades no manuseio, as quais podem ser influenciadas pela cultivar, ponto de maturação e condições climáticas. Na linha de beneficiamento, os pontos críticos com maior incidência de danos mecânicos podem ocorrer: (1) no recebimento do produto, especialmente se esta etapa ocorre manualmente, pois fica totalmente dependente do cuidado com que o operador trabalha. O treinamento dos funcionários reduz o problema nas operações manuais; (2) nos pontos de transferência entre etapas, em especial quando não existe recobrimento acolchoado que possa diminuir o impacto de quedas; (3) nas saídas das bancas de seleção e classificação, quando da queda nas caixas de embalagem. A tudo isso deve-se adicionar que, em muitas linhas de beneficiamento, a velocidade do fluxo e, em parte, os impactos sofridos pelos produtos são comandados pela velocidade de recebimento, ou seja, um número maior de frutos pode ocasionar velocidades mais lentas, minimizando as eventuais alturas de queda, e a situação contrária: poucos frutos podem ocasionar maiores impactos de queda.

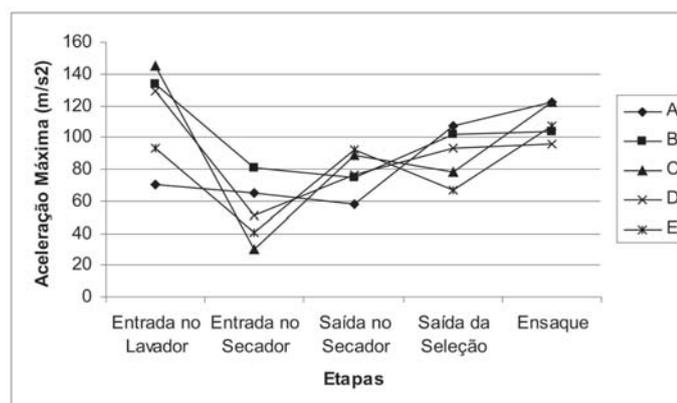


Fig. 3: Aceleração máxima (m/s^2) em algumas etapas de manuseio de cinco unidades de beneficiamento e classificação de batatas (Unidades: A, B e C: Vargem Grande do Sul, SP; D: Itapetininga, SP; E: Divinolândia, SP) (FERREIRA e NETTO, 2007).

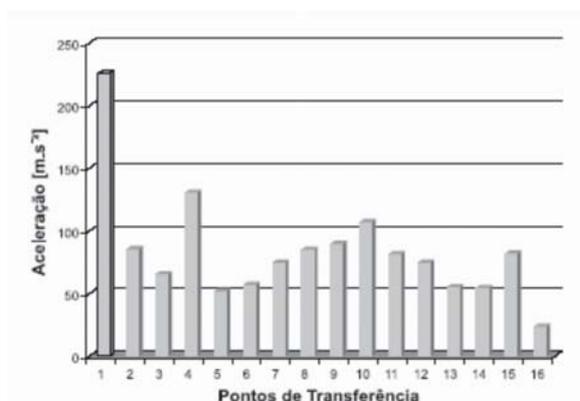


Fig. 4: Acelerações (G) encontradas em linha de beneficiamento e classificação de citros, em diferentes pontos de transferência: 1- Recebimento; 2-Entrada da linha (1); 3- Entrada da linha (2); 4- Entrada da pré-classificação; 5-Saída da pré-classificação; 6-Entrada da lavagem; 7- Saída da lavagem; 8-Entrada do secador (1); 9-Saída do secador (1); 10-Entrada do secador (2); 11-Saída do secador (2); 12- Entrada da classificação; 13-Saída do rolete classificador; 14-Esteira de separação para classificação; 15-Saída da classificação/entrada da banca; 16- Saída da banca. (FERREIRA et al., 2006b).

3. Testes em laboratório

Testes de impacto em laboratório para indução e simulação de danos físicos ocorridos na pós-colheita de frutas e hortaliças podem ser realizados de diferentes formas, e é sempre um desafio relacionar dados obtidos referentes a mensurações de impacto com os danos físicos sofridos pelos frutos durante o manuseio.

Em geral, impactos experimentais são aplicados utilizando-se um sistema controlado de lançamentos de frutos, seja manual, ou seja acionado por sistemas eletromagnéticos, ou a vácuo. A superfície contra a qual o impacto ocorre pode ser tomada como rígida, note-se que não há superfícies reais que sejam de fato rígidas, ou superfícies deliberadamente macias por uso de material acolchoado. Por exemplo, Sargent et al. (1992) utilizaram sistema no qual cada tomate foi preso a vácuo, a uma altura especificada, para evitar rotação durante a queda e, assim, possibilitar quedas sucessivas no mesmo lado. Anteriormente, sistema semelhante havia sido utilizado para indução de estresse de impacto em frutos de pêssegos (BRUSEWITZ et al., 1991; MANESS et al., 1992). Por sua vez, Chen e Yazdani (1991), em ensaio com maçãs, descrevem um sistema em que a queda livre dos frutos é acionada por um sistema eletromagnético.

Fluck e Halsey (1973) utilizaram, para testes de impacto em tomate, quedas sobre superfícies duras a partir de cinco alturas entre 10 a 50 cm. Para tanto, frutos eram lançados manualmente com o cuidado de aplicar o dano físico na altura do equador. O dano físico devido ao impacto aumentou em função da altura de queda e do amadurecimento dos frutos.

Outra alternativa, para simular os testes de impacto em laboratório, é o uso de esfera de metal de conhecido tamanho e peso. Neste caso, tem-se que a energia cinética de queda ou impacto sobre frutas de diferentes alturas é aproximada igualando-a expressão $m.g.h$, onde m é a massa, h a altura de queda e g é a aceleração de gravidade no local do ensaio. Chen et al. (1987) relatam a utilização deste método para pêras, e Garcia et al. (1988) para estudo de injúrias mecânicas em maçãs.

Também tem sido muito útil nos estudos de estresses de impacto o uso de uma esfera de metal presa por fios, de modo a formar um pêndulo balístico, lançada manualmente de diferentes alturas ou ângulos. Alguns usos desse tipo de equipamento aplicado a morangos são descritos por Ferreira (1994) e, em maçãs, por Marshall e Burgess (1991).

Magalhães et al. (2007) descrevem equipamento de baixo custo e fácil implantação para indução de quedas livres conhecidas a frutos. O sistema consiste em um aspirador de pó, acoplado a um registro de esfera, que regula a passagem de ar para uma mangueira fixada em um suporte de lançamento em chapa de carbono com alturas reguláveis entre zero e 60 cm. Sob vácuo, o fruto permanece preso a uma ventosa plástica enquanto o vácuo estiver ligado. A queda livre, com um mínimo de rotação do fruto, inicia-se logo após a dissipação do vácuo no tubo 3, mediante o fechamento do registro (Fig. 5).

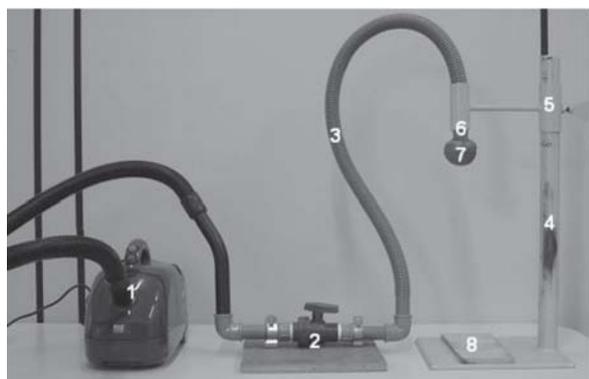


Fig. 5: Equipamento desenvolvido para possibilitar estudos de impacto por queda livre constituído por: 1) Aspirador de pó portátil com 1000 watts de potência; 2) Registro de esfera PVC de 1 polegada; 3) Mangueira de plástico, diâmetro 34 mm ; 4) Suporte em chapa de aço, com 60 cm de altura; 5) Regulador da altura de queda; 6) Bocal para segurar os frutos, constituído por uma ventosa de plástico com orifício central; 7) Fruto de tomate; 8) Superfície de borracha esponjosa com espessura de 9,5 mm.

4. Incidência de danos mecânicos

A mensuração da incidência em danos mecânicos é uma tarefa difícil especialmente tratando-se de produtos vivos, com taxas metabólicas diversas, nos quais a incidência da injúria pode aparecer imediatamente após o impacto ou somente depois de alguns dias, internamente ou externamente. Por isso, é importante o conhecimento da fisiologia do produto, a forma de visibilidade deste dano físico e a influência deste nas características comerciais de qualidade.

4.1 Danos internos

Impactos suficientemente intensos geram injúrias internas. Próximas ao limiar mínimo, elas são insuficientes para deixarem marcas facilmente perceptíveis pelo consumidor, enquanto impactos de maior energia deixam marcas evidentes. O uso e o desenvolvimento de metodologias apropriadas para avaliar esses danos internos por procedimentos invasivos (destrutivos) e não invasivos são um desafio. Algumas formas que têm sido utilizadas nestas avaliações são descritas a seguir.

4.1.1 Medidas destrutivas

As medidas destrutivas de danos internos, em geral, baseiam-se na extensão do dano físico ocorrido, mensurando-se a extensão da injúria e calculando-se o volume. Ferreira (1994) descreve essa metodologia para morango. Para maçã, a medição do volume do dano foi realizada cortando-a no centro da área afetada em fatias e medindo o diâmetro e a profundidade do dano (CHEN e YAZDANI, 1991).

Outra alternativa é a mensuração de danos físicos no interior dos frutos por meio de escalas de notas como foi utilizado por Sargent et al. (1992) ao avaliar danos físicos de impacto infringidos a frutos de tomate. Também, como medida destrutiva, Moretti et al. (1998) aplicaram teste de análise sensorial mediante teste cego de identificação de frutos injuriados ou não.

4.1.2 Medições não destrutivas

• Imagem

Uma forma não destrutiva de análise é o uso da Tomografia de Ressonância Magnética TORM. Trata-se de um método não invasivo que possibilita obter imagens do interior dos frutos e hortaliças e fornecer informações sobre os estados químico e fisiológico (BISCEGLI et al., 2000). O funcionamento, em princípio, depende da obtenção, em campo magnético especial, de sinais proporcionais a mudanças na quantidade de prótons de hidrogênio presentes na água e em outras substâncias contidas nas frutas e hortaliças. Alterações devido ao amadurecimento, impactos mecânicos, doenças e pragas são assim observados e interpretados a partir das imagens obtidas. Trabalhos importantes com esse instrumento foram realizados para o estudo de injúrias mecânicas em figos (BISCEGLI et al., 2003), goiabas (BISCEGLI et al., 2002)(Fig. 6); de infestação de moscas das frutas (BISCEGLI et al., 1999), e do amadurecimento da manga e mamão (BISCEGLI et al., 2000).



Fig. 6: Imagens tomográficas demonstrando alterações internas devido a forças externas de impacto e compressão. (BISCEGLI et al., 2002).

• Taxa respiratória

A atividade respiratória é o processo pelo qual materiais orgânicos armazenados (carboidratos, proteínas e gorduras) são quebrados em moléculas simples para a liberação de energia na forma de ATP ou $\text{NADPH} + \text{H}^+$ e para a produção de compostos intermediários essenciais ao controle dos processos essenciais à vida e à qualidade dos órgãos vegetais. Em pós-colheita de órgãos destacados, é importante a disponibilidade de O_2 para que os mitocôndrios possam realizar as oxidações do ciclo de Krebs e a associada produção de energia por respiração na fosforilação oxidativa (BOERSIG, 1988). Em condições de hipoxia, com as oxidações mitocondriais insuficientes, é comum o acúmulo de substâncias da glicólise (respiração anaeróbica) como etanol, ácido acético, ácido láctico e aromas desagradáveis.

Sob estresses mecânicos, é comum a taxa de respiração aumentar (LEE et al., 2004), principalmente após a exposição dos produtos a estresses de impacto e vibração. Este aumento de respiração trata-se, possivelmente, de numa reação induzida pelo aumento da produção de etileno causada por estes estresses (YANG e HOFFMAN, 1984). O etileno é um hormônio vegetal que causa aumento de respiração tanto maior quanto maior a concentração de etileno no ar. Este aumento de respiração torna-se irreversível em frutos climatéricos, nos quais etileno induz à própria síntese autocatalítica de etileno. Nos demais produtos vegetais, a respiração diminui assim que o etileno é removido. Adicionalmente, nos frutos climatéricos o etileno induzido pelo estresse de impacto pode acelerar a taxa de amadurecimento outra vez, mediante o papel deste hormônio gasoso.

Contrariamente, em órgãos sujeitos a estresse de compressão que induzem redução dos volumes gasosos intercelulares, a injúria mecânica dificulta a entrada de oxigênio e causa hipoxia localizada e duradoura, que pode ser suficiente para reduzir a taxa de respiração. Efeitos do estresse de compressão podem também ser suficientes para inibir a ação do etileno e, desse modo, causar atraso de amadurecimento em frutos climatéricos, como o tomate (SILVA e CALBO, 1992; PEREIRA e CALBO, 2000).

Tanto nos casos de estresse de compressão quanto de impacto, em geral, as frutas e hortaliças tornam-se mais susceptíveis a fitopatógenos e, por essa razão, é comum observar-se aumentos de deterioração que são função dos danos mecânicos infringidos ao produto (SILVA e CALBO, 1992).

4.2 Danos externos

Primeiramente, deve-se caracterizar o dano, baseando-se na literatura e nas normas e padrões existentes para o produto. Podem-se dividir os danos físicos em três categorias: os originados no campo de produção e os provenientes do processo de colheita e pós-colheita. Danos físicos como os originados no campo de produção são aqueles derivados da abrasão com as estacas de bambu e fios de amarrão, ataque de insetos e distúrbios fisiológicos e nutricionais. Danos físicos originados no processo de colheita são aqueles derivados da compressão do fruto contra a cesta de colheita e/ou caixa plástica, impacto do fruto quando em queda na caixa plástica e/ou cesta de colheita, marcas de unhas ou dedos e compressão do pedúnculo de um fruto contra a superfície externa de outro fruto, importantes em tomate. Na pós-colheita relacionam-se ao manuseio, queda em pontos de transferência, etc.

• Escala de notas

Para cada tipo de injúria mecânica e produto hortícola, podem se desenvolver escalas discretas ou contínuas de notas para a avaliação de danos sensoriais. Ferreira et al. (2006a) relatam em trabalhos, utilizando o tomate como modelo, a seguinte situação: considerou-se (0) sem dano físico; (1) dano físico superficial externo leve; (2) dano físico superficial externo leve e presença de danos superficiais leves por inseto, principalmente lagarta minadora; (3) dano físico externo grave; (4) fruto deformado; (5) fruto manchado, com virose.

• Mensuração da área externa com o uso do planímetro

Ferreira et al. (2006a) descrevem, para tomate de mesa, metodologia para mensuração da área externa com dano físico. A delimitação preliminar com uma caneta facilita a medição.

Após a delimitação das áreas referentes a danos físicos, as marcações são transferidas para papel de seda, individualizadas por fruto. Para mensurar essas áreas utilizou um planímetro (KEUFFEL & ESSER Co.). As áreas mensuradas foram comparadas à superfície total do fruto, considerando-se este como uma esfera (MOHSEIN, 1986) e utilizando-se a fórmula: Área Externa do fruto = $4 \times 3,1415 \times R^2$ (R=raio), sendo o resultado expresso em porcentagem de área danificada. O método das pesagens e outros procedimentos de determinação de área folhar podem ser utilizados para substituir o método planimétrico.

5. Fatores que influenciam a incidência de danos mecânicos

Thomson e Lopresti (1998) demonstraram que 40% dos principais impactos em uma linha de classificação e embalagem de batata ocorreram como quedas contra superfícies não protegidas ou finamente protegidas. Em frutos, o estágio de maturidade também está relacionado ao nível do dano físico. Frutos em estádios mais avançados de amadurecimento são mais sensíveis a forças de impacto que frutos verdes. Tomates no estágio verde-maduro são menos susceptíveis a abrasão e danos do que tomates em estágio de maturação mais avançado (SARGENT et al., 1992; HALSEY, 1955).

Sargent et al. (1999) relata que setenta por cento dos tomates deixados cair a 10 cm em uma superfície não protegida apresentaram, posteriormente, dano físico interno "Internal Bruising". Por sua vez, Halsey (1955), em experimentos para simulação de danos em frutos, demonstrou que tomates, deixados cair em queda livre a uma distância de 30 cm, sofreram danos no tecido locular em mais de 50% dos casos e, em 45%, a uma distância de 15 cm.

Referências

- BISCEGLI, C. I.; FRANCO, R. W. A.; TANNUS, A.; NASCIMENTO, A. S.; COLNAGO, L. A. **Uso da espectroscopia e tomografia de ressonância magnética para monitorar o amadurecimento e fatores de qualidade em manga e mamão**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000. 6 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, n. 35).
- BISCEGLI, C. I.; MATTIUZ, B. H.; DURIGAN, J. F. **Uso de tomografia de ressonância magnética para diagnosticar os efeitos de injúrias mecânicas em goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2002. 4 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, n. 47).
- BISCEGLI, C. I.; NASCIMENTO, A. S.; CONALGO, L. A. **Avaliação do uso de tomografia de ressonância magnética para estudo de infestação de moscas-das-frutas**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 1999. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Pesquisa em andamento, n. 28).
- BISCEGLI, C. I.; FERRAZ, A. C. O.; HONÓRIO, S. L.; SIMÕES, M. L.; SILVA, W. T. L. **Uso da tomografia de ressonância magnética para diagnosticar os efeitos de injúrias mecânicas em figos "Roxo de Valinhos"**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. 4 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, n. 52).
- BOERSIG, M. R.; KADER, A. A.; ROMANI, R. J. Aerobic-anaerobic respiratory transition in pear fruit and cultured pear fruit cells. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, n. 6, p. 869-873, 1988.
- BOLLEN, A. F. Technological innovations in sensors for assessment of postharvest mechanical handling systems. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, Geneve, v. 1, n. 1, p. 16-31, 2006.
- BRUSEWITZ, G. H.; McCOLLUM; T. G.; ZHANG, X. Impact bruise resistance of peaches. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 34, n. 3, p. 962-965, 1991.

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B.; JORGE, J. T. Influência da embalagem no desenvolvimento de injúrias mecânicas em tomates. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 26-33, 2001.

CEAGESP. **Diga não ao desperdício**. Disponível em: < <http://www.ceagesp.com.br> >. Acesso em: 15 jul. 2002.

CHEN, P.; RUIZ, M.; LU, F.; KADER, A. A. Study of impact compression damage on asian pears. **American Society of Agricultural Engineers**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 1193-1197, 1987.

CHEN, P.; YAZDANI, R. Prediction of apple bruising due to impact on different surfaces. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 34, n. 3, p. 956-961, 1991.

FERREIRA, M. D. **Physiological Responses of Strawberry to handling impacts and precooling methods**. 1994. 124 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Pós-Colheita) - IFAS, University of Florida, Gainesville, FL, Estados Unidos.

FERREIRA, M. D.; FRANCO, A. T. O.; KASPER, R. F.; FERRAZ, A. C. O.; HONÓRIO, S. L.; TAVARES, M. Post-harvest quality of fresh market tomatoes as a function of harvest periods. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 62, n. 5, p. 446-451, 2005.

FERREIRA, M. D.; CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; TAVARES, M. Avaliação Física do Tomate de Mesa Romana durante Manuseio na Pós-Colheita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 1, p. 321-327, 2006a.
FERREIRA, M. D.; SILVA, M. C.; CAMARGO, G. G. T.; AMORIM, L.; FISCHER, I. H. Pontos críticos de impacto em linhas de beneficiamento utilizadas para citros no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 28, n. 3, p. 523-525, 2006b.

FERREIRA, M. D.; NETTO, L. H. Avaliação de processos nas linhas de beneficiamento e classificação de batatas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 279-285, 2007.

FLUCK, R. C.; HALSEY, L. H. Impact forces and tomato bruising. **Florida Agricultural Experiment Station Journal Series**, Gainesville, n. 5109, p. 239-242, 1973.

GARCIA, C.; RUIZ, M.; CHEN, P. Impact Parameters related to bruising in selected fruits. In: SUMMER MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1988, Rapid City. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1988. 16 p. (ASAE. Paper, 88-6027).

GUYER, D. E.; SCHULTE, N. L.; TIMM, E. J.; BROWN, G. K. Minimize apple bruising in the packingline. **Tree Fruit Postharvest Journal**, Washington, v. 2, n. 4, p. 14-20, 1991.

HALSEY, L. H. Preliminary studies of bruising of "turning" and "pink" tomatoes caused by handling practices. **Florida State Horticultural Society**, Gainesville, v. 68, p. 240-243, 1955.

HYDE, G. M.; ZHANG, W. Apple bruising research update: packingline impact evaluations. **Tree Fruit Postharvest Journal**, Washington, v. 3, n. 3, p. 12-15, 1992.

LACERDA, F.; FERRAZ, A. C. O. Efeito das acelerações e das frequências durante o transporte na qualidade do figo 'Roxo de Valinhos'. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 32, p. 44-50, 2007.

LEE, E.; BERRY, A. D.; SARGENT, S. A. Impact thresholds to maximize post-harvest quality of Roman-type tomato. **Proc.Fla. State Hort. Sci.**, [S. l.], v. 117, p. 373-377, 2004.

MAGALHÃES, A. M.; FERREIRA, M. D.; BRAUNBECK, O. A.; ESTEVOM, M. V. R. Superfícies protetoras na diminuição de danos mecânicos em tomates. **Revista Ciência Rural**, Pelotas, v. 37, n. 3, p. 878-881, 2007.

MANESS, N. O.; BRUSEWITZ, G. H.; McCOLLUM, T. G. Impact bruise resistance comparison among peach cultivars. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 9, p. 1008-1011, 1992.

MARSHALL, D. E.; BURGESS, G. J. Apple bruise damage estimation using an instrumented sphere. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 7, n. 6, p. 677-682, 1991.

MILLER, W. M.; WAGNER, C. Florida citrus packing line studies with an instrumented sphere. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 7, n. 5, p. 577-581, 1991.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon e Beach Science Publishers, 1970. v. 1. p. 401-430.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon Beach Science Publishers, 1986. v. 1. 841 p.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A.; HUBER, D. J.; CALBO, A. G.; PUSCHMANN, R. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermont, v. 123, n. 4, p. 656-600, 1998.

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

MORETTI, C. L.; ARAUJO, A. L.; TEIXEIRA, J. M. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Monitoramento em tempo real das condições de transportes de melões (*Cucumis melo* L.) "Golden Pride". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia, MG. **Anais do 42 Congresso Brasileiro de Olericultura**. Brasília - DF: Sociedade de Olericultura do Brasil, 2002. v. 1.

PEREIRA, A.V.; CALBO, A. G. Elastic stresses and plastic deformations in 'Santa Clara' tomato fruits caused by package dependent compression. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2429-2436, 2000.

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**, Mount Vermont, v. 117, n. 1, p. 119-123, 1992.

SARGENT, S. A.; RITENOUR, M. A.; BRECHT, J. K.; **Handling, Cooling and Sanitation Techniques for Maintaining Postharvest Quality**. [S. l.]: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1999. (Horticultural Sciences Department HS719).

SILVA, J. L. O.; CALBO, A. G. An apparatus to study compression stress in fruits and vegetables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 736-742, 1992.

SOBER, S. S.; ZAPP, H. R.; BROWN, G. K. Simulated packing line impacts for apple bruise prediction. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 2, p. 629-636, 1990.

THOMSON, G.; LOPRESTI, J. **Instrumented sphere assessment of seed potato packing lines**. In: ExpHORT 2000 Report. Victoria, Australia: Institute for Horticultural Development Knoxfield, 1998. Disponível em: <<http://www.nre.vic.gov.au/agvic/ihd/r&d/doc-095.htm#pagetop>>. Acesso em: 29 jan. 2003.

TIMM, E. J.; BROWN, G. K. Impacts recorded on avocado, papaya, and pineapple packing lines. **Applied engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 7, n. 4, p. 418-422, 1991.

TIMM, E. J.; BROWN, G. C.; BROOK, R. C.; SCHULTE, N. L.; BURTON, C. L. Impact bruise estimates for onion packing lines. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 7, p. 571-576, 1991.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo alto, v. 35, p. 155-189, 1984.

Capítulo 10

Fisiologia dos danos mecânicos em frutas e hortaliças

Adonai Gimenez Calbo



1. Introdução

As forças estáticas e dinâmicas que causam danos mecânicos às frutas e hortaliças são muito simples e envolvem fatores físicos bem definidos em termos de força, pressão, impulso e da elasticidade que reduz a energia absorvida em choques ou impactos. Se, em tese, as razões físicas dos danos físicos sofridos pelas frutas e hortaliças são simples, na prática os valores desses parâmetros do interior dos órgãos vegetais são quase totalmente desconhecidos dos pesquisadores em nossos dias. Assim, não é nada simples avaliar os parâmetros físicos mencionados durante um choque ou, mesmo, numa simples situação em que um fruto é mantido estático no interior de uma pilha ou caixa.

Deste modo, uma introdução às respostas dos tecidos celulares de frutas e hortaliças conforme reagem aos estresses de impacto e de compressão é fundamental para que se possa entender e desenvolver métodos de simulação e de avaliação da incidência de danos físicos. Peculiaridades relativas a outros estresses mecânicos importantes, como as abrasões, cortes, vibrações, não serão detalhadas neste capítulo.

2. Deformações elásticas e plásticas

Levitt (1980) apresenta uma cuidadosa organização de noções de estresses (forças) e deformações e estende essas noções físicas à explicação das complexas respostas auto-regulatórias de organismos biológicos sujeitos a estresses como temperaturas extremas, falta de água, deficiência nutricional, além dos estresses mecânicos propriamente ditos, que são tratados neste capítulo. Assim, plantas e outros organismos estarão em condições de autocontrole elástico, enquanto puderem manter sob estreito controle suas variáveis fundamentais, que incluem volume celular, pressões e tensões de água nos diferentes compartimentos, gradientes concentração eletroquímica e temperatura, a despeito das variações do ambiente. Assim, as noções de estresses/deformações elásticos e plásticos e as noções de estresses primários e secundários desenvolvidas por Levitt são uma forma academicamente razoável para analisar as complexidades da auto-regulação fisiológica, que é indispensável para que a planta se mantenha estabilizada. Segundo essas noções de homeostase, o desenvolvimento e a qualidade dos produtos são mantidos mais adequadamente, enquanto os estresses causarem apenas modestas deformações, dentro da tolerância elástica dos produtos.

Estresses e deformações elásticas foram definidos como aqueles reversíveis, independentemente de serem causados por estresses (forças) como impacto ou compressão, ou outros tipos de estresses bióticos, físicos ou químicos. Do ponto de vista puro, os estresses elásticos também seriam independentes do tempo de exposição, e os órgãos sujeitos a esses estresses elásticos retornariam ao estado (forma) após a remoção do estresse, como ocorre com uma mola, que foi utilizada com a metáfora ilustrativa de Levitt. Recuperação elástica ideal deste tipo, no entanto, em geral não ocorre em sistemas biológicos complexos, como se pode observar no estudo de recuperação do volume e da forma de frutas e hortaliças comprimidas individualmente ou em pilhas (PEREIRA e CALBO, 2000; LUENGO, 2005). Adicionalmente, no caso de estresse elástico, imagina-se também que não haveria efeitos fisiológicos permanentes, ainda que causados por um estresse secundário ou derivado, como uma hipoxia motivada por compressão de tecidos, isto de acordo com a nomenclatura biológica estabelecida por Levitt (1980).

As deformações plásticas, por outro lado, são irreversíveis e aumentam em função do tempo de exposição ao estresse. Após a remoção do estresse, o órgão que acumulou uma quantidade de deformação plástica permanece deformado nesta medida. Esse tipo de resposta, dependentemente do estresse aplicado e do tempo de exposição, foi de fato observada nos estudos de injúria de compressão de tomate (PEREIRA, 1996; PEREIRA e CALBO, 2000) e nos estudos de embalagens de hortaliças (LUENGO et al., 2003; LUENGO, 2005). Por essa natureza permanente, todas as deformações plásticas sofridas por frutas e hortaliças são aditivas (PEREIRA e CALBO, 2000), independentemente de terem sido causadas por estresses ocorridos no manuseio, na classificação, no transporte ou na comercialização. Adicionalmente, as deformações plásticas sofridas por frutas e hortaliças, em geral causam efeitos fisiológicos adicionais com aceleração de amadurecimento, indução de brotação e aumento de deterioração. De fato, todos esses efeitos fisiológicos adicionais e permanentes são tomados como deformações plásticas segundo a classificação de Levitt (1980), restando apenas saber se são respostas ao estresse primário ou

a algum estresse secundário, como no caso da hipoxia induzida por estresse de compressão, um assunto que oportunamente será detalhado.

3. Os sistemas supracelulares que compõem os órgãos vegetais

Para entender as respostas aos estresses mecânicos, é importante saber que as frutas e hortaliças são formadas por três sistemas supracelulares: os volumes gasosos intercelulares, o apoplasma e o simplasma. Destes, os volumes gasosos intercelulares ocupam entre 0,5% a 70% do volume do vegetal e são o caminho mais rápido para o transporte de componentes gasosos como o oxigênio para a respiração celular. Por facilitar a dispersão interna de luz, causam a aparência “esbranquiçada” de órgãos como folhas e frutos. Formados na vizinhança de três ou mais células, ou gerados por lise celular em aerênquimas e em certas cavidades, os volumes gasosos intercelulares são determinantes na redução da densidade, na definição de textura macia e elástica e em suma na maior resistência ao estresse de impacto. Por outro lado, elevados volumes gasosos intercelulares são condicionantes de uma menor resistência ao estresse de compressão. Os volumes gasosos intercelulares e a presumida susceptibilidade quanto à resistência aos estresses de compressão e impacto estão resumidos na Tabela 1 para algumas hortaliças.

O apoplasma é formado pelas paredes celulares interconectadas através das lamelas médias das células que compõem os tecidos vegetais. Trata-se de um componente rico em fibras e nanoporos, isto é, poros com dimensões da ordem de 10^{-9} m, permanentemente impregnados de água proveniente do xilema e, às vezes, do floema. O apoplasto pode constituir menos de 3% em volume do órgão vegetal na polpa da melancia ou constituir mais de 30% do volume da casca de frutos, como o abacate ou a abóbora. As paredes celulares, isoladamente, em órgãos esclerificados com elevado teor de apoplasma, ou em combinação com uma pressão interna das células, são responsáveis principais pela firmeza das frutas e hortaliças. Firmeza que é importante, por exemplo, para suportar os estresses de impacto e compressão quando produtos como a abóbora ou a melancia são transportados a granel em caçambas e carrocerias que chegam a possuir mais de 100 cm de altura.

Tabela 1: Volume gasoso (V_G) e firmeza típica de aplanção (kgf/cm^2) em relação à presumida tolerância aos estresses de impacto e compressão de algumas hortaliças.

| Hortaliça | Cultivar | V_G % | Firmeza | Compressão | Impacto |
|--------------|-------------------|---------|---------|------------|----------|
| abóbora | Jacarezinho | 5,47 | - | elevada | elevada |
| batata | Achat | 0,3 | 5 | elevada | média |
| batata-baroa | - | 1,36 | 6 | elevada | média |
| batata-doce | Brazlândia Rosada | 6,9 | 5 | elevada | média |
| berinjela | - | 40 | 1 | reduzida | elevada |
| beterraba | - | 2,9 | 5 | elevada | média |
| cebola | São Paulo | 10,1 | 5 | elevada | média |
| cenoura | Brasília | 2,1 | 7 | elevada | baixa |
| chuchu | - | 2,75 | 2 | elevada | elevada |
| jiló | - | 40% | 1,5 | reduzida | elevada |
| laranja | Pera | - | 0,8 | elevada | elevada |
| maçã | Golden Delicious | 22% | 2 | média | reduzida |
| mandioca | - | 4,1 | - | elevada | reduzida |
| maracujá | Amarelo | 30 | - | média | elevada |
| tomate | Kada | 6 | 1 | reduzida | reduzida |

O terceiro sistema supracelular, o simplasma, é constituído pela parte fluida das células, onde se encontram o núcleo, o vacúolo, que chega a ocupar mais de 70% do volume interno das células parenquimáticas diferenciadas, o citoplasma e organelas essenciais à vida, dentre as quais se incluem os mitocôndrios, como uma central energética, e os cloroplastos como uma central de captura da energia radiante que utiliza luz e água para a fixação do dióxido

de carbono em açúcares. O protoplasma de cada célula individualmente é ligado ao protoplasto das células vizinhas mediante conexões plasmáticas, envoltas por membrana lipoproteica, que são denominadas de plasmodesmos. Em cada célula, a membrana plasmática é a divisória semipermeável que separa o protoplasma da parede celular e, ao mesmo tempo, une células vizinhas mediante a sua continuidade através dos plasmodesmos.

O apoplasma e o simplasma operam juntos para conferir forma e rigidez aos órgãos de vegetais herbáceos, às frutas e às hortaliças, que não possuem quantidade suficiente quantidade de estrutura lenhosa de tecidos fibrosos, isto é, com paredes celulares espessas e lignificadas. Assim, nesses órgãos, a rigidez é similar à que se tem em um balão de parede fina preenchido com gás sob pressão. Assim, a resistência mecânica de muitas frutas e hortaliças depende principalmente da pressão de turgescência de suas células, isto é, da pressão com que o simplasma distende o apoplasma. Assim, essa rigidez dos órgãos vegetais depende de interações fisiológicas complexas cuja fundamentação é importante para se entender as respostas destes produtos às injúrias mecânicas.

4. Forças internas que estabilizam os órgãos vegetais

A forma das células vegetais, em geral, é uma resposta fisicamente apropriada de ocupação de volume de acordo com a competição com células vizinhas. Assim, as células de órgãos, como frutos, possuem forma e dimensões que são respostas a variações dinâmicas de forças intracelulares e também às forças externas a que o órgão é sujeito.

No interior da célula, a pressão de turgescência (P_s) possibilita que esta ocupe volume entre as outras células, sempre que a sua pressão (P_s) seja igual ou maior que a pressão no interior das suas células vizinhas. No caso contrário, sendo o seu P_s menor, então estas células são comprimidas, morrem e passam a existir apenas como agregados de paredes celulares mortas a planta. Adicionalmente, a pressão de turgescência P_s é a pressão que promove o crescimento celular mediante a indução de relaxamento plástico das paredes celulares (CALBO e PESSOA, 1994). Também é a pressão de turgescência P_s que causa a separação parcial das lamelas médias entre as células, o que é a principal causa do desenvolvimento de volumes intercelulares, por onde permeia o O_2 , essencial à respiração (CALBO e NERY, 2001).

Outra força celular importante é aquela que ocorre na matriz das paredes celulares, e que é denominada de tensão da água no apoplasma (P_A). Essa tensão possibilita o movimento da água entre as células de partes distantes da planta, como as raízes e folhas, por exemplo. O limite entre os domínios da água com pressão de turgescência P_s e da água sob tensão P_A é a membrana plasmática das células. P_A , portanto, é tensão, ou pressão negativa, da água nas paredes celulares, e é também denominada de tensão da água no apoplasma e de tensão da água no xilema. Segundo (CALBO e PESSOA, 1994), há evidências de que P_A seja uma das forças relacionadas à estabilidade da agregação entre as células e da própria origem da pressão de turgescência (P_s) em alguns tecidos sob estresse hídrico.

Externamente, as forças que atuam sobre os órgãos vegetais costumam ser menos importantes para determinar as formas das células e a forma dos órgãos do que P_s (pressão de turgescência) e P_A (tensão da água no apoplasma). Essas forças externas, no entanto, são relevantes durante o desenvolvimento das raízes e particularmente na vida pós-colheita de frutas e hortaliças.

Do ponto de vista de órgãos inteiros, a disputa por volumes entre as células pode ser ilustrada, por exemplo, pelo crescimento de melancias “quadradas”, quando o crescimento deste, ou de outros órgãos, ocorre sob restrição, no caso, imposta pelo uso de uma fôrma quadrada, transparente e de grande resistência mecânica, o que possibilita a manutenção do órgão sob permanente estado de compressão. Sob o ponto de vista quantitativo, órgãos como frutos podem ter pressão de turgescência (P_s) da ordem de $2,0 \text{ kgf cm}^{-2}$. Por essa razão, a restrição do crescimento de um fruto de melancia através de uma face de $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ requer uma placa forte que não quebre sob a ação de forças da ordem 800 kgf . É evidente que a necessidade de tamanha resistência mecânica onera disponibilidade deste produto de alto valor agregado, que eventualmente tem sido objeto da curiosidade pública. As forças para restringir o crescimento de raízes são ainda maiores, tendo-se em vista que nestes órgãos ocorrem pressões de turgescência da ordem de 7 kgf cm^{-2} (Tabela 1).

4.1 Razão de compressão (α), um parâmetro importante em pós-colheita

A razão de compressão ($\alpha = s/S$) é um parâmetro adimensional obtido com uma fração entre o comprimento médio transversal contíguo s entre células vizinhas e a média do comprimento total do lado S (Fig. 1) destas vizinhanças celulares. Nos tecidos, o corte transversal de cada célula contém cantos arredondados com os volumes gasosos intercelulares formados entre três ou mais células vegetais (CALBO e NERY, 2001). A razão de compressão α varia entre a unidade (1,0) e zero. Razão de compressão $\alpha = 1,0$ ocorre em células meristemáticas perfeitamente poligonais. Durante o desenvolvimento dos tecidos, a razão de compressão diminui conforme são formados os volumes gasosos intercelulares, que possibilitam a entrada de O_2 nos órgãos volumosos. Em alguns órgãos, durante a senescência, a hidrólise da lamela média é muito grande e a razão de compressão se aproxima de zero ($\alpha = 0,0$), o que dá ao órgão uma textura “farinhenta” e pouco apreciada. Neste caso, as células já estão todas com forma elipsoidal cujo corte transversal é aproximadamente um círculo.

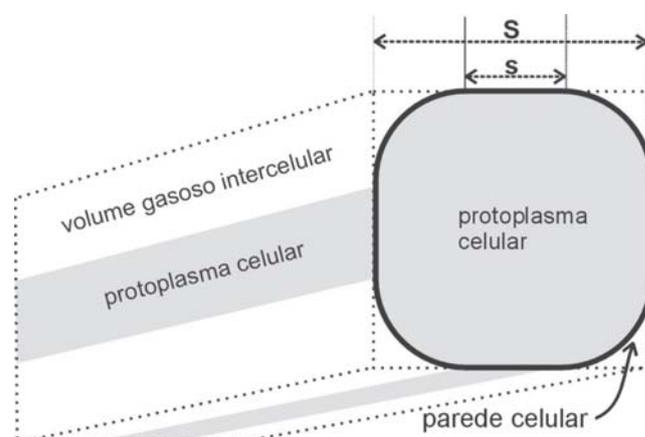


Fig. 1: Corte de uma célula alongada, idealizada no interior de um tecido, ilustrando como são tomados os valores do comprimento transversal contíguo s e o comprimento transversal S em cada duas células vizinhas, valores necessários para calcular a razão de compressão $\alpha = s/S$.

A razão de compressão $\alpha = s/S$ é uma variável que determina a percentagem de volume gasoso intercelular no tecido e, por conseqüência, determina, parcialmente, a densidade do órgão vegetal. Durante o desenvolvimento do órgão vegetal, a turgescência celular e a hidrólise das lamelas médias estão relacionadas ao aumento do volume gasoso intercelular e, por conseqüência, com a redução da razão de compressão.

Estresses de compressão causam aumento da razão de compressão (α) e, em situações severas, esse estresse mecânico faz que α se aproxime do valor um (1,0). Quando α se aproxima da unidade, então, as células já estão todas completamente poligonais, isto é, sem volumes gasosos intercelulares, condição que dificulta a difusão de oxigênio para o interior dos tecidos sob estresse de compressão, conforme se comprovou em tomate e batata-doce com o uso de eletrodo de O_2 (CALBO et al., 1995).

Tratamentos e efeitos fisiológicos plásticos durante o amadurecimento podem causar variação na magnitude da razão de compressão (α) dos tecidos vegetais. Desta maneira, a manutenção de valor estável da razão de compressão (α) é um indicativo da estabilidade celular ou, mais particularmente, trata-se de um indicativo da estabilidade dos volumes gasosos intercelulares, em órgãos cujo volume total pode estar flutuando devido a processos como a desidratação e o crescimento. Assim, um estresse de compressão será considerado elástico caso o valor do volume gasoso intercelular e a razão de compressão voltem ao seu valor inicial após a remoção deste estresse mecânico, que tantas perdas causa a produtos como o tomate, a banana e o mamão.

4.2 Pressão de agregação celular

Pressão de agregação celular é uma força (por unidade de área) que mantém as células unidas entre si através

da lamela média. Tipicamente, a pressão de agregação instantânea é elevada em tecidos meristemáticos, que têm volume gasoso intercelular nulo e valores de turgescência celular elevado.

A pressão de aplanação medida com a técnica de aplanação, aparentemente, estima o valor instantâneo da pressão de agregação celular. Caso o valor limiar da pressão de agregação seja ultrapassado, a tensão de cisalhamento (T_L) é tal que promove paulatina separação das células vizinhas (Fig. 1). A questão sobre se a pressão de aplanação é, ou não, a estimativa instantânea e correta da pressão de agregação limiar, no entanto, é considerado um assunto aberto e desprovido de provas matemáticas e/ou experimentais.

A relação entre a pressão de turgescência e a pressão de agregação celular instantânea conforme Calbo e Nery (2001) é dada pela expressão:

$$p = \alpha P_s \quad \text{Eq. 1}$$

Onde p é a pressão de agregação celular instantânea, α é a razão de compressão e P_s é a pressão de turgescência celular. Com essa expressão, calcula-se a pressão de turgescência celular média, sabendo-se α e tendo-se uma estimativa de p obtida pela técnica de aplanação (CALBO e NERY, 2001).

A aplicação de compressão externa aumenta o valor de α , porque aumenta o contato entre as células vizinhas. Nesse sentido, uma questão interessante e que merece estudo é se paredes celulares separadas podem ser novamente ligadas (química ou fisicamente) através da lamela média de órgãos vegetais submetidos à compressão. Suspeita-se que a resposta a essa questão seja afirmativa, tendo-se em vista observações reiteradas de redução irreversível de volumes gasosos intercelulares durante ensaios de compressão de tomate (PEREIRA e CALBO, 2000).

Para complementar essa resposta, deve-se considerar que a razão de compressão é uma variável que diminui com o aumento do teor de volume gasoso intercelular v_G no tecido. Assim, em um órgão com volume gasoso estável, a razão de compressão α e o volume gasoso intercelular (v_G) relativo são mantidos constantes. Diferentemente, em um órgão em amadurecimento, por exemplo, as lamelas médias são separadas por enzimas hidrolíticas, o que, conseqüentemente, aumenta v_G e diminui α .

4.3 Cisalhamento celular

A tensão de cisalhamento (T_L) é a razão entre a força de separação das células (F) causada pela turgescência celular e o comprimento da lamela média que une as células vizinhas nas interfaces célula/célula vizinha/volume gasoso intercelular (Fig. 1). Desta forma, T_L pode ser expresso:

$$T_L = s P_s / 2 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde P_s é a pressão de turgescência celular, e s é o comprimento médio transversal contíguo entre células vizinhas. Assim, no caso da batata-doce do estudo de Calbo & Nery (2001), tomando-se a pressão de turgescência estimada de 1430 kPa e imaginando-se que o lado transversal das células vizinhas em contato tenha comprimento $s = 2 \cdot 10^{-5}$ metros, calcula-se que $T_L = 7,1 \text{ N m}^{-1}$, valor muito parecido à estimativa da tensão de cisalhamento apresentada no mencionado artigo.

Conforme a equação 2, quanto maiores são as células, maior é a tensão de cisalhamento (T_L), que tende a separá-las em nível de lamela média. Outro aspecto importante é que a tensão de cisalhamento diminui conforme o volume gasoso intercelular aumenta, de modo que cada tecido maduro atinge valores de volume gasoso intercelulares de equilíbrio típicos do tecido, da cultivar e da espécie.

5. Compressões, pilhas e embalagens

Em pós-colheita, o estresse de compressão é o mais simples e o mais comum. Apesar de simples, o seu entendimento é básico para definir os limites físicos de altura para pilhas e embalagens de frutas e hortaliças (LUENGO, 2005; LUENGO et al., 2003). Tratamentos fisiológicos do estresse de compressão, por outro lado, são encontrados em trabalhos como Calbo e Nery (1995, 2001), Pereira (1996) e em Pereira e Calbo (2000). Como um breve sumário, nesses artigos se demonstra que, conforme a compressão sobre órgãos como frutos de tomate, tubérculos de batata ou raízes de batata-doce aumenta, inicialmente o volume gasoso intercelular é reduzido

rapidamente até ser completamente dissipado quando a compressão local atinge valores de pressão similares à pressão de turgescência celular. Dependendo do órgão, os efeitos dos estresses de compressão são cumulativos e irreversíveis. Nesses trabalhos, demonstra-se também que a redução dos volumes gasosos intercelulares causa obstrução à entrada de oxigênio para a respiração nas células da região comprimida. Como consequência dos estresses de compressão, pode ocorrer atraso do amadurecimento em situações moderadas, e deterioração em situações mais graves. Métodos específicos como o uso de eletrodo de oxigênio, volumetria e cromatografia a gás possibilitaram o entendimento dessas respostas fisiológicas.

Para se ter uma idéia rápida dos efeitos do estresse de compressão, pode-se comprimir um pequeno corpo de tecido vegetal de (4 mm X 0,8 mm X 0,8 mm), berinjela, por exemplo, entre duas pequenas placas de vidro transparentes de (5 mm X 50 mm X 50 mm). Assim, aumentando-se progressivamente a compressão das placas entre as mãos, observa-se que o tecido, inicialmente esbranquiçado, torna-se translúcido e, aumentando ainda mais a compressão, a água é ultrafiltrada e escoada pelas bordas do tecido vegetal. Liberando-se a compressão, o órgão reabsorve o ar e também a água. O retorno ao estado inicial é tanto maior quanto mais elástico puder ser considerado o tecido vegetal. Neste pequeno ensaio baseado no método de Shayo-Ngowi e Campbell (1980), observam-se os principais efeitos que ocorrem nos estresses de compressão: a deformação do tecido, a redução dos volumes gasosos intercelulares e, nas compressões mais fortes, a ultrafiltração de água do interior das células para os volumes intracelulares. Todo esse processo ocorre sem nenhuma ruptura celular, mesmo quando a compressão aplicada excede, em magnitude, o valor da tensão da água no apoplasto (P_A), causando a ultrafiltração da água do simplasma para o apoplasto e, a seguir, para fora do tecido vegetal.

Dos estresses de compressão, Calbo e Nery (2001) extraíram parâmetros básicos como módulos de elasticidade, à semelhança do que havia sido feito com métodos microscópicos (STEUDLE e ZIMMERMANN, 1977; MURPHY e ORTEGA, 1995). Dos estudos de compressão do tipo descrito por Shayo-Ngowi e Campbell (1980) no parágrafo anterior, poder-se-iam, adicionalmente, obter estimativas da condutividade hidráulica de tecidos submetidos a estresse de compressão; isso, porém, aparentemente, continua não estudado e aberto à experimentação.

6. Choques e impactos em pós-colheita

Em tese, o estresse de impacto, sob o ponto de vista de fisiologia vegetal, pode ser interpretado, na sua componente principal, como uma injúria de compressão muito forte, de duração muito reduzida, mesmo sem detalhamento algum das necessárias inferências físico/fisiológicas. Como componentes menores, o estresse de impacto também causa outros efeitos como, por exemplo, a separação entre placenta e sementes de frutos carnosos, por tensões diretas e/ou vibrações induzidas pelo impacto. A magnitude das compressões celulares causadas por impactos permanece como um desafio científico. Presentemente, apenas se podem estimar, aproximadamente, os valores dessas compressões celulares mediante a aplicação de conceitos básicos de conservação de energia, momentum e de coeficientes de elasticidade. Estudos com micro-sensores de pressão inseridos no tecido vegetal e até mesmo estudos com micro-acelerômetros inseridos em tecido vegetal seriam muito importantes para lançar informações novas e realmente indispensáveis ao desenvolvimento deste tema. As micros-sondas de pressão, como as utilizadas por STEUDLE e ZIMMERMANN (1977) ou por MURPHY e ORTEGA (1995), ainda estão muito longe de serem adequadas para aplicação em estudos de estresse de impacto mecânico, pois tais estudos exigem sensores muito rápidos, diminutos e robustos.

Dada a mencionada falta de transdutores celulares adequados, ainda não foi possível a obtenção de curvas experimentais de pressão, em função do tempo de atuação das pressões induzidas nas células vegetais, quando um órgão sofre um choque mecânico. A disponibilidade dessas informações poderiam ser esclarecedoras para estabelecer os distúrbios diretos causados pelo estresse de impacto aos sistemas supracelulares, especialmente no interior das células (simplasma). Para o binômio tempo de exposição versus compressões induzidas pelos choques imagina-se que as pressões desenvolvidas durante o impacto sejam relacionadas, talvez proporcionais às acelerações percebidas em cada uma das células dos órgãos. Caso o impacto seja contra uma superfície massiva e de baixo módulo de elasticidade, então as acelerações serão evidentemente maiores nas proximidades da superfície do

vegetal que bate. O lado oposto do órgão deve sofrer desaceleração de magnitude menor. Por enquanto, o impacto de frutas e hortaliças tem sido estudado mediante a aproximação com modelos que não consideram as células vegetais, suas paredes e seus volumes intercelulares. Para o progresso científico neste campo, portanto, há necessidade de que as estruturas celulares, as pressões internas, as rupturas e a condutividade hidráulica sejam consideradas diretamente dentro de uma perspectiva de obtenção de interpretações fisiologicamente cabíveis.

Porém, mesmo sem essas pressões celulares medidas no tempo, como informações preliminares pode-se imaginar que: primeiro, a duração do impacto é diminuta e impõe ondas de choque com duração da ordem de mili segundos, o que é um intervalo de tempo insuficiente para fazer que quantidades substanciais de água sejam expulsas das células por ultrafiltração, tendo-se em vista a ordem numérica dos valores da permeabilidade hidráulica da membrana plasmática (HUSKEN et al., 1978); segundo, em estresses de impactos severos ocorre ruptura de algumas células mais frágeis, presumidamente no tecido subdermal, onde as paredes celulares são mais finas, e a abertura (janelas maiores) para volumes gasosos são regiões conceitualmente mais frágeis e mais susceptíveis a ruptura. Durante a migração da onda de choque possivelmente as células possam ser expostas a pressões superiores a 5,0 MPa, o que pode ser suficiente para causar ruptura celular. A disponibilidade de volumes gasosos também facilita a ocorrência de tensões em estruturas mais soltas, o que causa, por exemplo, a separação de estruturas como semente/placenta nas cavidades locais durante o impacto.

Como o conteúdo do protoplasto celular é altamente hipertônico, a ruptura e vazamento do conteúdo celular causam um transitório encharcamento do tecido sujeito ao estresse de impacto, que é tanto mais duradouro quanto maior for o número de células rompidas. A escala de tempo para a ocorrência desse fenômeno, possivelmente, dure de minutos até horas ou mesmo dias, dependendo da escala do estresse. Infelizmente, sob o ponto de vista de fisiologia vegetal, essas rupturas celulares ainda não foram devidamente quantificadas. Felizmente, os estresses secundários que se desenvolvem após os danos primários do impacto têm sido mais estudados, principalmente sob o ponto de vista da perda de qualidade e da deterioração pós-colheita (MORETTI et al, 1998, 2002b; OLORUNDA e TUNG, 1985). Um tratamento mais sistemático desses sintomas como efeito de estresses secundários, por exemplo, induzidos por falta de O₂ no entanto, ainda precisam ser realizados, talvez seguindo os passos conceituais desenvolvidos por Levitt (1980).

O papel dos volumes gasosos intercelulares, como acolchoamento para o impacto, é um assunto ainda não trabalhado. O sistema é complexo, envolve fluxos e solubilizações do ar contido na atmosfera interna do produto. É uma complementação cientificamente importante que também dependerá de desenvolvimentos instrumentais e metodológicos. Do ponto de vista de correlações, sem maior aprofundamento teórico sabe-se que órgãos com elevada porcentagem de volumes gasosos intercelulares, como a berinjela (Tabela 1), tendem a ser mais resistentes ao estresse de impacto.

Outro aspecto que modula a severidade do estresse de impacto é a pressão de turgescência celular. Órgãos mais desidratados e macios absorvem melhor os estresses de impacto e sofrem menores níveis de danos celulares, possivelmente porque as pressões internas das células não atinjam magnitude suficiente para induzir ruptura celular. Mesmo sem aplicação do estresse de impacto, o simples aumento da pressão das células por hidratação após um período seco, ou por infiltração a vácuo, já é suficiente para induzir rachaduras na maioria dos órgãos vegetais, como é o exemplo das rachaduras radiais e concêntricas do tomate (CALBO, 1990). Em órgãos túrgidos, especialmente se alongados, como no caso das raízes de cenoura, as tensões causadas pelo impacto frequentemente causam rachaduras transversais.

As situações que causam injúria de impacto em frutas e hortaliças devem ser caracterizadas e reduzidas nas etapas de:

- 1) colheita, na qual o uso de acessórios como sacolas para colher pêssegos e maçã, e de cestos especiais para colher figo aceleram a colheita e diminuem os impactos, em comparação ao método tradicional, em que os frutos são jogados em caixas arrastadas no chão, ou colocados em cestos inadequados de bambu;
- 2) beneficiamento, em que é comum a ocorrência de quedas na recepção do produto e nas cantoneiras, e entre mesas e esteiras de movimentação e seleção. Para esses tipos de injúrias de impacto, o uso de esfera instrumentada, registrador de acelerações acima de valores limiares tem sido útil para promover melhorias de operação em casas de embalagem (“packinghouse”) (MAGALHÃES e FERREIRA, 2006), em geral associadas a soluções como o amortecimento desses impactos e no planejamento mais cuidadoso do sistema;

- 3) reclassificação, uma duplicação do beneficiamento, etapa que não deveria ocorrer, mas que é observada até mesmo em importantes entrepostos como o CEAGESP de SP, por exemplo, no caso do tomate de mesa (ANDREUCCETTI et al., 2005);
- 4) movimentação de caixas, que deveria ser efetuada frequentemente de maneira mecanizada, é manual. Problema que induz os trabalhadores, por cansaço ou por falta de instrução, a jogarem as caixas;
- 5) despejo de embalagens sobre os balcões na comercialização é outro problema; preferencialmente a caixa de transporte deveria também ser a caixa de exposição, de modo que se eliminassem manuseios e mais impactos de queda nas frutas e hortaliças (LUENGO, 2005).

7. Fisiologia de órgãos sujeitos a estresses mecânicos

Ao longo do tempo, o órgão inteiro apresenta respostas auto-regulatórias complexas, características de sua fisiologia. Caso o estresse seja puramente elástico, após a remoção do estresse, a auto-regulação possibilita que o órgão volte ao estado homeostático anterior, conforme observado quando estresses de compressão modestos foram aplicados em folhosas (LUENGO, 2005) e em frutos de tomate (PEREIRA, 1996; PEREIRA e CALBO, 2000).

Possivelmente, a resposta de longo prazo a estresses maiores que causam deformações plásticas, sejam eles causados por compressão ou por impacto, envolve respostas fisiológicas complexas de sinalizadores bioquímicos e da ação hormonal, por exemplo, mediadas pelo etileno, um hormônio de amadurecimento e estresse (YANG e HOFFMAN, 1984). Conforme Levitt (1980), estresses primários elásticos, isto é, que possibilitam um retorno à situação inicial sem deixar deformações, marcas, podem induzir estresses secundários que causam danos ao órgão vegetal. Nesse sentido, SILVA e CALBO (1992) evidenciaram que estresses de compressão causam efeitos plásticos, mediados por hipoxia, redução na taxa respiratória, atraso de amadurecimento e aumento na deterioração de frutos de tomates. Esses efeitos ocorrem porque a compressão reduz substancialmente os volumes gasosos intercelulares e causam dificuldades para a entrada do oxigênio nos tecidos comprimidos, um assunto que foi extensivamente comprovado em detalhado trabalho de Pereira (1996), com a utilização de novos métodos de medição de volumes gasosos intercelulares (CALBO et al., 1995). Em batata, similarmente, o estresse de compressão, associado à desidratação do produto, pode causar escurecimentos internos no tubérculo (coração negro), e pode de maneira similar ser induzido por temperaturas acima de 30 °C (BURTON, 1982), um tipo de hipoxia de estresse secundário devida à deformação dos volumes gasosos intercelulares.

Deste modo, mesmo injúrias mecânicas leves e moderadas que não deixam marcas facilmente identificáveis podem causar efeitos deletérios permanentes, que envolvam, por exemplo, alterações de qualidade sensorial (MORETTI e SARGENT, 2000; MORETTI et al., 2002b), efeitos sobre a taxa de respiração, evolução de etileno e de amadurecimento, e aumento na taxa de deterioração (LEE et al., 2004; MATTIUZ e DURIGAN, 2001; PEREIRA e CALBO, 2000). Nesse ponto, é interessante esclarecer que em frutos de tomate submetidos a estresse de impacto, inversamente ao descrito para estresse de compressão (SILVA e CALBO, 1992), ocorre um aumento na taxa respiratória acompanhado de aumento na evolução de etileno e aceleração do amadurecimento (LEE et al., 2004; MATTIUZ e DURIGAN, 2001).

A complexidade dos estresses secundários considerados por Levitt (1980) pode ser evidenciada no caso das severas perdas que se observam na maioria das cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em função das injúrias mecânicas de colheita. Trata-se de uma deterioração fisiológica, uma resposta que não se restringe às áreas próximas ao ferimento. Assim, na mandioca, o distúrbio de escurecimento fisiológico se desenvolve e toma todo o sistema vascular da raiz. A ocorrência e a velocidade do desenvolvimento desse distúrbio de injúria mecânica dependem do genótipo (BUSCHMANN et al., 2000). A resposta inicial da raiz da mandioca ao ferimento é a obstrução dos vasos do xilema, que rapidamente são preenchidos por tilose. Na seqüência, durante o armazenamento, o seu sistema vascular desenvolve cor escuro-azulada, causada pela acumulação de hidroxycumarinas nas paredes celulares dos tecidos da polpa. Essas hidroxycumarinas, observáveis por espectroscopia na mandioca escurecida, são principalmente esculina, esculetina, escopolina e a escopoletina, substâncias que

emitem fluorescência de cor azul. Esses produtos insolúveis e fluorescentes acumulam-se principalmente nas paredes celulares (apoplasma) das células do parênquima (BUSCHMANN et al., 2000). Em seguida a este denominado escurecimento fisiológico, em geral segue-se a deterioração microbiana (KATO e SOUZA, 1987).

Além de estresses secundários de injúria de compressão e impacto, o órgão vegetal também pode, eventualmente apresentar reações de cicatrização. Um exemplo é descrito para frutos de abacate. Sanches et al. (2007), por microscopia eletrônica de varredura, observaram que estresses de impacto, queda do fruto na colheita, causam fissuras internas da polpa próximas ao caroço (semente). As fissuras que ocorrem neste órgão pré-climatérico relativamente rijo, no entanto, são cicatrizadas e visualmente “desaparecem” graças ao espessamento dos tecidos ao redor da fissura durante um período de 5 dias a 25 °C. Nesses efeitos secundários aos estresses mecânicos, a interação com o ambiente é muito importante e, no caso do inhame (*Colocasia esculenta*), por exemplo, a cicatrização obtida em um processo denominado cura pode ocorrer, caso o produto seja mantido durante uma semana em ambiente úmido entre 15 e 25 °C, o que possibilita a cicatrização dos ferimentos de colheita com a formação de uma periderme com deposição de lignina e compostos fenólicos (URITANI, 1999).

Obter conhecimento sobre os efeitos fisiológicos secundários de longo prazo das injúrias mecânicas, como sobre a respiração, evolução de etileno, amadurecimento, abscisão, cicatrização e escurecimento, como visto, pode ser uma atividade trabalhosa que envolve quantificações, por vezes complexas e efetuadas ao longo do tempo, em laboratório.

8. Métodos de avaliação de resistência mecânica

Para definir a altura de pilhas de produtos e da altura adequada de embalagens, e até para tomar medidas da firmeza dependente da turgescência celular, um instrumento eficaz é o aplanador vertical de Calbo e Nery (1995) ou, na sua forma mais simplificada, o aplanador de pedestal (CALBO, 2000). Feito de um simples suporte vertical e de uma cuba (Fig. 2) no aplanador de pedestal, o peso da cuba define uma pequena área amassada sobre a superfície do fruto. Nos aplanadores vertical ou pedestal, a firmeza (p) é medida como a razão entre o peso da cuba e a área amassada sob ela no órgão vegetal. A cuba, ou a ponta de prova do aplanador vertical, precisa ter um peso mínimo para aplanar suficientemente uma área da superfície do produto, a fim de possibilitar medidas precisas dos diâmetros maior e menor da área amassada, o que é feito com um paquímetro.

Procedimento: repousa-se a cuba sobre o órgão no pedestal, conforme ilustra a Figura 2. A firmeza (p) é medida após cerca de um minuto, dividindo-se o peso da cuba (Força, em kgf) pela área aplanada (amassada), órgão (Área, em cm²) que sustenta o peso da cuba.

$$p = \text{Força}/\text{Área} \quad \text{Eq. 3}$$

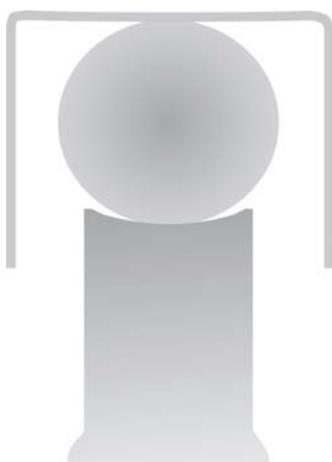


Fig. 2: Aplanador de pedestal para medir a firmeza dependente da pressão de turgescência celular, como razão entre o peso do frasco e a área do órgão aplanada sob a ação deste peso.

A visualização da área aplanada sob a placa de vidro é usualmente fácil. No entanto, em alguns casos, pode ser necessária a aplicação de uma delgada camada de óleo mineral (de baixa viscosidade) com um tecido absorvente,

ligeiramente (muito pouco) umedecido. Para estimar a área aplanada, mede-se o comprimento (diâmetro maior) e a largura (diâmetro menor) do elipsóide de amassamento, e calcula-se a área aplanada com fórmula da superfície de uma elipse (Eq. 4).

$$\text{Área} = \pi \times \text{Comprimento} \times \text{Largura} / 4 \quad \text{Eq. 4}$$

Cubas de massa adequada para fazer medições com a técnica de aplanação podem ser escolhidas de acordo com o seguinte critério: Frutos pequenos como a jaboticaba, o morango e a uva devem ser ensaiados com cubas de peso entre 0,150 e 0,300 kgf. Frutos médios como a maçã, a pêra e o tomate devem ser ensaiados com cubas de peso ao redor de 1 kgf. Frutos grandes como a melancia e produtos mais firmes como a batata, batata-doce, beterraba e a cenoura devem ser ensaiados usando-se pesos de 2 a 5 kgf.

Inicialmente, um método de aplanação similar ao aqui descrito foi proposto por Bernstein e Lustig (1981) para bagas de uva que eram tratadas fisicamente como se fossem bolas cheias de fluido sob pressão, cuja membrana externa era fina e impermeável. Posteriormente Calbo e Calbo (1989) e Calbo e Nery (1995) evidenciaram que a técnica de aplanação poderia também ser utilizada para medir a firmeza dependente da turgescência celular em qualquer fruta ou hortaliça com tecido dermal macio e superfície dermal convexa, mesmo que a idéia de considerar a fruta ou hortaliça como uma bola cheia de fluido não pudesse ser considerada uma aproximação razoável. Presentemente, a pesquisa de novos firmômetros especializados está estendendo medições de firmeza por aplanação para outros órgãos menos regulares e, inclusive, para folhas, neste caso, mediante o uso de um recentemente desenvolvido Wiltmeter (EMBRAPA, 2007).

Penetrômetro é um outro instrumento muito importante para avaliar a firmeza e a capacidade de as frutas e hortaliças tolerarem estresses de compressão e impacto. Há diferentes tipos de penetrômetros, cujos resultados sempre devem ser expressos como força para a penetração do tecido vegetal, em Newtons ou em kgf. As ponteiros utilizadas em penetrômetro devem ser padronizadas. Por exemplo: a ponteira cilíndrica de 8 mm de diâmetro é utilizada para frutos como o tomate, a pêra e a maçã. Assim, o sistema de medir a força de penetração pode ser de diferentes tipos, por exemplo, de mola, que é utilizada na maioria dos penetrômetros antigos e de baixo custo.

A medição de firmeza com um penetrômetro a gás muito simples (Fig. 3) foi descrita por Calbo e Moretti (2005). O marcador da posição final do êmbolo após a compressão, feito com um anel de plástico flexível, um arame de aço para puxar esse marcador, uma tampa e uma ponteira constituem o sistema. Neste penetrômetro, a força de penetração é calculada com a equação 5.

$$F = A p_b [(v_i / v_f) - 1] \quad \text{Eq. 5}$$

Onde A é a área transversal do êmbolo, 10 ml é o volume inicial (v_i), v_f é o volume final, e p_b é a pressão barométrica local em kgf cm⁻² ao nível do mar (1 kgf cm⁻²), p_b é a pressão barométrica local e F é a força aplicada no penetrômetro em kgf. O valor da pressão barométrica local (p_b) em kgf cm⁻² pode ser estimada por proporcionalidade, sabendo-se que, ao nível do mar, a pressão é 1,00 atm ou 760 mm de Hg. Assim, caso a pressão barométrica local seja de 690 mm de Hg, então, por proporcionalidade calcula-se que esta pressão barométrica em kgf cm⁻² é: $p_b = 0,908$ kgf cm⁻².

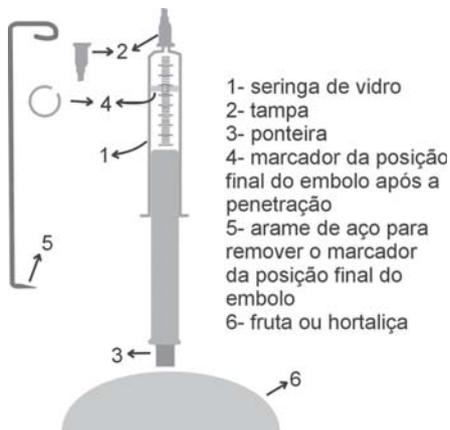


Fig. 3: Esquema de um penetrômetro a gás com ponteira cilíndrica de 8 mm em bronze, colado ao êmbolo com cola epóxi. Detalhes do marcador de posição, do arame de aço utilizado para remover o marcador de posição após as medições estão ilustrados.

Procedimento: (a) Para a maioria dos produtos, a película ou casca deve ser removida com um lâmina afiada; (b) Molha-se o êmbolo com água destilada para que não ocorra vazamento de ar durante as medições; (c) Aperta-se o penetrômetro até que a ponteira fure o fruto e deixe o marcador (4) em sua posição final; (d) Os resultados de firmeza calculados com a equação 5 devem ser apresentados em unidades de força Newton ou quilograma força. Observe que não é válido apresentar esses resultados em pressão, visto que a força registrada não é proporcional à área da ponteira; (e) Os valores dos resultados de penetrômetro são de natureza comparativa, e por isso, é importante utilizar ponteiras recomendadas, ou que sejam de uso corrente para um dado produto. Tipicamente, as ponteiras são cilíndricas, cônicas ou arredondadas. A ponteira mais usada tem sido a ponteira cilíndrica de 8 mm. Ponteiras cônicas são empregadas, por exemplo, para avaliar a resistência da película; (f) Para obter resultados com menor variabilidade convém pressionar os órgãos sempre da mesma maneira; às vezes, o penetrômetro é fixado a uma alavanca para esta operação.

O penetrômetro é um instrumento para a avaliação de certos tipos de firmeza, de qualidade e de ponto de colheita para diversas frutas e hortaliças. Tipicamente, a firmeza por penetração é uma leitura que diminui durante o amadurecimento de frutos como o caqui, a maçã, o melão, a pêra, o pêssego e o tomate. Em materiais vegetais nos quais ocorre degradação bioquímica da parede celular durante o amadurecimento, é que o penetrômetro encontra uma valiosa aplicação. O penetrômetro, não é útil ou, pelo menos, tem causado dificuldades no caso das avaliações da redução da firmeza causada por desidratação: a pressão para perfurar o órgão é tanto maior quanto menor for a pressão de turgescência celular, percebida pelo tato ou lida com aplanador. Nesses casos, o bom senso, habitualmente, resolve a situação com o uso de um instrumento de resposta mais direta nesta aplicação particular, por exemplo, o aplanador de pedestal descrito anteriormente.

9. Estresses mecânicos e a definição da altura de pilhas e embalagens

Pereira (1996) e Pereira e Calbo (2000) detalham o comportamento de frutos de tomate submetidos a compressão no interior de embalagens no que tange aos seus efeitos fisiológicos mediados pela redução do volume gasoso intercelular, da movimentação dos frutos no interior da caixa e do aumento das áreas amassadas contra frutos vizinhos e contra a embalagem no decorrer do tempo.

No artigo “*Avaliação da compressão em hortaliças e frutos...*” Luengo et al. (2003) explicitam um método simples de definição da altura máxima de pilhas de frutas e hortaliças “elipsoidais” baseado na técnica de aplanção para determinar a firmeza dependente da turgescência celular. Isso foi possível dada a proporcionalidade entre peso total do produto e a sua área total amassada contra a base da pilha. Para isto, Luengo et al. (2000) mediram a pressão de aplanção, com a técnica de aplanção/firmômetro e, por proporcionalidade, fizeram as primeiras estimativas teóricas das alturas toleráveis de pilhas de frutas (e.g. laranja, manga, maçã) e de hortaliças (e.g. batata, cebola, cenoura). Para tanto, definiu-se que pilha (H_p) é igual a 50 vezes a firmeza dada como pressão de aplanção (p) em kgf cm^{-2} dividida pelo peso específico aparente do produto (ρ_{AP}), de acordo com a equação 6.

$$H_p = \Phi_1 \times p / \rho_{AP} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde H_p é a altura da pilha do produto; Φ_1 um coeficiente técnico cujo valor foi 50; p é a firmeza do produto em kgf/cm^2 ; e ρ_{AP} , o peso específico do produto. A estimativa do coeficiente técnico Φ_1 foi obtida partindo-se do pressuposto de que 5% da área (cm^2) da base da pilha contatando frutos amassados contra este piso é um limite da resistência do produto. A altura da pilha (H_p) foi tomada como a altura de um paralelogramo cuja base é a área da própria base da pilha. Assim, amassamentos de produto da primeira camada que cubram mais de 5% da base da pilha foram tomados como prejudiciais ao valor comercial. Como se vê, trata-se de um método direto e simples, que nasceu da noção, segundo a qual, produtos mais firmes toleram empilhamento maior.

Diferentemente das pilhas máximas toleráveis de produtos para acomodação em balcões e pios, a definição da altura da embalagem envolveu um fator adicional, que é a ocorrência de estresses de impacto nos produtos embalados durante o transporte. Uma solução aproximada para esse problema foi obtida graças a resultados práticos de transportes de frutas e hortaliças no Brasil, conforme foi descrito no trabalho de Moretti et al. (2002a), que possibilitaram o estabelecimento de um fator de segurança 2,0 (dois), tendo-se em vista que, no manuseio e no transporte, as frutas e hortaliças dentro da embalagem são sujeitas a acelerações de impacto que podem

inclusive exceder duas vezes a aceleração da gravidade (2G), em um processo repetitivo que adiciona danos aos produtos, na medida em que a distância do transporte aumenta e em que as estradas sejam piores (LUENGO, 2005; LUENGO et al., 2003). Desse modo, a estimativa da altura da embalagem pelo método de Luengo et al. (2003) foi efetuada com a equação 7.

$$H_E = \Phi_2 \times p / \rho_{AP} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde H_E é a altura máxima da embalagem para um dado produto e o coeficiente técnico Φ_2 foi tomado como 25. Φ_2 foi igual a Φ_1 dividido por um fator de proteção (2,0), contra os danos adicionais que as frutas e as hortaliças sofrem por impactos durante o transporte.

Por envolver coeficientes técnicos experimentais Φ_1 para determinar a altura de pilhas e Φ_2 para determinar as alturas das embalagens, o método de Luengo et al. (2003) poderá sofrer ajustes e aperfeiçoamentos em futuros trabalhos de dimensionamentos de alturas de pilhas e de embalagens que envolvam fatores, como novas cultivares, embalagens, produtos com diferentes formatos e com diferentes estádios de amadurecimento.

Como exemplo de aplicação do método de Luengo et al. (2003), pode-se calcular que, para bulbos de cebola com peso específico aparente de $0,55 \text{ kgf L}^{-1}$ e firmeza de $3,3 \text{ kgf cm}^{-2}$, a altura da pilha seria dada por:

$$H_p = \Phi_1 \times p / \rho_{AP} = 50 \times 3,30 \text{ kgf cm}^{-2} / 0,55 \text{ kgf cm}^{-3} = 300 \text{ cm}$$

Enquanto isto, a altura máxima da caixa, ou para o transporte a granel desta cebola seria dada por:

$$H_p = \Phi_2 \times p / \rho_{AP} = 25 \times 3,3 \text{ kgf cm}^{-2} / 0,55 \text{ kgf cm}^{-3} = 150 \text{ cm}$$

É importante ter em mente que tais procedimentos, simples para a definição da altura de pilhas ou altura de embalagens de Luengo et al. (2003) e Luengo (2005), não são aplicáveis para folhosas ou hortaliças cujas cavidades vazias ocupem mais de 40% do volume do órgão, como é o caso de frutos de pimentão. Para esses produtos, Luengo (2005) utilizou um outro procedimento, menos simples, que foi fundamentado em ensaios de simulação da deformação elástica/plástica de empilhamento durante a armazenagem e transporte.

Referências

- ANDREUCCETTI, C.; FERREIRA, M. D.; GUTIERREZ, A. S. D.; TAVARES, M. Caracterização da comercialização de tomate de mesa na CEAGESP: perfil dos atacadistas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 324-328, 2005.
- BERNSTEIN, Z.; LUSTIG, I. A new method of firmness measurement on grape berries and other juicy fruits. **Vitis**, Siebeldingen, v. 20, p. 15-21, 1981.
- BURTON, W. G. **Post-harvest physiology of food crops**. New York: Longman, 1982. 339 p.
- BUSCHMANN, H.; RODRIGUEZ, M. X.; TOHMES, J.; BEECHING, J. R. Accumulation of hydrocoumarins during post-harvest deterioration of tuberous roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Annals of Botany**, London, v. 86, p. 1153-1160, 2000.
- CALBO, A. G. Physiology of vacuum induced tomato fruit cracking. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 2, p. 55-61, 1990.
- CALBO, A. G. **Aplanador de pedestal para medir a firmeza dependente da turgescência em hortaliças**. Disponível em: <http://www.cnpq.embrapa.br/laborato/pos_colheita/aplanador.htm> Acesso em: 12 mar. 2000.
- CALBO, A. G.; CALBO, M. E. R. Medição e importância do potencial de parede. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 41-45, 1989.
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L. **Penetrômetro a gás para avaliação da firmeza de frutos**. Disponível em: <http://www.cnpq.embrapa.br/laborato/pos_colheita/penetrometro.htm> Acesso em: 30 mar. 2005.

- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 14-18, 1995.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Compression induced intercellular shaping for some geometric cellular lattices. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 41-48, 2001.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A.; HERRMANN, P. S. P. Intercellular deformation in compressed organs. **Annals of Botany**, London, v. 76, p. 365-370, 1995.
- CALBO, A. G.; PESSOA, J. D. C. A plant growth re-analysis. An extension of Lockhart's equation to multicellular plants. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 6, p. 83-89, 1994.
- EMBRAPA. Adonai Gimenez Calbo, José Dalton Cruz Pessoa. **Sistema de aplanção para avaliar a firmeza dependente da pressão celular em folhas e segmentos de face plana de órgão macios**. BR n. PI012070000752. 16 jul. 2007.
- HÜSKEN, D.; STEUDLE, E.; ZIMMERMANN, U. Pressure probe technique for measuring water relations of cells in higher plants. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 61, p. 158-163, 1978.
- KATO, M.do S.A.; SOUZA, S.M.C. Conservação de raízes após a colheita. **Informe Agropecuário**, Belo horizonte, v. 13, n. 145, 1987.
- LEE, E.; BERRY, A. D.; SARGENT, S. A. Impact thresholds to maximize post-harvest quality of Roman-type tomato. **Proc.Fla. State Hort. Sci.**, [S. l.], v. 117, p. 373-377, 2004.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses. chilling, freezing and high temperature stress**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1980. v. 1. 497 p.
- LUENGO, R. de F. A. **Dimensionamento de embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. 2005. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, A. P.; PESSOA, J. D. C. 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.
- MAGALHÃES, A. M.de; FERREIRA, M. D. Fresh market tomatoes quality when submitted to impact. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, 2006.
- 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**, Cruz das Almas, v. 23, n. 2, p. 282-287, 2001.
- MORETTI, C. L.; ARAUJO, A. L.; TEIXEIRA, J. M.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Monitoramento em tempo real das condições de transporte de melões (Cucumis melo L.) 'Golden Pride'. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, 2002. Suplemento 2. Trabalho apresentado no 42º Congresso Brasileiro de Olericultura, 2002a. 1 CD-ROM.
- MORETTI, C. L.; BALDWIN, E. A.; SARGENT, S. A; HUBER, D. J. Internal bruising alters aroma volatile profiles in tomato fruit tissue. **HortScience**, Alexandria, v. 37, p. 378-382, 2002b.
- MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A. Alteração de sabor e aroma em tomates causada por impacto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 385-388. 2000.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S.; HUBER, D. J.; CALBO, A. G.; PUSCHMANM, R. 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. 656-660, 1998.

MURPHY, R.; ORTEGA, J. K. E. A new pressure probe method to determine the average volumetric elastic modulus of cells in plant tissue. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 107, p. 995-1005, 1995.

OLORUNDA, A. D.; TUNG, M. A. Simulated transit studies on tomatoes effects of compressive load, container, vibration an maturity on mechanical damage. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 20, p. 669-678, 1985.

PEREIRA, A. V. **Deformações em frutos de tomateiro sob compressão**. 1996. 37 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

PEREIRA, A. V.; CALBO, A. G. Elastic stresses and plastic deformations in ‘Santa Clara’ tomato fruits caused by package dependent compression. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2429-2436, 2000.

SANCHES, J.; DURIGAN, J. F.; SANTOS, J. M.dos S. Utilização da microscopia eletrônica de varredura como ferramenta de avaliação da estrutura do tecido de abacate ‘Quintal’ após danos mecânicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 29, n. 1, p. 57-60, 2007.

SHAYO-NGOWI, A.; CAMPBELL, G. S. Measurement of matric potential in plant tissue with a hydraulic press. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 567-568, 1980.

SILVA, J. L. O.; CALBO, A. G. An apparatus to study compression stress in fruits and vegetables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 736-742, 1992.

STEUDLE, E.; ZIMMERMANN, U. Effect of turgor pressure and cell size on the wall elasticity of plant cells. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 59, p. 285-289, 1977.

URITANI, I. Biochemistry on postharvest metabolism and deterioration of some tropical tuberous crops. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, Taipei, v. 40, n. 3, p. 177-183, 1999.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 155-189, 1984.

Embrapa

Instrumentação Agropecuária

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



ISBN 978-85-86463-17-4



9 788586 463174