Tecnologias Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças

Marcos David Ferreira
Editor Técnico

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Instrumentação

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Tecnologias Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças

Editor Técnico

Marcos David Ferreira

Embrapa Instrumentação

São Carlos, SP

2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação
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

Comitê de Publicações da Embrapa:
Presidente: João de Mendonça Naime
Membros: Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Sandra Protter Gouvea,
Washington Luiz de Barros Melo,
Valéria de Fátima Cardoso
Membro Suplente: Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Marcos David Ferreira
Revisor de texto: Deusdedit Ferreira de Menezes
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Capa: Pedro Campaner Hernandes
Tratamento de ilustrações: Pedro Campaner Hernandes
Fotos da Capa: Marcos David Ferreira
Editoração: Roger Luciano Lucke (arte.com)
Impressão e acabamento: Suprema Gráfica

1ª edição
1ª impressão (2011): tiragem 400

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

T255 Tecnologias pós-colheita em Frutas e Hortaliças. / Marcos David Ferreira editor. – São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011.
286 p.

ISBN: 978-85-86463-30-3

1.Pós-Colheita. 2. Fisiologia. 3. Beneficiamento. 4. Classificação e comercialização. 5. Nanotecnologia. 6. Embalagens e revestimentos comestíveis. 7. Minimamente processado. 8. Legislação. I. Ferreira, Marcos David.

CDD 21 ED 631.55
631.56

Autores

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

André Torre Neto, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: andre@cnpdia.embrapa.br

Anita de Souza Dias Gutierrez, Dra.
Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo, CEAGESP
São Paulo, SP
E-mail: adias@ceagesp.gov.br

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

Danilo Scavacini Gonçalves
Graduando em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas
Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR
São Carlos, SP
E-mail: danscava@gmail.com

Diogo Ferrari, Eng. Agrônomo
Fischer S/A – Comércio, Indústria e Agricultura
Matão, SP
E-mail: dferrari@citrosuco.com.br

Elisabete Segantini Saron, M. Sc.
Pesquisadora, Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA
Instituto de Tecnologia de Alimentos, ITAL
Campinas – SP.
E-mail: esaron@ital.sp.gov.br

Helton Carlos de Leão, Eng. Agrônomo
Coordenador Departamento Técnico Citrosuco
Fischer S/A – Comércio, Indústria e Agricultura
Matão, SP
E-mail: hleao@citrosuco.com.br

José Dalton Cruz Pessoa, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: dalton@cnpdia.embrapa.br

José Fernando Durigan, Dr.
Professor titular, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV
Universidade Estadual Paulista, UNESP
Jaboticabal, SP
E-mail: jfduri@fcav.unesp.br

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

Lisandro Michel Barreiros, Designer Digital
Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo, CEAGESP
São Paulo, SP
E-mail: lisandro@hortibrasil.org.br

Lucimara Aparecida Forato, Dra.
Pesquisadora, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: lucimara@cnpdia.embrapa.br

Lucimeire Pilon, Dra.
Pós-doutoranda, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: lucimeire.pilon@yahoo.com.br

Lúcio André de Castro Jorge, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: lucio@cnpdia.embrapa.br

Luiz Alberto Colnago, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: colnago@cnpdia.embrapa.br

Marcos David Ferreira, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: marcosferreira@cnpdia.embrapa.br

Maria Fernanda Berlingieri Durigan, Dra.
Pesquisadora, Embrapa Roraima
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
Boa Vista, RR
E-mail: fernanda@cpafrr.embrapa.br

Mauricio de Sá Ferraz, Eng. Agrônomo
Gerente técnico, Instituto Brasileiro de Frutas, IBRAF
São Paulo, SP
E-mail: mauricio@ibraf.org.br

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

Pedro Ivo de Castro Oyama
Mestrando em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo, USP
São Carlos, SP
E-mail: pedro.oyama@gmail.com

Rubens Bernardes Filho, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: rubens@cnpdia.embrapa.br

Sabrina Leite Oliveira, M. Sc.
Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo, CEAGESP
São Paulo, SP
E-mail: sloliveira@ceagesp.gov.br

Silvio Crestana, Dr.
Pesquisador, Embrapa Instrumentação
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA
São Carlos, SP
E-mail: crestana@cnpdia.embrapa.br

Apresentação

O Brasil e o mundo hoje enfrentam um novo desafio: alimentar uma população mundial crescente perante mudanças climáticas. O país desponta como grande produtor agrícola, líder em tecnologia de ponta aplicada às regiões tropicais; a partir do final do século passado, evoluiu de importador para um dos principais exportadores de alimentos. Frutas e hortaliças são importantes componentes da nutrição humana diária, porém requerem cuidados especiais no manuseio e na pós-colheita, sendo, na sua maioria, altamente perecíveis. Dessa forma, a Embrapa Instrumentação organizou a primeira versão do curso de tecnologia pós-colheita em frutas e hortaliças, e para esse evento foi elaborado este livro, que contou com a participação de 25 autores, não só da Embrapa, mas também de instituições e empresas parceiras. Para esta publicação, os recursos financeiros foram aportados pelo CNPq.

O objetivo deste, como livro texto e livro técnico da área, é disponibilizar informações atualizadas e técnicas aplicadas à pós-colheita de frutas e hortaliças, contribuindo para a melhoria do sistema, proporcionando uma melhor conservação do produto e ganhos para toda a cadeia deste setor. O público alvo são técnicos da área, produtores, atacadistas, pesquisadores e estudantes, que têm interesse em aprimorar o conhecimento neste tema. No livro constam informações sobre o mercado, com implicações de tendências tecnológicas e valoração do produto; colheita e novas alternativas; beneficiamento e classificação – tradicional e inovações –; fisiologia pós-colheita dos hortifrútis; avaliação da qualidade e rastreabilidade do produto, seja por meio de técnicas de ressonância magnética nuclear, medidas de respiração e sensores. Novas tecnologias, como nanotecnologia e revestimentos comestíveis também são abordadas. Uma seção foi dedicada ao processamento mínimo de frutas e hortaliças, com descrição também da legislação e a filmes plásticos mais utilizados para embalagens. Em resumo, o livro aborda tecnologias relevantes e pretende transmiti-las para os agentes das cadeias do agronegócio brasileiro que, sem dúvida, farão a diferença para a melhoria da qualidade dos produtos e para a redução de perdas.

Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Chefe Geral Embrapa Instrumentação

Prefácio

Esta publicação foi gerada como livro-texto para a primeira versão do curso de tecnologia pós-colheita em frutas e hortaliças. Além dessa função, tem como objetivo fornecer informações técnicas atualizadas, coerentes e inovadoras, para que produtores, técnicos, atacadistas e estudantes possam utilizá-las para melhoria do sistema, tornando-o mais competitivo, com ganhos para toda a cadeia produtiva. O Brasil tornou-se um grande produtor e exportador de alimentos e, para que essa posição se mantenha perante tantos desafios, é fundamental a inovação tecnológica. Portanto, este livro visa repassar informações que possam contribuir para uma maior eficiência desse setor.

A publicação deste volume foi possível graças à utilização de recursos provenientes do CNPq, sendo composto por 16 capítulos, descritos a seguir, redigidos por 25 autores. Inicia-se com uma visão do mercado de frutas e, na continuação, trata as tendências tecnológicas futuras. Na sequência, são descritos aspectos da fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças, e é feita uma abordagem de aspectos da respiração. Aspectos de colheita e beneficiamento são apresentados, e um estudo de caso descreve a experiência do setor com a colheita da laranja. A classificação está presente com a exposição dos modelos tradicionalmente utilizados, e, em outro capítulo, este processo, por uso de imagem, é finamente descrito. A valoração da classificação dependente dos diferentes atributos e padrões de mercado merece um capítulo à parte, escrito por técnicos da Ceagesp, que possuem grande experiência no tema. Novas tecnologias para avaliação da qualidade com a utilização da ressonância magnética nuclear e rastreabilidade pelo uso de sensores são apresentadas em capítulos distintos. A nanotecnologia, cada vez mais presente no uso diário, é apresentada para a aplicação em alimentos; segue depois capítulo sobre revestimentos comestíveis, uma importante aplicação de nanoestruturas na pós-colheita. O processamento mínimo recebe uma seção à parte, com capítulos sobre processamento de hortaliças e frutas, e na sequência são apresentadas informações sobre a legislação vigente para embalagens. Um capítulo com informações atualizadas sobre embalagens apropriadas para o uso em minimamente processados finaliza o volume.

Agradecimentos especiais ao chefe geral da Embrapa Instrumentação, Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso, e ao chefe de P & D, Dr. João Mendonça Naime pelo apoio ao evento. Ao Prof. Deusdedit Ferreira de Menezes pela revisão ortográfica e à bibliotecária Valéria de Fátima Cardoso pela normalização do conteúdo. Ao Dr. Odílio Benedito Garrido Assis e Dr. Adonai Gimenez Calbo pelas sugestões e comentários e à Dra. Lucimeire Pilon pelo auxílio na revisão do texto. À Mônica Ferreira Laurito e Minayana Giacometti pelo apoio, e a todos os autores, que, alternando com suas atividades diárias, escreveram belíssimos capítulos que compõem e enriquecem esta obra, contribuindo para a divulgação do conhecimento.

Dr. Marcos David Ferreira
Editor Técnico

Sumário

Sessão - Mercado e Tendências

Capítulo 1 - O Mercado de Frutas 19
1. Introdução 21
2. Mercado internacional de frutas 22
2.1 Tendências gerais 24
2.2 Tendências de consumo 24
2.3 Tendências de importação 25
2.4 Tendências do varejo 25
3. Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas 2010/2009 25
3.1 Concentração das exportações brasileiras de frutas 26
4. Marketing das frutas 28
4.1 Marketing da fruta brasileira no mercado internacional 30
4.2 Mercado alvo 30
Referências 31

Capítulo 2 - Alimentos na Próxima Década: Um Olhar sobre o Cenário Mundial, Brasileiro e Principais Tendências Tecnológicas 33
1. Introdução 35

Parte I - Panorama mundial para a próxima década: demanda crescente, oferta restrita a alguns países, estoques limitados, volatilidade de preços... 37
1. Um período de elevação e de volatilidade de preços das commodities 37
2. O que esta governando a volatilidade dos preços? 38
3. Quais os desafios políticos para os governos? 39
4. Preços das commodities agrícolas, em termos nominais e reais 39

Parte II - Agricultura tropical e o papel do Brasil como grande produtor e fornecedor mundial 41
Resultados das projeções Brasil 42
Carnes 42

Parte III – O imperativo e a realização de uma nova Revolução Agrícola, agora também socioambiental, alicerçada nos pilares das Ciências e Tecnologias Convergentes. 45

Parte IV – Principais Tendências Tecnológicas 49
1. Alguns destaques do documento Brasil Food Trends 2020 relevantes ao escopo do capítulo 50
2. Processos e Tecnologias Inovadoras 51
Ultrassom 52
Radiações Eletromagnéticas 52
Aquecimento infravermelho, micro-ondas e radiofreqüência: efeitos nas características dos alimentos 52
Pulso elétrico (PFE): tecnologia compatível com a crescente procura dos consumidores por alimentos mais frescos 52
Irradiação: método efetivo de aumento do tempo de vida útil de alimentos e de garantia de segurança 53
Aquecimento ôhmico: utiliza a resistência elétrica dos alimentos para convertê-la em calor 53
Alta pressão: destruição de microrganismos patogênicos e modificação da textura de alimentos 53
Secagem supercrítica para promover a qualidade do produto 54
Processos de separação por membranas: úteis na concentração e fracionamento de alimentos 54
3. Perspectivas para processos no Brasil em 2020 54
4. Algumas aplicações de ciência, inovação e instrumentação avançadas em frutas e hortaliças 56
Agradecimentos 58
Referências 58
Apêndices 62

Sessão - Fisiologia, Colheita, Beneficiamento e Classificação

Capítulo 3 - Fisiologia Pós-Colheita em Hortaliças - Teórica e Prática 69
1. Introdução
2. Borbulhamento de ar através de frutos 71
3. Compressão versus opacidade dos tecidos 72
4. Flutuação, densidade e densidade aparente 72
5. Volumes gasosos intercelulares, firmeza maciez e rachaduras 72
6. Uso de selante na inserção do pedúnculo 73
7. Lavação, absorção e infiltração de água 74
8. Amostragens da atmosfera interna 75
9. Desidratação relativa por volumetria 79
10. Poder evaporativo do ar 80
11. Resistência difusiva e transpiração 81
12. A degradação da lamela média 82
13. Percepção tátil da firmeza 84
14. Meia-vida pós-colheita 84
15. Altura das pilhas de frutas e hortaliças 85
16. Altura das embalagens de frutas e hortaliças (tolerância) 86
17. Pressão de turgescência das folhas 86
18. Limiar de firmeza para folhosas 87
19. Turgescência característica 87
Referências 88

Capítulo 4 - Uma Abordagem Multiescala da Respiração em Frutas e Hortaliças 93
1. Introdução 95
2. Processos bioquímicos 95
2.1 Glicólise 95
2.2 Ciclo de Krebs 96
2.3 Sistema de transporte de elétrons 96
3. A pós-colheita 96
4. Pequeno glossário 97
Referências 98

Capítulo 5 - Colheita, Beneficiamento e Classificação de Frutas e Hortaliças 99
1. Introdução 101
2. Colheita 101
2.1 Colheita manual 102
2.2 Colheita com equipamentos de auxílio – plataforma móveis 102
Colheita do tomate de mesa com plataformas móveis 103
Colheita da laranja com plataformas móveis 104
2.3 Colheita mecanizada 105
3. Beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças 105
Principais etapas 106
(1) Rotação das escovas (e tipo de cerdas) 107
(2) Quantidade-pressão da água 108
(3) Superfície do produto (casca, etc) 108
(4) Tempo de exposição 108
(5) Tipo de sujeira 108
4. Avaliação de impactos na colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças 110
Fruta eletrônica 111
5. Conclusão 112
Referências 112

Capítulo 6 - Colheita Mecânica de Citros 117
1. Introdução 119
2. Épocas de colheita 119
3. Colheita manual 120
4. Colheita mecanizada 121
4.1 Equipamentos de auxílio 121
4.2 Colheita mecânica 121
5. Avaliações dos equipamentos de colheita mecânica 121
5.1 Protocolo de avaliação 121
5.2 Avaliação dos impactos sofridos pela fruta 121
5.3 Avaliação ergonômica dos trabalhos de colheita manual vs. colheita com máquina 122
6. Conclusões 122
Referências 122

Capítulo 7 - Uso de Sistemas deImagem para Classificação de Frutas e Hortaliças 125
1. Introdução 127
2. Sistema de visão computacional 127
2.1 Aquisição da imagem 129
Imagem digital 130
Reflectância espectral 130
Iluminação 133
Fluorescência 133
Imagem hiperespectral 134
2.2 Processamento da imagem 134
Modelos de cor 135
Extrator de características 136
Momentos 137
Assinatura 138
Descritores de Fourier 138
Descritores de textura 139
2.3Análise da imagem 139
3. Exemplos de sistemas de classificação de frutos e hortaliças 140
3.1 Máquina para classificação automática de grãos de café - QUALICAFÉ 140
Exemplos de padrões de grãos a serem classificados 140
Aquisição de imagens 141
Processamento das imagens 142
Pré-processamento 142
Classificação por cor 143
Descritores de forma utilizados 144
Classificação por forma 145
Identificação dos objetos 146
3.2 Máquina de classificação e análise por redes neurais artificiais - MACARENA 148
Exemplos de padrões de defeitos e formas a serem classificados 148
Aquisição de imagens e protótipo implementado 149
Extração de características utilizadas 153
Textura 153
4. Conclusão 154
Referências 154

Capítulo 8 - Valoração na Comercialização das Frutas e Hortaliças Frescas 159
1. Introdução 161
2. Diferenciação de valor por época - Sazonalidade 161
3. Diferenciação de valor por classificação 164

4. Diferenciação de valor por qualidade 168
Referência 170

Sessão - Novas Tecnologias

Capítulo 9 - Análise da Qualidade de Frutas por Ressonância Magnética Nuclear 173
1. Introdução 175
2. Fundamentos da RMN 175
2.1 Medida de T1 177
2.2 Medida de T2 178
3. Aplicações da RMN em frutas 179
3.1 Aplicações da RMN no domínio do Tempo (RMN-DT) 179
3.2 Análise por Imagens por RMN (IRM) 180
Referências 182

Capítulo 10 - Rede de Sensores sem Fio e Computação Ubíqua na Agropecuária 183
1. Introdução 185
2. Aplicações das RSSF na agropecuária 186
2.1 Pulverização de precisão 186
2.2 Irrigação de precisão 187
2.3 Monitoramento da fertilidade do solo 188
2.4 Monitoramento, rastreabilidade e ambiência na produção animal 189
2.5 Rastreabilidade vegetal 190
2.6 Mudanças climáticas e problemas fitossanitários 192
3. Conclusão 192
Referências 193

Capítulo 11 - Potenciais Aplicações de Nanotecnologia em Alimentos 195
1. Introdução 197
2. Mercado da nanotecnologia 198
3. Nanotecnologia no agronegócio 199
4. Nanotecnologia em alimentos 199
5. Nanotecnologia aplicada a pós-colheita 202
6. Avanços nas análises 203
7. Receios com respeito aos nanoalimentos 204
Referências 204

Capítulo 12 - Revestimentos Comestíveis Protetores em Frutas e Hortaliças 207
1. Introdução 209
2. Perdas pós-colheita de frutas e hortaliças 209
3. Características das coberturas comestíveis 210
4. Biopolímeros utilizados na obtenção de filmes comestíveis 211
4.1 Polissacarídeos 211
4.2 Proteínas 212
4.3 Lipídeos 214
5. Características desejáveis de uma cobertura comestível. 215
Referências 216

Sessão - Minimamente Processados

Capítulo 13 - Processamento Mínimo de Hortaliças 221
1. Introdução 223
2. Controle dos processos metabólicos 223

3. Segurança do alimento e aspectos microbiológicos 225
4. Embalagens 226
5. Comercialização 227
6. Etapas do processamento mínimo 228
6.1 Colheita e recepção da matéria-prima 228
6.2 Seleção e classificação 229
6.3 Pré-lavagem 229
6.4 Processamento 229
6.5 Primeiro enxágue 229
6.6 Sanificação 229
6.7 Segundo enxágue 229
6.8 Centrifugação 229
6.9 Embalagem 229
6.10 Comercialização e distribuição 230
7. Conclusões 230
Referências 230

apítulo 14 - Processamento Mínimo de Frutas 233
1. Introdução 235
2. O processamento mínimo 237
2.1 Qualidade 237
2.2 Fisiologia 238
2.3 Conservação 238
2.4 Armazenamento refrigerado 239
2.5 Embalagens 240
2.6 Desafios 241
3. Processamento mínimo de abacaxi 241
3.1 Introdução 241
3.2 Fluxograma de processamento do abacaxi 242
3.3 Descrição das etapas do fluxograma 242
4 Processamento mínimo de carambola 244
4.1 Introdução 244
4.2 Processamento mínimo 245
4.3 Fluxograma do processamento 247
5. Processamento mínimo de goiaba 247
5.1 Etapas do processamento 247
6. Processamento mínimo de manga 250
6.1 Descrição das etapas do fluxograma 251
Referências 253

Capítulo 15 - Embalagens Utilizadas em Produtos Minimamente Processados 257
1. Introdução 259
2. Métodos para modificação da atmosfera nas embalagens 259
2.1 Embalagens com atmosfera modificada (MAP) 259
2.1.1 Tipos de filmes poliméricos e seleção de embalagens 260
2.2 Embalagens ativas e inteligentes 261
2.2.1 Embalagens ativas para produtos minimamente processados 262
Absorvedores de oxigênio 262
Absorvedores de umidade 262
Absorvedores de etileno 263
Emissores de CO2 263
Filmes antimicrobianos 263
2.2.2 Embalagens inteligentes para produtos minimamente processados 264

Integradores tempo-temperatura (TTI) 264
Indicadores de gases e compostos voláteis 264
Etiqueta de identificação por radiofrequência (RFID) 265
3. Nanotecnologia em embalagens 265
4. Conclusões 265
Referências 266

Capítulo 16 - Legislação de Embalagens para Contato Direto com Alimentos 271
1. Introdução 273
2. Requisitos gerais da legislação de embalagens para contato direto com alimentos 274
3. Materiais poliméricos 274
3.1 Materiais poliméricos coloridos 278
4. Materiais celulósicos 279
5. Legislações internacionais de materiais para contato direto com alimentos 281
5.1 Estados Unidos 281
5.2 Comunidade europeia 282
6. Tintas de impressão 283
7. O uso de material reciclado para embalagens com contato direto com alimentos 283
8. Conclusão 283
Referências 284

Mercado e Tendências

Capítulo 1

O Mercado de Frutas

Mauricio de Sá Ferraz

1. Introdução

A produção mundial de frutas no ano de 2007 foi estimada em mais de 650 milhões de toneladas (FAO, 2010a), ocupando a liderança em volume a banana, seguida pela melancia, uva, maçã, laranja e coco (Figura 1).

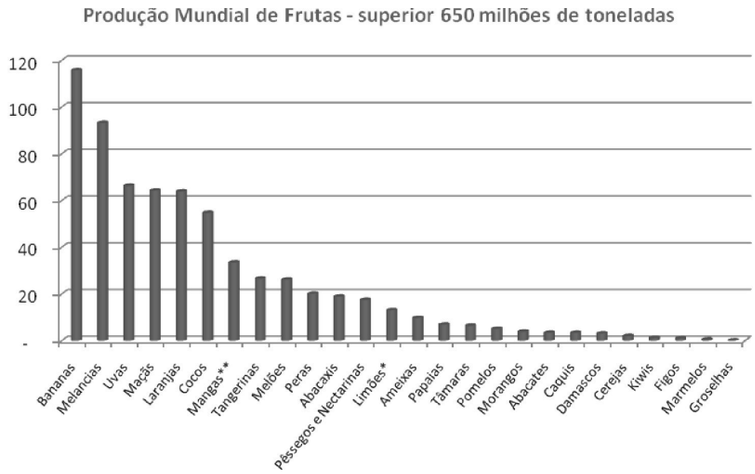


Figura 1: Produção mundial de frutas (FAO 2010a).

O Brasil, terceiro maior produtor mundial de frutas (IBGE, 2009), com mais de 41 milhões de toneladas, tem a laranja como a principal, ocupando uma área de 802,5 mil hectares e uma produção de 17,6 milhões de toneladas, seguida pela banana com 483,5 mil hectares e 6,7 milhões de toneladas. As duas frutas juntas são responsáveis por 60% do volume e da área de produção de frutas no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1: Produção brasileira de frutas no ano de 2009.

Frutas	Área (ha)	Volume (Ton)
Laranja	802.528	17.618.450
Banana	483.562	6.783.482
Abacaxi*	284.951	2.978.256
Coco**	94.871	1.973.366
Melancia	75.416	2.056.309
Mamão	81.677	1.792.594
Tangerina	61.990	1.094.429
Uva	54.909	1.365.491
Manga	41.388	1.197.694
Limão	50.853	972.437
Maçã	34.379	1.222.885
Maracujá	39.081	718.798
Melão	19.102	402.959
Goiaba	17.559	297.377
Pêssego	15.048	216.236
Caqui	8.509	171.555
Abacate	8.740	139.089
Figo	3.072	24.146
Pêra	1.404	14.856
Marmelo	211	975
TOTAL	**2.179.250**	**41.041.384**

Fonte: IBGE (2009).

A laranja tem sua produção voltada para a industrialização, com 80% processados em forma de suco de laranja. A banana, ao contrário, é destinada à comercialização, tornando assim a fruta mais comercializada no País para consumo *in natura*. Do total produzido de frutas pelo Brasil, 53% destinam-se ao processamento e 47%, ao consumo *in natura* (Figura 2).

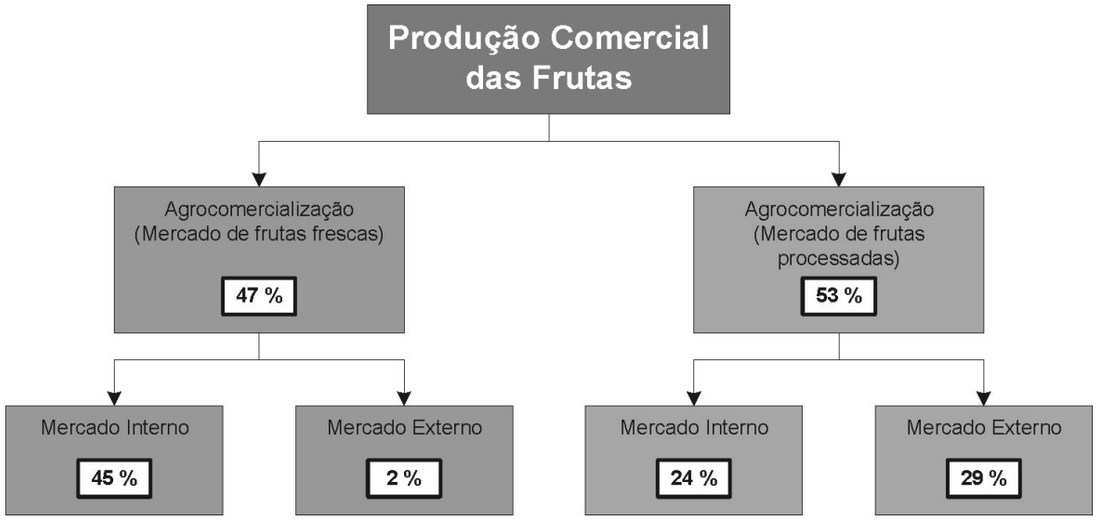


Figura 2: Esquema de produção e comercialização das frutas produzidas no Brasil.

Diante deste cenário, pode-se concluir que, para uma melhor remuneração na cadeia, deve-se trabalhar parte do volume produzido para a comercialização *in natura*, ou seja, a fruta com qualidade visual e gustativa que consegue uma maior remuneração e parte para a industrialização, pois, embora tenha padrões de sabores aceitáveis, não é comerciável devido à falta de tamanho, coloração, entre outros defeitos, para o consumo fresco.

Para a manutenção de mercado, deve-se levar em conta a praticidade do consumo e a durabilidade; oferecer ao cliente um "mix" de produtos para consumo a qualquer hora e lugar, sem repetir as mesmas formas de utilização. Ele poderá consumir a mesma fruta em diversas apresentações: frescas, desidratadas, como barras de cereais, chips, sucos, etc.

2. Mercado internacional de frutas

O mercado internacional de frutas *in natura* está calculado, para o ano de 2007, em 58,23 milhões de toneladas e US$ 51,1 bilhões. Esse valor torna-se superior a U$ 140 bilhões quando se consideram as frutas processadas.

As trocas mundiais cresceram 45% no período de 1998 a 2007, segundo dados da FAO (Figura 3), mostrando uma tendência de crescimento para os próximos anos. Vale ressaltar que essa tendência não só reflete o aumento da população mas também a mudança de hábito de consumo, quando as pessoas buscam uma alimentação mais saudável.

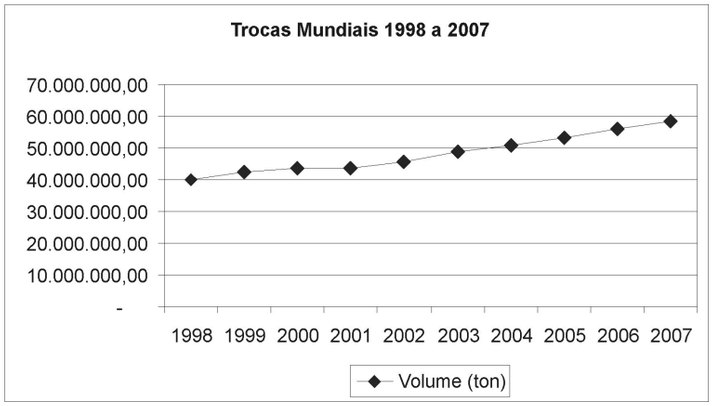


Figura 3: Trocas mundiais de frutas (FAO, 2010b).

A Figura 4 mostra os volumes das frutas exportadas, o que é reflexo do conhecimento e consumo da população dos países compradores. Com exceção da banana, nota-se que as frutas mais consumidas são as de origem temperada. A população consome o que tem por hábito desde criança: o que meus avós consumiam, meus pais consomem, consequentemente, eu vou consumir. Esse pensamento está correto, mas, nos últimos anos, notamos o aumento de consumo de frutas não tradicionais nos mercados compradores, graças à curiosidade dos consumidores, mostrando que podemos, sim, aumentar as vendas de produtos não tradicionais no mercado.

Nesse ponto, vale ressaltar que as trocas mundiais de frutas frescas representam menos de 10% da produção mundial, ou seja, o grande mercado é o caseiro.

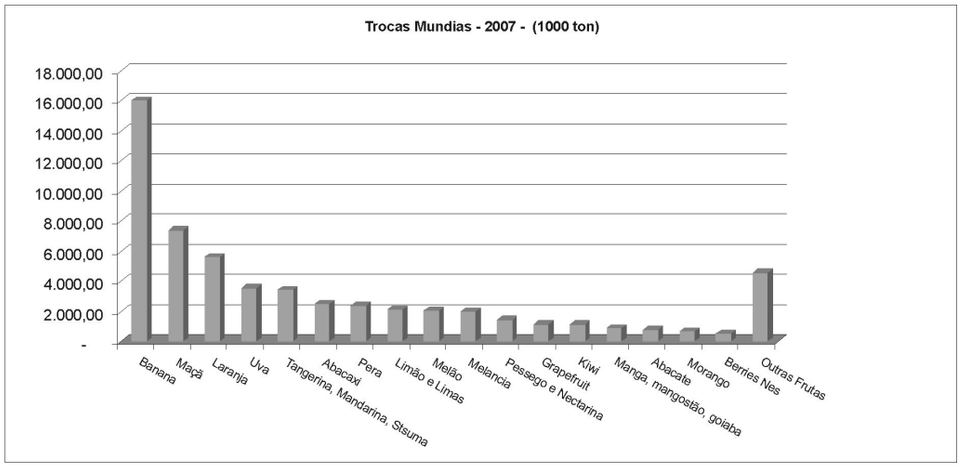


Figura 4: Trocas mundiais de frutas (FAO, 2010b).

O maior exportador mundial em volume é o Equador, com 9% das exportações mundiais, seguido pela Espanha com 8%; o Brasil é o décimo oitavo (Figura 5). A Espanha aparece como grande supridor, pela proximidade com o maior bloco comprador do mundo, abastecendo seus vizinhos principalmente de citros. Por sua vez, o Equador é o grande fornecedor de bananas para o mundo, especializando-se neste comércio; o Brasil aparece como exportador de frutas tropicais como manga e mamão, mas começa a destacar-se com melões, uvas e maçãs, com promessa de aumentar os volumes exportados, principalmente de banana e abacaxi.

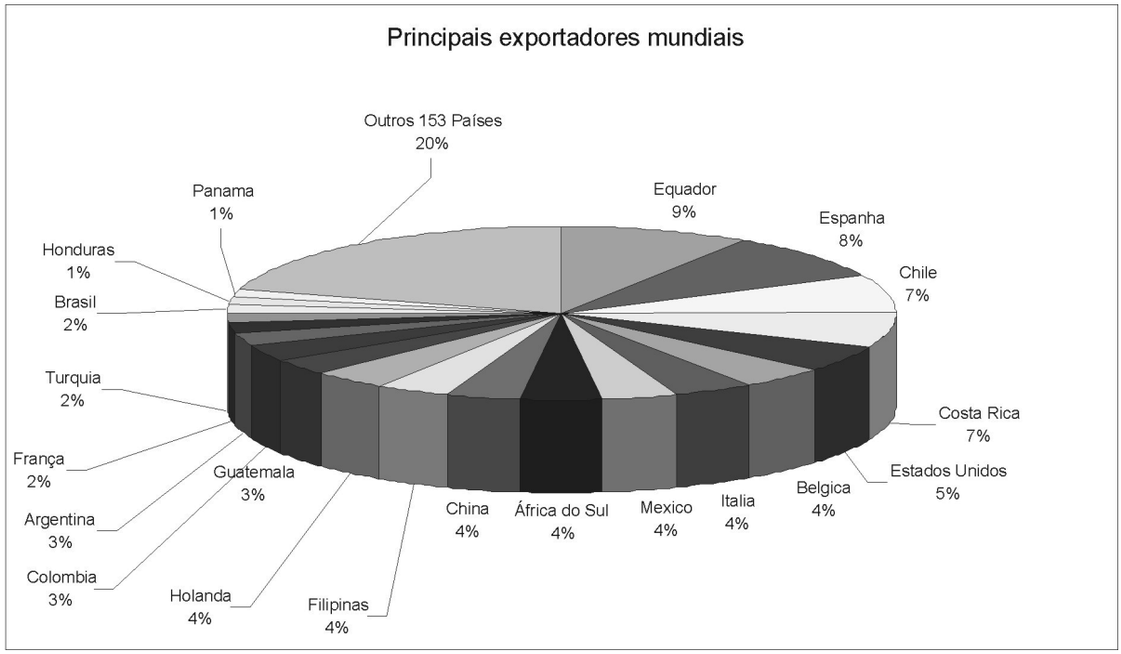


Figura 5: Principais exportadores mundiais de frutas frescas (FAO, 2010b).

2.1 Tendências gerais

O mercado internacional, em geral, apresenta uma estabilidade em grande parte dos mercados de consumo, mas o de frutas e hortaliças é um dos poucos setores com grande potencial de crescimento nos próximos 10 anos, devido à crescente preocupação com saúde e qualidade alimentar.

Para frutas importadas, estão consolidados mercados de massa não sazonais para bananas e sazonais *citros*, existindo oportunidades sazonais para exportadores de maçãs, melões, peras, uvas e frutas de caroço, ou seja, podemos oferecer frutas temperadas na contraestação dos países compradores do hemisfério norte.

Algumas frutas de posicionamento "tropicais" começam a integrar os hábitos de consumo, tendendo a uma situação de commodities, como abacate, abacaxi e kiwi. As mangas e papaias vão pelo mesmo caminho.

2.2 Tendências de consumo

A ênfase no consumo de frutas contempla igualmente as frutas tropicais, sem grande percepção de valor dos "exóticos" e tem como grande apelo o sabor, a saúde, a sofisticação e a mudança de comportamento para dietas mais saudáveis. O preço alto, a falta de padronização da oferta, as inconveniências no manuseio e a grande falta de informações aparecem como ponto negativo para o comércio de frutas.

Outro fator que deve ser levado em conta é que não se dá importância à origem da fruta (brasileira ou mexicana). Os requisitos de qualidade são importantes. A única fruta com posicionamento de origem é o Kiwi da Nova Zelândia.

Há uma forte tendência de abastecimento em super e hipermercados, na maior parte dos países compradores do hemisfério norte, ou seja, devemos estar preparados para suprir estes exigentes compradores. O consumo de frutas tende a valorizar a segurança alimentar dos produtos, e cada vez mais, notamos que as certificações tornam-se fundamentais.

2.3 Tendências de importação

Importadores e atacadistas vivem uma importante situação de transição: as centrais de compras do setor varejista se orientam para o abastecimento direto dos produtores, visando reduzir custos. O novo papel desses operadores não será prioritariamente o da intermediação, mas de *prepacking*, amadurecimento (bananas) e distribuição.

Forte orientação para fornecedores que possam assegurar qualidade (maturação, tamanho, disponibilidade e preço), principalmente em produtos de grande rentabilidade. Forte tendência à formação de parcerias com produtores, para comercialização de marcas exclusivas.

2.4 Tendências do varejo

Nos últimos anos, notamos uma crescente concentração do varejo através de processos de fusão e incorporação de empresas. Na média, em cada país, de 4 a 6 organizações respondem por 60% dos volumes gerais (ex. Alemanha: METRO, REWE, EDEKA). Essas fusões também fizeram aumentar a exigência de qualidade, pois as grandes redes querem assegurar previsibilidade de retorno e reduzir perdas no processo.

As redes centralizaram e monitoraram as compras de perecíveis, visando logísticas integradas de reposição, controle de perdas e gerenciamento do mix agora, o estoque é mantido nas fazendas ou nos distribuidores; os supermercados reduziram as áreas de estoque, repassando para seus fornecedores o controle de fornecimento e riscos de perdas.

A abertura para novas variedades de frutas tradicionais e frutas tropicais e mesmo produtos exóticos que proporcionem retornos aceitáveis é uma tendência neste novo modelo, mas vale ressaltar que há pouca disposição para o risco por parte das redes de varejo, devendo o fornecedor assumi-lo.

O setor de frutas e hortaliças passou, de forma crescente, ser considerado como estratégico para a imagem do supermercado, que passa, agora, a ter como principais critérios para escolher os fornecedores:

- Relação justa entre preço e valor
- Educação do consumidor
- Qualidade e fornecimento confiáveis, crescimento de exigências para o suprimento de frutas com marcas comerciais (próprias ou não). Devido principalmente à necessidade de rastreabilidade,.

3. Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas 2010/2009

No ano de 2010, o melão foi a principal fruta, em volume exportado, com 177,8 mil toneladas, e a uva, em valor, com 136,6 milhões de dólares (Tabela 2).

O ano de 2011 promete ser um ano difícil para as exportações brasileiras de frutas frescas: a valorização do real, aliada à descapitalização dos produtores, pode prejudicá-las. A manutenção dos preços internacionais não acompanhou a valorização do real, diminuindo ou anulando a lucratividade do produtor, que está deixando de tratar seus pomares, dificultando a manutenção da qualidade da fruta para atender os exigentes mercados internacionais.

Tabela 2: Comparativo das Exportações Brasileiras de Frutas 2010/2009.

Frutas	Variação2009/2008		2010		2009	
	Valor (%)	Volume (%)	Valor (US$FOB)	Volume (Kg)	Valor (US$FOB)	Volume (Kg)
Melões	-0,10	-3,31	121.969.814	177.828.525	122.094.688	183.911.976
Bananas	15,24	-3,00	45.398.163	139.553.134	39.394.960	143.871.502
Mangas	23,15	13,15	119.929.762	124.694.284	97.388.159	110.202.283
Maçãs	-1,71	-7,56	55.365.805	90.839.409	56.328.134	98.264.010
Limões	15,82	-4,99	50.693.603	63.060.909	43.771.018	66.374.045
Uvas	23,58	11,45	136.648.806	60.805.185	110.574.457	54.559.684
Laranjas	43,49	44,44	16.276.736	37.821.810	11.343.154	26.185.254
Melancias	-21,48	-27,61	12.356.105	28.261.716	15.735.304	39.038.818
Papaias	1,93	-1,80	35.121.752	27.057.332	34.457.466	27.554.464
Abacates	-13,30	-7,93	3.126.434	2.699.698	3.606.220	2.932.222
Tangerinas	-43,62	-55,18	1.850.034	1.977.479	3.281.271	4.411.914
Abacaxis	-90,56	-90,46	998.318	1.889.842	10.580.302	19.817.923
Outras	-9,76	-10,89	9.876.804	2.931.272	10.944.753	3.289.640
Total	8,96	-2,69	609.612.136	759.420.595	559.499.886	780.413.735

Fonte: SECEX/IBRAF (2011).

3.1 Concentração das exportações brasileiras de frutas

O Brasil exportou, em 2010, para 61 países, mas as exportações brasileiras de frutas frescas continuam concentradas na Europa e têm como principal destino a Holanda, com 35% das vendas, mas a mesma funciona como um centro de distribuição, fornecendo as frutas para os outros países da Europa e até mesmo para os países árabes. O Reino Unido aparece em segundo lugar, com 16% do valor exportado pelo Brasil, sendo o primeiro importador para consumo direto das frutas; na terceira posição, aparece a Espanha com 12%, seguida pela Argentina e Estados Unidos, com 6% (Figura 6).

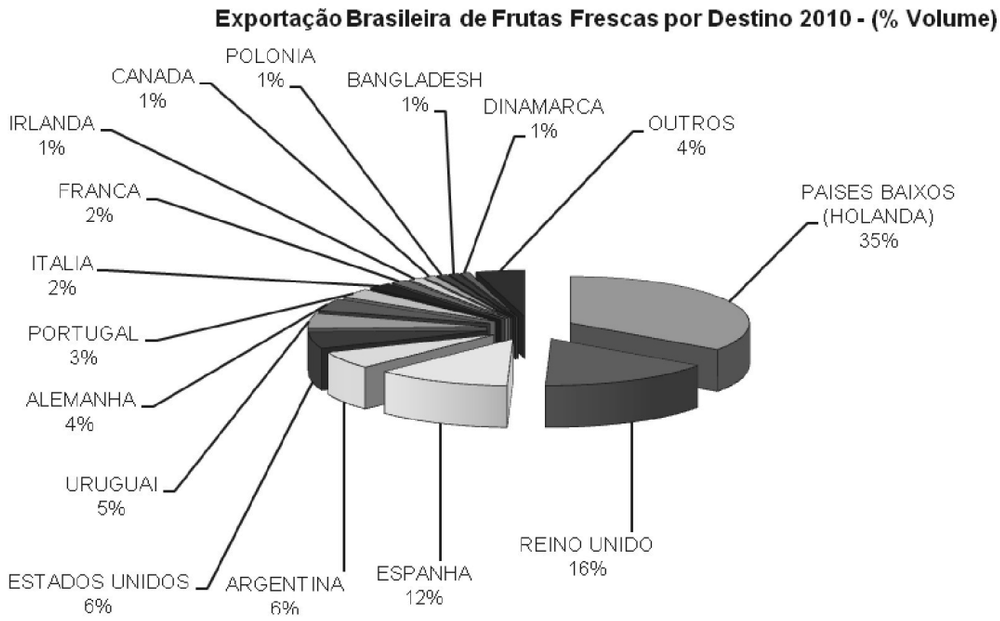


Figura 6: Destino das exportações brasileiras de frutas (SECEX/IBRAF, 2011).

Esta situação nos chama a atenção para a grande concentração das exportações brasileiras para o bloco europeu, com uma concentração de 81,13% do valor e 75,29% do volume de frutas exportado pelo Brasil (Tabela 3). Frutas como melão, melancia, limão, figo, entre outras, são as que têm maior dependência do mercado europeu, ou seja, podem ter suas exportações reduzidas a 0 (zero), caso o bloco cesse essas importações. Diante desse fato, a grande busca deve ser a conquista de novos mercados, pois, assim, além de diminuir a dependência dos atuais mercados, ainda podemos ampliar os volumes exportados totais.

Por outro lado, a Europa se tornou dependente do mamão brasileiro, pois compra 49% desta fruta do Brasil e em determinadas épocas do ano, o único fornecedor. Podemos acrescentar a essa lista a manga e o melão brasileiro, com 25% e 22,8% de entrada na Europa, respectivamente, e, como o mamão, em determinadas épocas, quase sem concorrências. Vale ressaltar que o melão vem aumentando sua participação, enquanto a manga, que chegou a quase 35% do mercado, vem perdendo espaço, principalmente pela baixa qualidade e maturação inadequada do produto.

Esta dependência é também um sinal de alerta, pois tais frutas dificilmente terão aumento de compra por parte desse bloco, a não ser que o seu consumo seja ampliado. Produtos onde nossa participação ainda é pequena neste mercado, como o caso das uvas, abacaxis, bananas e citrus, possuem grande potencial de crescimento, pois, se dobrarmos a exportação, ainda continuaremos com pequenas porções destes mercados. Há ainda produtos de cujo comércio o Brasil não participa, caso da ameixa, pera e dos berries em geral, cujos estudos precisamos aumentar e, consequentemente, a produção para poder atingir esses mercados.

Tabela 3: Comparativo das exportações brasileiras de frutas para a Europa 2009.

Participação da UE nas Exportações Brasileiras de Frutas Frescas 2009						
FRUTAS	% EU		EU		Total	
	Valor	Volume	Valor (US$ FOB)	Volume (Kg)	Valor (US$ FOB)	Volume (Kg)
Melões	98,25	98,47	119.958.840	181.105.343	122.094.688	183.911.976
Maçãs	84,97	83,02	47.863.501	81.582.085	56.328.134	98.264.010
Mangas	74,95	73,98	72.991.469	81.533.124	97.388.159	110.202.283
Limões	88,85	87,51	38.892.708	58.083.268	43.771.018	66.374.045
Bananas	56,75	38,33	22.355.903	55.152.841	39.394.960	143.871.502
Uvas	72,58	72,36	80.256.270	39.478.454	110.574.457	54.559.684
Melancias	95,56	84,07	15.035.879	32.820.514	15.735.304	39.038.818
Mamões	77,19	73,88	26.599.261	20.356.110	34.457.466	27.554.464
Laranjas	70,43	66,00	7.989.187	17.283.557	11.343.154	26.185.254
Abacaxis	82,94	72,36	8.775.577	14.340.903	10.580.302	19.817.923
Abacates	95,34	96,58	3.438.264	2.831.895	3.606.220	2.932.222
Figos	93,46	94,66	7.286.000	1.579.407	7.796.246	1.668.583
Outras Frutas	74,83	80,85	1.518.671	799.834	2.029.468	989.250
Tangerinas	7,57	6,48	248.344	286.060	3.281.271	4.411.914
Cocos	61,92	44,87	102.764	182.703	165.970	407.193
Goiabas	88,80	91,54	264.418	140.032	297.764	152.972
Framboesas/Amoras	100,00	100,00	208.488	31.222	208.488	31.222
Airelas e Mirtilos	100,00	100,00	60.618	6.249	60.618	6.249
Outros Cítricos	16,26	15,64	55.669	2.164	342.275	13.834
Pomelos	100,00	100,00	600	2.040	600	2.040
Morangos	51,19	32,69	4.404	816	8.604	2.496
Pêssegos	-	-	-	-	28.154	13.500
Peras	-	-	-	-	0	0
Kiwis	-	-	-	-	1.979	1.800
Damascos	-	-	-	-	641	21
Cerejas	-	-	-	-	2.872	300
Ameixas	-	-	-	-	1.074	180
Total	**81,13**	**75,29**	**453.906.835**	**587.598.621**	**559.499.886**	**780.413.735**

Fonte: SECEX/IBRAF (2011).

Vale, ainda, ressaltar que, embora o Brasil seja altamente dependente do mercado europeu, com mais de 75% do volume exportado a esse bloco, esse faz apenas 2,8% de suas compras do Brasil (Tabela 4), ou seja, ainda podemos aumentar nosso acesso a esse mercado, além de buscar novos como os asiáticos e árabes com fortes tendências de crescimento.

Tabela 4: Participação das frutas brasileiras nas importações da Europa – ano 2007.

Participação das Frutas Brasileiras nas Importações da Europa – 2007			
Frutas	**% Participação**	***Importação Total (ton)***	***Importação Brasil (ton)***
Papaias	49,09	50.831	24.952
Mangas	25,36	335.504	85.074
Melão	22,85	886.096	202.481
Figos	7,49	19.270	1.444
Limões	5,38	1.005.772	54.132
Uvas	4,04	1.579.677	63.758
Melancia	3,55	841.186	29.848
Maçãs	3,06	3.421.795	104.660
Abacaxis	2,35	1.269.923	29.870
Bananas	1,31	6.705.804	88.040
Laranjas	1,26	2.868.264	36.166
Abacates	0,47	302.310	1.415
Outras	0,05	1.670.783	855
Berries	0,01	630.171	92
Pêras	0	1.057.036	44
Tangerinas	0	1.983.384	29
Pêssegos	0	937.505	0,11
Ameixas	0	285.703	0
Total	2,80	25.851.014	722.861

Fonte: FAO/SECEX (2010).

4. Marketing das frutas

Nos últimos anos os consumidores se mostram mais exigentes devido ao menor tempo disponível para preparar alimentos, à busca de produtos mais saudáveis e com maior sabor, e também fazem um maior número de refeições fora de casa ou procuram produtos com maior praticidade, e principalmente buscam um alimento seguro para consumo. Outro fator importante de ser lembrado é que este mesmo consumidor mora em grandes centros urbanos e não conhece nossas frutas, não sabe como escolher e preparar, o que o afasta de nossos produtos. O consumo de frutas frescas não passa de 60Kg/hab/ano, enquanto a Organização de Saúde - OMS recomenda 100Kg/hab/ano.

Diante do exposto, oferecer produtos novos, mais práticos, com apelo visual, seguros e principalmente garantia de sabor passou a ser condição para realização de boas vendas.

Podemos citar pesquisa feita recentemente pela equipe do CQH - Ceagesp, segundo a qual os consumidores têm receio de comprar principalmente melão, abacaxi e uva, pois não sabem se estão no ponto correto de maturação, ou seja, prontos para o consumo.

Algumas alternativas estão sendo colocadas no mercado como é o caso das maçãs para crianças ou o das novas bananas, como a banana “baby”, do tamanho ideal para nossas crianças (Figura 7); novos tipos de apresentação do produto também podem agregar valor, além das alternativas de oferecer os produtos processados como a banana chips, as desidratadas, as bananadas, entre outras, que podem fornecer aos consumidores a praticidade dos salgadinhos e doces, mas com apelo à alimentação saudável.

Outro ponto fundamental é a criação de marcas associadas a personagens infantis, que, além de atrair a atenção das crianças, agrega valor ao produto, estabelecendo uma identidade entre o produto e o consumidor.

Figura 7: Banana baby
(Foto: Maurício de Sá Ferraz)

Tais ações devem ser tomadas para aumentar as vendas em pontos tradicionais e para conquistar novos mercados, pois muitas vezes há competição em mercados já saturados e principalmente dominados por grandes multinacionais, como é o caso da comercialização de banana nos principais países compradores.

Temos condições de atender a esse mercado e ao mercado de processados, que, somados, podem atingir a cifra de 140 bilhões de dólares ao ano?

Algumas ações de marketing mostram que sim, como no caso da promoção de banana-prata para nichos de mercado (Figura 8): diferenciando-se o produto pode-se agregar valor e não competir com as empresas tradicionais. Outra estratégia seria oferecer as frutas com um apelo de produto produzido dentro de comércio solidário ou por grupo de pequenos produtores.

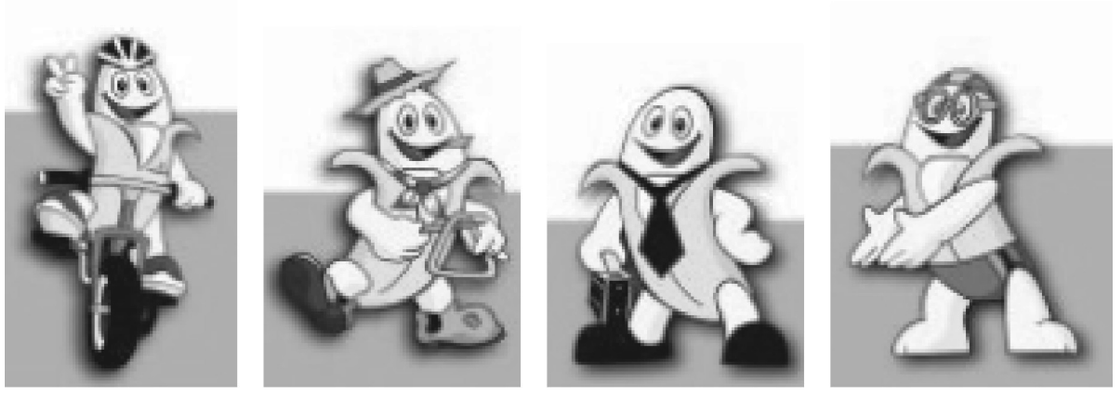


Figura 8: Marketing da banana-prata realizado pela ABANORTE.

Atrair as crianças com personagens engraçados e brincadeiras para criar o hábito de se consumir frutas, também pode ser aplicado, assim como incentivar o consumo por meio de campanhas mostrando os benefícios do consumo (Figura 9).

Figura 9: Marketing em ponto de venda (Foto: IBRAF)

4.1 Marketing da fruta brasileira no mercado internacional

Para promover as exportações de frutas brasileiras, o IBRAF (Instituto Brasileiro de Frutas) coordena, em conjunto com a APEX-Brasil (Agência de Promoção de Exportações e Investimentos do Brasil) e as associações do setor, o Projeto Setorial Integrado de Promoção das Exportações de Frutas Frescas e Processadas Brasileiras. O objetivo desse projeto é criar ações estratégicas de cobertura geral para aspectos onde existam uma sinergia e benefício comum a todos os setores envolvidos; ações específicas para cada cadeia de frutas e, por fim, ações de apoio e suporte que possibilitem o acesso de um número maior de produtores e pequenos agronegócios de frutas. Através de um programa permanente e consistente, será possível apoiar as novas bases agrícolas, oferecendo capacitação, treinamento, acesso sistêmico aos mercados externos e adoção de sistemas de organização inovadores e eficientes para todos os setores.

A grande meta do setor brasileiro é consolidar-se no mercado internacional não apenas como produtor de frutas tropicais, mas também de muitas frutas-chave. Para isso, é preciso capacitar o setor e expandir, significativamente, suas fronteiras agrícolas em valores absolutos e comparativamente aos grandes supridores internacionais, sem deixar de lado a imagem de confiabilidade, continuidade e diversidade de frutas para todo o mundo.

As ações promocionais têm como alvo tanto os clientes/compradores em potencial como o consumidor final, estreitando o relacionamento com os agentes de mercado internacional e levando ao consumidor as informações corretas da fruticultura brasileira e seus produtos.

4.2 Mercado alvo

O setor elegeu como alvos para o biênio 2010/2012 os mercados para fruta fresca da Alemanha, Canadá, Emirados Árabes, Estados Unidos, Hong Kong, Inglaterra, Portugal e Rússia e, para as frutas processadas os Estados Unidos, Emirados Árabes, Canadá, Espanha, China, Inglaterra, Angola, África do Sul, Rússia, Arábia Saudita, França, Hong Kong e Chile.

A campanha de promoção de exportação de frutas foi desenvolvida para atender a demanda do setor e tem como principal objetivo propiciar aos exportadores brasileiros maior integração com os mercados alvos. Além de realizar ações de degustação em redes de supermercados e restaurantes, o Projeto prevê também a participação nos principais eventos Internacionais e um acompanhamento sistemático das informações dos mercados internacionais.

Referências

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Production Quantity.** 2010a. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Acesso em: maio 2011.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Food Supply Quantity.** 2010b. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/609/default.aspx#ancor>. Acesso em: maio 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2009.** 2009. Disponível em: < http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>. Acesso em: maio 2011.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. E**statísticas – Frutas Frescas.** 2011. Disponível em:<http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp. http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Exporta%C3%A7%C3%A3o/Comparativo_das_Exporta%C3%A7%C3%B5es_Brasileiras_de_Frutas _frescas_2010-2009.pdf >. Acesso em: maio 2011.

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior. **Exportações Brasileiras.** 2010. Disponível em: < http://aliceweb.mdic.gov.br>. Acesso em: 12 jan. 2011.

Capítulo 2

Alimentos na Próxima Década: Um Olhar sobre o Cenário Mundial, Brasileiro e Principais Tendências Tecnológicas

Silvio Crestana

1. Introdução

Prever o futuro almejando tomar decisões no presente remonta ao tempo dos faraós, no Egito. A depender do diagnóstico das cores das águas do Nilo, poder-se-ia prever as colheitas, se seriam tempos de abundância, de colheita farta ou de miséria, com frustração de colheitas. Com isso, os faraós poderiam saber da situação financeira futura dos fazendeiros e definir o aumento de impostos que eles seriam capazes de pagar. Prospectar, no sentido determinístico de Laplace, significa descrever as forças principais atuantes sobre um determinado sistema de interesse e daí, conhecer, com relativa certeza, seu futuro, a partir das condições iniciais e dos vínculos a que o mesmo sistema está submetido. A extrapolação linear do passado até o presente e daí o encontro do futuro, como se fosse único, a partir do presente, é consequência dessa racionalidade. No entanto, a metodologia falha quando se trata de lidar com as incertezas. Mais modernamente, utiliza-se a metodologia dos cenários, levando-se em conta possíveis acontecimentos que poderão impactar decisivamente o futuro. Portanto, coerentemente com essa visão, parte-se do reconhecimento da incerteza sobre o futuro para avaliar os futuros possíveis ou, da mesma maneira, os futuros mais prováveis. E, atualmente, diante da imprevisibilidade causada pelas incertezas, os modelos de planejamento estratégicos vinculam seus cenários a revisões periódicas, donde são feitos ajustes de trajetória, caso necessários. Este capítulo objetiva apresentar uma revisão sintética e atualizada do cenário mundial, brasileiro e das principais tendências tecnológicas relativas aos alimentos, para a próxima década. Quando se aborda a temática dos alimentos, é preciso considerar toda a complexidade da cadeia produtiva que vai dos insumos, à produção, à pós-colheita, passando pelo transporte, pelo acondicionamento dos produtos ao seu armazenamento, pela distribuição e comercialização até a prateleira do supermercado. A rigor, vai ainda mais longe se considerarmos os subprodutos, os resíduos ou efluentes gerados pós seu uso. Hoje não basta só a existência do alimento em quantidade, mas também sua qualidade. Ainda há problemas graves de distribuição de alimentos, fazendo com que quase 1 bilhão de habitantes enfrentem o problema da subnutrição enquanto que outra parte importante dos habitantes que a eles têm acesso enfrentam o também grave problema da obesidade. Os estudos recentes, incluindo aqueles obtidos a partir de pesquisas com consumidores, mostram que o trinômio: alimentação, nutrição e saúde veio para ficar (SASSON, 2011). Também é crescente a demanda por alimentos certificados, que atestem boas práticas agrícolas, que considerem o ciclo de vida dos produtos nele empregados e até os aspectos sociais e ambientais envolvidos na sua produção, comercialização e distribuição. À guisa de exemplo, consideremos a produção de hortaliças no Brasil, que tem crescido vigorosamente nos últimos anos, passando de 11,5 milhões de toneladas em 1998 para 19,3 milhões de toneladas em 2008, tomando-se por base dados do Anuário Brasileiro de Hortaliças 2010. De acordo com Martins e Medeiros (2011), apesar do crescimento favorável nos últimos anos, a produção de hortaliças enfrenta vários desafios como o baixo consumo no Brasil, a logística de pós-colheita e principalmente, do ponto de vista de saúde pública, contaminações biológicas e o uso de agrotóxicos sem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Recentemente, um surto da bactéria *Escherichia coli* atingiu 14 países da Europa mais os Estados Unidos, infectando cerca de 3000 pessoas - produzindo 39 mortes - além de outras que foram hospitalizadas. A disseminação da cepa altamente resistente da *E. coli* ocorreu a partir do cultivo de brotos de feijão cultivados em uma fazenda do norte da Alemanha. No Brasil, os resultados do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA/ANVISA) em 2009 citam que das 3.130 amostras analisadas pelo programa, 907 (29,0%) foram consideradas insatisfatórias. Do total de amostras analisadas, 744 apresentaram utilização de agrotóxicos não autorizados para a cultura, representando 23,8% do total analisado. Um manejo adequado da cultura, baseado nas Boas Práticas Agrícolas, no monitoramento dos tratos culturais e na rastreabilidade desde o plantio até a pós-colheita, como ocorre na Produção Integrada Agropecuária (PI Brasil) evitaria danos maiores à saúde pública mundial.

A Produção Integrada Agropecuária (ZAMBOLIM, 2009) é um sistema produtivo de adesão voluntária baseado na sustentabilidade e racionalização do uso de insumos, utilizando instrumentos adequados de monitoramento e rastreabilidade de todos os processos (CONFERÊNCIA INTERNACIONAL..., 2004).

Considerando a tendência crescente dos mercados quanto à sustentabilidade da produção agrícola e a exigência de informações sobre procedência e qualidade dos alimentos consumidos, a produção de hortaliças através da PI Brasil torna-se uma importante aliada do produtor para a produção de alimentos seguros. Ainda, segundo Martins e Medeiros (2011), os primeiros projetos de Produção Integrada de Hortaliças fomentados pelo MAPA datam de 2005 e foram implantados para as culturas da batata em Minas Gerais, tomate de mesa no Espírito Santo e tomate industrial em Goiás e Minas Gerais. Os resultados foram expressivos para a cultura da batata, onde houve redução de 19% a 25% nos custos de produção e a produtividade sob regime da Produção Integrada alcançou valores entre 34 e 40 toneladas por hectare, contra 17 a 20 no sistema convencional. A racionalização do uso de agrotóxicos teve notável desempenho, chegando à redução de até 100% no uso de herbicidas. Atualmente, o MAPA acompanha um convênio celebrado com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI-SC) para a capacitação de produtores de tomate de mesa em Produção Integrada. Os resultados obtidos pela EPAGRI com Produção Integrada de Tomate de Mesa mostraram que, apesar de os produtores de Santa Catarina ainda não receberem maior remuneração pelos produtos oriundos da Produção Integrada, tiveram uma redução no custo de produção de até R$ 4.000,00 (quatro mil reais) por hectare. Com relação às hortaliças folhosas, o MAPA coordena o projeto de Produção Integrada de Hortaliças Folhosas desenvolvido no Distrito Federal, o qual é executado pela Embrapa Hortaliças.

Conforme o documento Brasil Food Trends 2020, produzido pela FIESP e ITAL, as recentes exigências e tendências dos consumidores mundiais de alimentos, baseadas em análise de relatórios estratégicos produzidos por institutos de referência, podem ser agrupados em cinco categorias: 1. Sensorialidade e Prazer, 2. Saudabilidade e Bem-Estar, 3. Conveniência e Praticidade, 4. Confiabilidade e Qualidade e 5. Sustentabilidade e Ética. Segundo Vialta (2010, p. 99), a indústria de alimentos utiliza uma ampla gama de ingredientes orgânicos e inorgânicos com o objetivo principal de aumentar a vida útil dos produtos e torná-los mais saudáveis e atraentes sensorialmente. Esses objetivos são perenes, porém a forma de alcançá-los muda consideravelmente à medida que as inovações tecnológicas se apresentam. Daí a importância de se considerar o concurso das ciências e inovações mais avançadas e seus potenciais de mudanças de paradigmas e saber como o setor industrial as está encarando. A biofortificação, o emprego de nanocápsulas e materiais nanoestruturados são pequenas mostras da força da bio e da nanotecnologia que, associadas às ciências cognitivas e às tecnologias da informação, se juntam para dar origem às tecnologias convergentes, conforme será abordado nesse capítulo.

É com o propósito de rever um pouco do “estado da arte” que governa a fronteira: alimentos, ciências e inovação, indústrias e consumidores, que serão apresentados alguns cenários possíveis obtidos a partir de estudos, prospecções e relatórios recentes, inclusive utilizando extrapolações. Também daremos destaque ao relevante papel do Brasil na produção mundial de alimentos, apresentando síntese de relatório recente disponibilizado pelo MAPA. De modo a tornar mais fácil a leitura, o presente capítulo será subdivido em quatro partes, conforme apresentado em seguida.

Parte I - Panorama mundial para a próxima década: demanda crescente, oferta restrita a alguns países, estoques limitados, volatilidade de preços...

A Figura 1, elaborada pela Fundação Getúlio Vargas – GV Agro, ilustra com clareza o crescimento da demanda mundial por alimentos no período 1990-2000 e a tendência prevista de crescimento, por volta de 62%, para o período 2000-2025. Também é importante notar o papel da China, Índia e África que, somados, em 2025, serão responsáveis por praticamente a metade do crescimento da demanda mundial.

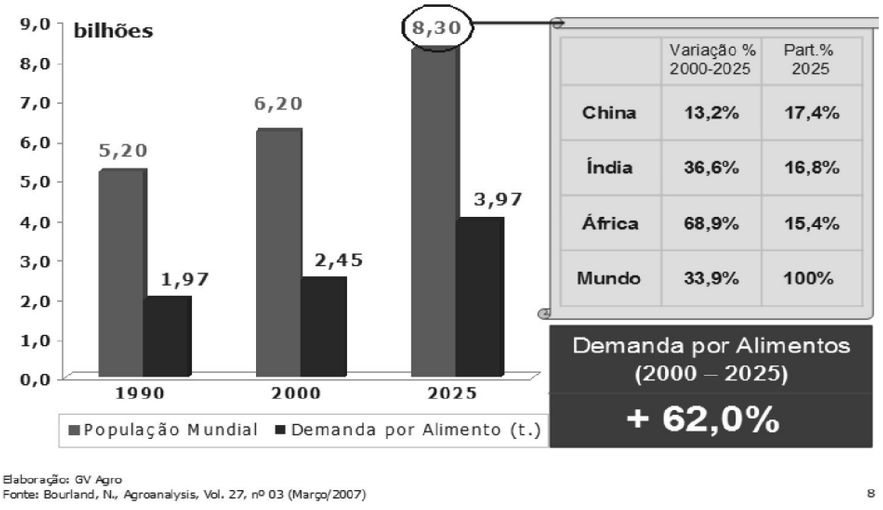


Figura 1: Crescimento populacional e demanda por alimentos computada para o período 1990-2025 assim como demanda crescente da China, Índia e África (MALAVOLTA, 2007).

O USDA elaborou excelente relatório USDA Long Term Projections 2020 (USDA, 2011), liberado em fevereiro de 2011. São explicitadas visões e projeções sobre crescimento econômico, população,valor do dólar americano, preços do petróleo, política agrícola americana, comércio pecuário e de carnes, biocombustíveis nos EUA e no mundo, política internacional e preços. Considerando-se a pertinência aos objetivos deste tópico, apresenta-se, em seguida, um resumo dos estudos e prospecções para a próxima década, fornecido pela OECD (Organisation for Economic and Development Cooperation) e FAO (Food and Agriculture Organization of United Naitions) referente ao relatório conjunto OECD-FAO Agricultural Outlook 2011-2020 (OECD; FAO, 2011). Um dos seus principais objetivos foi subsidiar as discussões e propostas dos ministros da Agricultura do G-20, reunidos em Paris, em junho de 2011.

1. Um período de elevação e de volatilidade de preços das commodities

Há uma preocupação internacional acerca dos níveis e da volatilidade dos preços das commodities agrícolas. A Figura 2 ilustra a volatilidade histórica dos preços do trigo, arroz e milho, no período 1960-2010. Preços altos e voláteis atraem a máxima atenção, mas preços baixos e volatilidade também são problemáticos. A volatilidade de preços cria incerteza e risco para os produtores, comerciantes, consumidores e governos e podem ter impactos negativos extensos no setor agrícola, na segurança alimentar e na economia em geral, tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento.

Os preços das *commodities* se elevaram fortemente em agosto de 2010 na medida em que a produção agrícola caiu fortemente em regiões agrícolas-chave, os estoques baixos reduziram o suprimento disponível e a retomada do crescimento nos países desenvolvidos e nas economias emergentes escorou a demanda. Um período de alta volatilidade nos mercados das *commodities* agrícolas entrou no seu quinto ano sucessivo.

Preços altos e voláteis das commodities e suas implicações na insegurança alimentar estão claramente nos assuntos importantes que enfrentam os governos. Isso foi muito bem refletido nas discussões do G-20, em Seoul, em novembro de 2010 e nas propostas de ações consideradas em junho de 2011, no encontro de ministros da agricultura, em Paris. Este *outlook* é cautelosamente otimista quanto à queda dos preços das commodities referente aos níveis de 2010-11, na medida em que os mercados respondam aos seus altos preços e as oportunidades de crescimento dos lucros que eles permitem. As colheitas deste ano são críticas, tomando certo tempo para restaurar os balanços de mercado. Até que os estoques possam ser reconstruídos riscos de próxima elevação de preços mantêm-se altos. Este *outlook* mantêm sua visão das edições recentes de que os preços reais das commodities agrícolas provavelmente permanecerão em um platô elevado durante a próxima década comparada com a anterior. Períodos prolongados de preços altos podem tornar as metas de segurança alimentar global mais difíceis, colocando os consumidores pobres em alto risco de subnutrição.

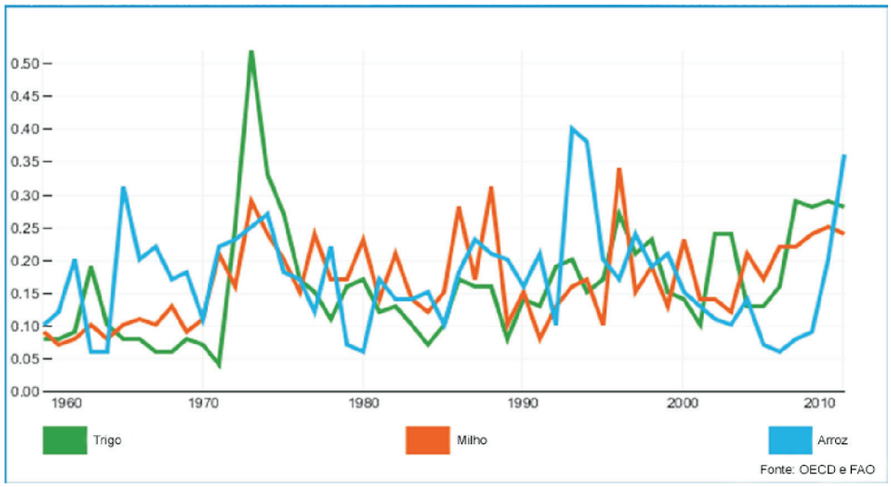


Figura 2: Volatilidade histórica dos preços reais do trigo, milho e arroz no período 1960-2010. Fontes: milho (US No. 2, amarelo, US Gulf); arroz (arroz branco, Thai 100% B segundo grau, f.o.b. Bangkok); trigo (US No. 2, trigo de inverno, US Gulf) (OECD; FAO, 2011).

2. O que esta governando a volatilidade dos preços?

Tempo e mudanças climáticas - O mais frequente e significativo fator que tem causado volatilidade é a imprevisão das condições do tempo. Mudanças climáticas estão alterando os padrões de tempo, mas os seus impactos em eventos climáticos extremos não estão claros.

Níveis dos estoques - Os estoques têm, por muito tempo, desempenhado o papel de mitigar discrepâncias na demanda de curto prazo e suprimento de commodities. Quando os estoques acessíveis estão baixos em relação ao uso, conforme estão atualmente para grãos, a volatilidade dos preços deve ser alta.

Preços de energia - Os vínculos crescentes aos mercados de energia através de insumos como fertilizantes, transporte e da demanda de matérias-primas para biocombustível estão transmitindo a volatilidade dos preços de energia para os mercados agrícolas.

Taxas de câmbio - Devido ao fato de afetar os preços das commodities domésticas, os movimentos de câmbio têm o potencial de impactar a segurança alimentar e a competitividade ao redor do mundo.

Demanda crescente - Se o suprimento não condiz, ritmicamente, com a demanda, haverá pressão para cima no preço das commodities. Com as rendas per capita aumentando, globalmente e, em muitos países pobres, com expectativa de crescimento de até 50%, a demanda por alimentos irá se tornar mais inelástica, de tal maneira que maiores oscilações nos preços deverão ser necessárias para responder á demanda.

Pressão por recursos - Custos maiores dos insumos, menor aplicação de tecnologias agrícolas, expansão em terras mais marginais e limites para duplicar plantios, assim como água para irrigação, impõem limites às taxas de crescimento da produção.

Restrições comerciais - Tanto as restrições para importar como exportar amplificam a volatilidade dos preços nos mercados internacionais.

Especulação - A maioria dos pesquisadores concorda que altos níveis de atividade especulativa nos mercados futuros podem amplificar os movimentos de preços no curto prazo, embora não haja evidência conclusiva de efeitos sistêmicos na volatilidade de longo prazo.

3. Quais os desafios políticos para os governos?

O desafio de política para os governos é promover o crescimento da produtividade, particularmente entre os pequenos produtores, que melhore a resiliência dos mercados aos choques externos, reduza perdas e aumente os fornecimentos aos mercados locais a preços acessíveis.

Investimentos do setor público são necessários em pesquisa e desenvolvimento agrícola, em instituições e infraestrutura para aumentar a produtividade e a resiliência do setor na direção das mudanças do tempo e do clima e escassez de recursos. Investimentos também se fazem necessários para *reduzir as perdas pós-colheita.*

Reconhecendo que a volatilidade irá permanecer como um fator dos mercados agrícolas, políticas coerentes são requeridas para duplamente reduzir a volatilidade onde possível e limitar os seus impactos negativos.

Mitigando a volatilidade - A melhoria da transparência do mercado pode reduzir a volatilidade do preço. Grandes esforços são requisitados para melhorar a informação global e nacional e os sistemas de vigilância sobre as prospecções de mercado, incluindo melhores dados sobre produção, estoques e comércio em *commodities* sensíveis à segurança alimentar. Remoção ou redução das distorções de políticas, como restrições sobre importações e exportações ou subsídios para biocombustíveis, também podem reduzir a volatilidade dos preços. Informação e transparência nos mercados de futuros devem ser melhoradas, reconhecendo a importância de harmonizar medidas através de câmbios.

Gerenciando a volatilidade - Redes de segurança social podem ajudar os consumidores mais vulneráveis quando os preços dos alimentos sobem, enquanto redes de segurança de produtores podem compensar baixos rendimentos, mantendo assim sua capacidade de adquirir insumos e manter a produção. Reservas de alimentos de emergência para assistência dirigida a pessoas pobres são úteis para amenizar o impacto da altos dos preços. Maiores esforços são necessários para construir esquemas de gerenciamento de risco baseados no mercado, incluindo a utilização de contratos futuros e bolsas de futuros, disponíveis para pequenos produtores.

Os governos também podem adotar tais estratégias de gerenciamento de risco, tais como seguros para financiar as importações de alimentos quando o mau tempo reduz a produção nacional ou contratos de opção para bloquear, no futuro, as compras de alimentos via importação.

4. Preços das commodities agrícolas, em termos nominais e reais

Todos os preços das *commodities,* em termos nominais, serão em média maiores em 2020 do que na década anterior. Em termos reais, conforme mostrado na Figura 3, o preço dos cereais deve subir até 20% para o milho e 15% para o arroz, comparativamente à década anterior, enquanto que o trigo deverá permanecer no mesmo nível.

Para as carnes, os preços reais para o frango devem se elevar mais do que 30% na próxima década, enquanto que a carne de porco nos mercados do Pacífico poderá subir alguma coisa como 20% a mais enquanto que os preços da carne bovina devem permanecer no mesmo nível elevado. Os preços das carnes são ajustados à medida que o aumento das matérias-primas é consignado em preços.

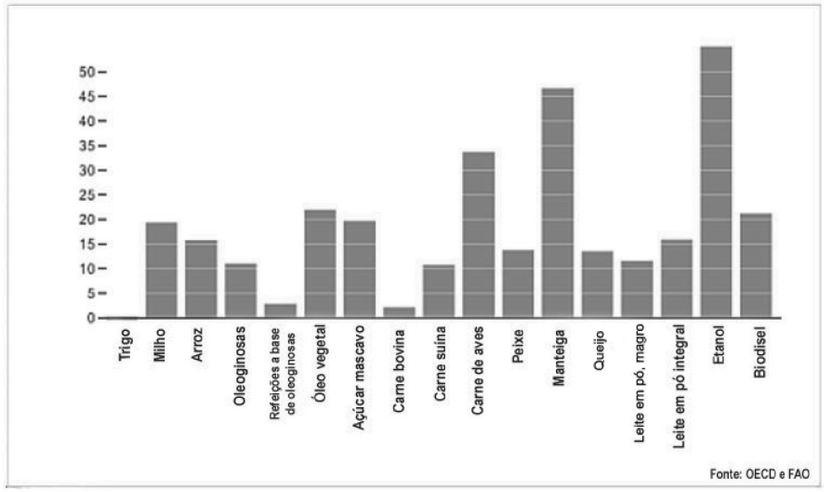


Figura 3: Variação de preços, em termos reais, em %, para o período 2011-2010 comparado com o período 2001-10. SMP: leite magro, em pó e WMP: leite integral, em pó (OECD; FAO, 2011).

Refletindo o fato de que os preços têm se movido na direção de forte elevação, os preços do trigo, arroz, refeições à base de oleaginosas (Figura 4) e açúcar irão, em média, se elevar menos comparados com os das três décadas passadas, enquanto que os preços de algumas carnes, produtos lácteos e milho irão mostrar uma elevação acima daquela observada no período de comparação.

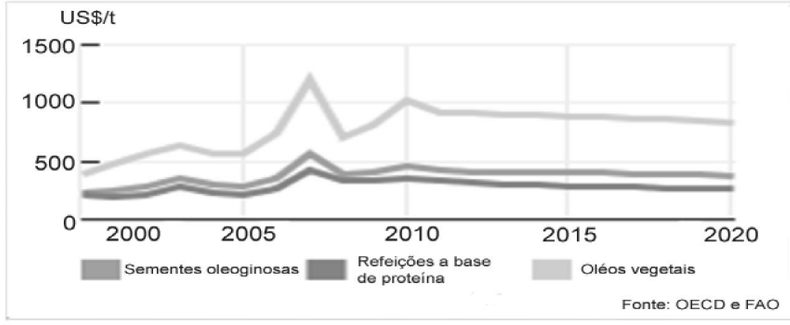


Figura 4: Preços, em termos reais, em US$ por tonelada, para oleaginosas, refeições à base de proteína e óleo vegetal, período 2000-2020 (OECD; FAO, 2011).

Parte II - Agricultura tropical e o papel do Brasil como grande produtor e fornecedor mundial

Nas últimas duas décadas, o Brasil vem se destacando no cenário mundial como grande produtor de alimentos e, por conseguinte, como potência agrícola mundial, capaz de suprir, em primeira instância, suas necessidades internas, garantindo a Segurança Alimentar Nacional e como grande fornecedor mundial de alimentos, através da exportação crescente de seus excedentes de produção. Tal feito tem seus fundamentos na contribuição das várias formas de agricultura praticadas no país, da agricultura de base familiar à empresarial e da exploração competente, baseada na ciência, dos seus recursos naturais. Hoje é possível afirmar, a partir de fundamentos sólidos, que o mundo pode desfrutar de duas colheitas agrícolas, uma produzida nos países de clima temperado e outra produzida nos países de clima tropical, lideradas pelo Brasil. Em consequência desta última obtida a partir do manejo de ecossistemas tropicais, devido à novidade e à sua importância, temos insistido na formulação e uso do conceito de agricultura tropical (CRESTANA; SOUSA, 2008). Recentemente, vários artigos veiculados em mídias internacionais de grande respeito têm corroborado nossa afirmação da importância do Brasil como celeiro agrícola. Mais que isso, o modelo de produção agrícola que permitiu o sucesso brasileiro tem sido apontado como uma solução a ser adaptado a outros países, principalmente àqueles que ainda não alcançaram suas respectivas seguranças alimentares (HOW TO FEED..., 2010; THE MIRACLE OF..., 2010). A agricultura brasileira, entendida aqui como produtora de alimentos, fibras e energia, constitui-se em um dos setores mais dinâmicos da economia. Conforme dados do IBGE, envolve cerca de 5 milhões de propriedades rurais, 18 milhões de pessoas e cerca de 37 % dos empregos no País (2007). Em 2009, conforme a CNA/Cepea-USP/Mapa, contribuiu com 23 % do PIB nacional e é a principal fonte de divisas internacionais. Em 2010, segundo a SECEX (Secretaria de Comercio Exterior do Ministério Indústria e Comércio Exterior) gerou um saldo comercial de US$ 61,5 bilhões, conforme mostrado na Figura 5. Na última década, as exportações agrícolas foram responsáveis por cerca de 40% das exportações brasileiras.

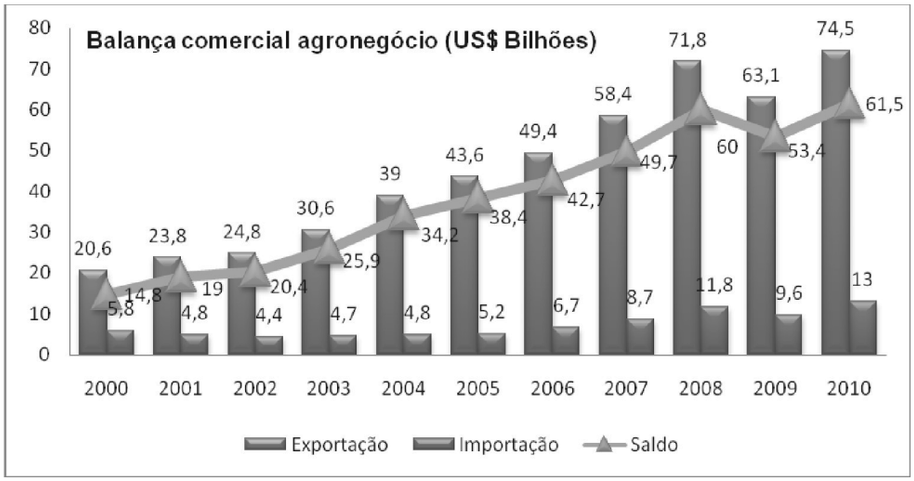


Figura 5: Evolução da balança comercial da agricultura brasileira no período 2000-2010. (SECEX).

Quando se avalia o papel do Brasil no suprimento de grãos para abastecer os estoques mundiais, fica evidente sua importância vital nesse mercado, conforme mostra a Figura 6. Ou seja, o Brasil produz excedentes vitais para o abastecimento dos estoques mundiais de grãos, exercendo, portanto, papel relevante no estabelecimento dos preços e do acesso aos alimentos, principalmente das populações mais pobres.

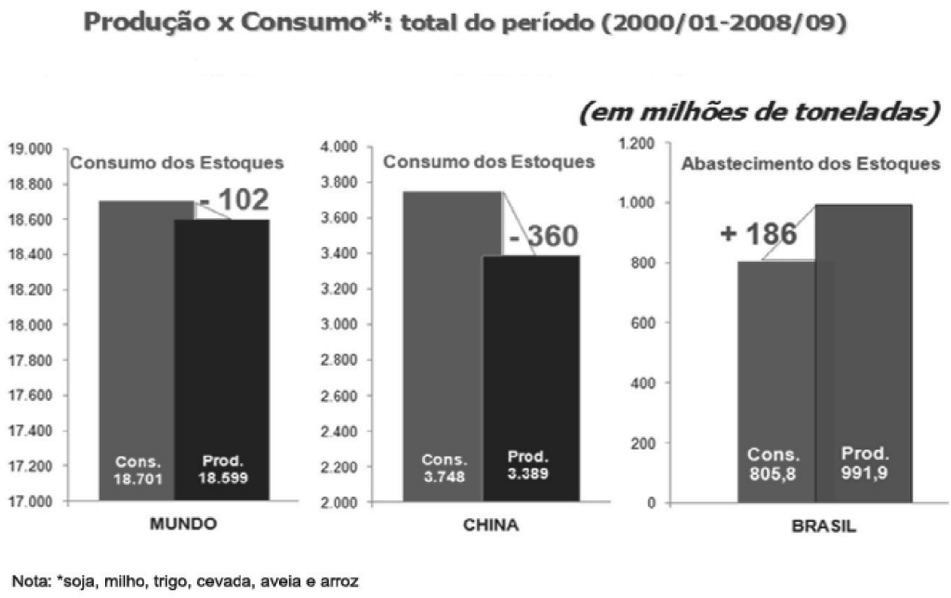


Figura 6: Consumo e produção de alimentos, em milhões de toneladas, para o período 2000/01-2008/09, para o mundo, China e Brasil, mostrando que o déficit mundial dos estoques só não foi maior graças aos excedentes produzidos pelo Brasil. Figura elaborada pela FGV-GV Agro. (RODRIGUES, R. Comunicação Pessoal).

Para efeito de ilustração das tendências da agricultura brasileira, para a década 2009/10-2019/20, no tocante à produção, consumo e exportação de alimentos, faz-se oportuno reproduzir parte do relatório apresentado pelo MAPA referente ao documento Projeções do Agronegócio 2010/11 a 2020/21 (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

O trabalho Projeções do Agronegócio - Brasil 2009/10 a 2019/20 é uma visão prospectiva do setor, base para o planejamento estratégico do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Para sua elaboração, foram consultados trabalhos de organizações brasileiras e internacionais, alguns deles baseados em modelos de projeções.

Resultados das projeções Brasil

Como o estudo é bastante extenso e abrange diversos setores da agricultura brasileira, optou-se por enfatizar, neste resumo, apenas as projeções da produção de carnes.

Carnes

As projeções de carnes para o Brasil mostram que esse setor deve apresentar intenso dinamismo nos próximos anos, apesar de ter havido um certo arrefecimento do setor com a crise econômica de 2008. Entre as carnes, as que se projetam com maiores taxas de crescimento da produção no período 2009/2010 a 2019/2020 são a de frango, que deve crescer anualmente a 3,64%, e a bovina, cujo crescimento projetado para esse período é de 2,15% ao ano. Por último, a produção de carne suína tem um crescimento projetado de 2,0% ao ano, o que também representa um valor relativamente elevado, pois consegue atender ao consumo doméstico e às exportações (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

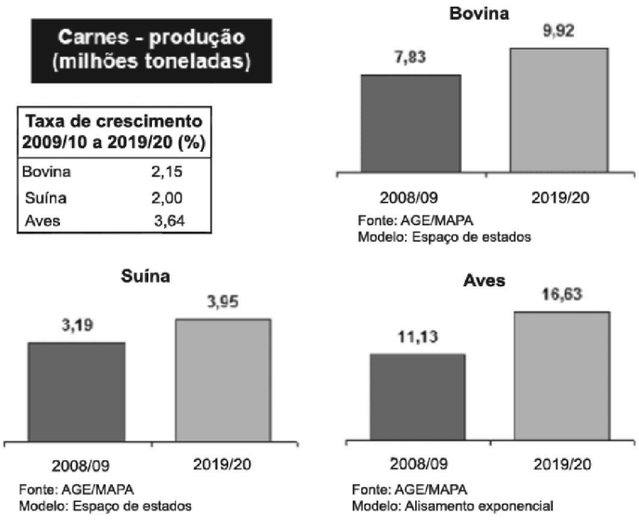


Figura 7: Produção brasileira de carnes bovina, suína e de aves, prevista para o período 2009/10 a 2019/20, em milhões de toneladas e respectivas taxas de crescimento, em %. (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

As projeções do consumo mostram preferência crescente dos consumidores brasileiros pela carne de frango, cujo crescimento projetado é de 3,23% ao ano no período 2009/2010 a 2019/2020. Isso significa um consumo interno de 10,9 milhões de toneladas daqui a 11 anos. A carne bovina assume o segundo lugar no aumento do consumo com uma taxa anual projetada de 1,94%, entre 2009/10 a 2019/2020. Em nível inferior de crescimento, situa-se a projeção do consumo de carne suína, de 1,77% ao ano para os próximos anos (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

As carnes situam-se num grupo de alimentos que apresentam elevada elasticidade renda do consumo. Significa que o aumento de renda se reflete, em geralmente, elevado aumento do consumo. A carne bovina de primeira apresenta elasticidade renda de 0,52%, indicando que se a renda se elevar em 10%, o consumo se eleva em 5,2%. Para a carne de frango, esse efeito é menor, pois a elasticidade renda do consumo é de 0,178 (HOFFMANN, 2007).

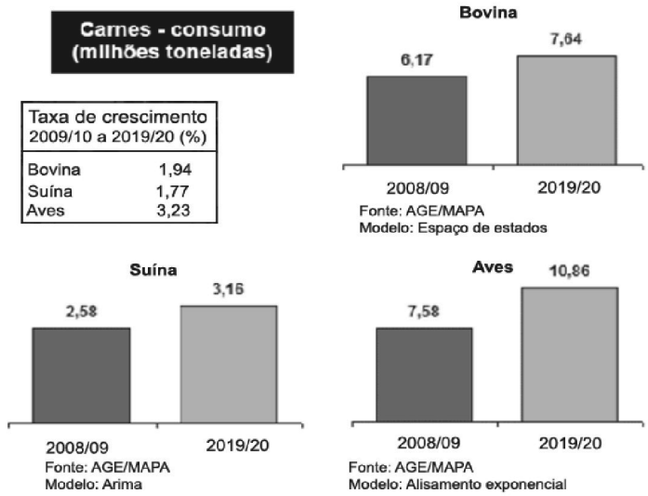


Figura 8: Consumo brasileiro de carnes bovina, suína e de aves, previsto para o período 2009/10 a 2019/20, em milhões de toneladas e respectivas taxas de crescimento, em % (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

Quanto às exportações, as projeções indicam elevadas taxas de crescimento para os três tipos de carnes analisados. As estimativas realizadas pela AGE-MAPA projetam um quadro favorável para as exportações brasileiras de carnes. As carnes de frango e de bovinos lideram as taxas de crescimento anual das exportações para os próximos anos - a taxa anual prevista para carne de frango é de 4,16%, e para a carne bovina, de 3,9%; as exportações de carne suína devem situar-se numa média anual de 2,81%.

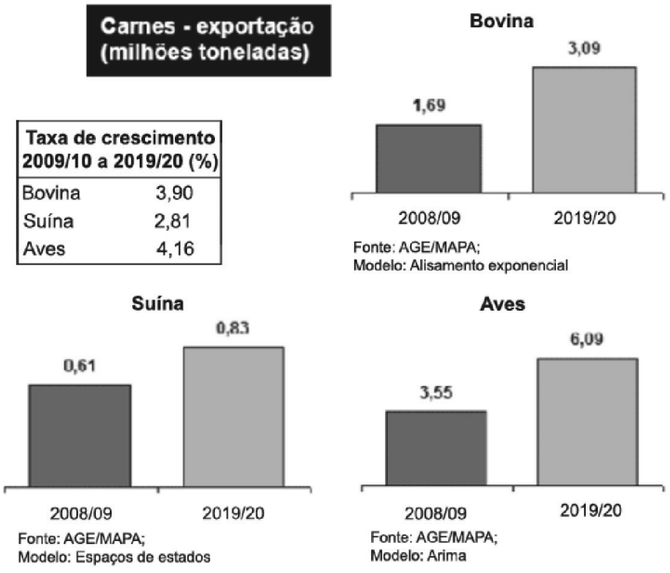


Figura 9: Exportações brasileiras de carnes bovina, suína e de aves, prevista para o período 2009/10 a 2019/20, em milhões de toneladas e respectivas taxas de crescimento, em % (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

A expansão prevista das exportações de carnes pelo Brasil nos coloca em posição de muito destaque no comércio mundial. O país deverá manter a liderança de principal exportador de carnes, bovina e de frango, bem como manter seu terceiro ou quarto lugar nas exportações de carne suína. Em 2019/2020 as relações Exportação do Brasil/Comércio mundial, devem representar: carne bovina, 42,7% do comércio mundial; carne suína, 16,0% do comércio mundial; carne de frango, 70,0% do mercado mundial (BRASIL PROJEÇÕES..., 2011).

Parte III – O imperativo e a realização de uma nova Revolução Agrícola, agora também socioambiental, alicerçada nos pilares das Ciências e Tecnologias Convergentes.

A civilização humana, ao longo de sua existência, tem convivido com vários problemas e superado muitos deles. Também, deve-se contemplar o fato de que o homem tem sido responsável por criar alguns deles. Dentre os problemas existentes em escala mundial, poderíamos destacar três deles ainda sem solução: o da fome (antigo), o da governança mundial (recente) e o do meio ambiente (recente). O da fome passa pela produção, pela disponibilidade e pelo acesso aos alimentos. Não basta a existência do alimento em quantidade e qualidade, mas é preciso viabilizar sua distribuição, via preços ou políticas sociais, de modo que chegue à mesa de todos aqueles que dele necessitem. O da governança passa pelo entendimento entre povos, países e pela construção, reforma e reconstrução de organismos e arranjos internacionais que sejam representativos da vontade democrática dos respectivos povos e países, ao mesmo tempo, que consigam operar soluções. Por exemplo, diminuir e até eliminar a fome e a subnutrição que, nos dias de hoje, segundo a FAO, atinge quase um sexto da população humana. No que tange à governança, o cenário atual exige, ainda, que as instituições se preparem para incluir em suas plataformas de gestão, além da busca contínua por eficiência e conformidade, a imprevisibilidade de eventos, os temas complexos, o diagnóstico de aumento crescente de crises e a participação de múltiplos parceiros. Tudo indica que, para se dar cabo a essa grande tarefa, cada país precisa primorosamente fazer sua "lição de casa". Mais que governo, é preciso governança, que considere e administre não só a dimensão *vertical* da autoridade, mas também a dimensão *horizontal* da inteligência e do poder coletivos emanados da sociedade. Por uma razão ou outra, propõe-se, com urgência, a criação, no país, de uma nova área da Ciência, da Engenharia e da Gestão: a dos Sistemas Complexos (CRESTANA; FRAGALLE, 2011).

Uma outra face do desafio nacional (CRESTANA; FRAGALLE, 2011) e global consiste em encontrar soluções sustentáveis, do ponto de vista ambiental, que permitam conciliar desenvolvimento com conservação dos recursos naturais. Vale lembrar que a comunidade científica tem produzido sucessivos alertas quanto aos "limites críticos" que vários indicadores ambientais já teriam atingindo. O que significa reconhecer que o planeta Terra tem capacidade limitada, finita em dar respostas às crescentes demandas humanas e que estas já estariam ultrapassando tal capacidade. Dizendo de outra maneira, a Terra, como sistema socioambiental, possui limites quanto à sua capacidade em responder de maneira elástica às pressões e estresses sobre seus recursos naturais. A essa capacidade (ou falta de) atribuem-se palavras como biocapacidade, resiliência ou mesmo "pegada humana". Resiliência, no sentido do sistema ser capaz de absorver as pressões e retornar, depois de um determinado tempo, ao seu estado anterior às pressões. Mede-se ou estima-se a resiliência de um sistema através de indicadores. No caso do ecossistema Terra, admite-se que os indicadores globais, como taxa de perda da biodiversidade, mudanças climáticas e ciclos de nitrogênio e fósforo, já teriam atingido limites críticos. Ou seja, o sistema atingiu uma condição inelástica que não permite, por conta própria, retornar ao estado inicial. E já estaríamos nos aproximando dos limites críticos no tocante aos indicadores como uso de água potável, alterações do uso do solo, acidificação dos oceanos e poluição química, como que por aerossóis atmosféricos (ROCKSTRÖM et al., 2009). A pressão para viabilizar as atividades agropecuárias, florestais e agroenergéticas tem se tornado, ao longo do tempo, cada vez mais intensas. Uma evidência disso é considerar o indicador terra agricultável per capita. Conforme a FAO, em 1950, para uma população de 2.8 bilhões de habitantes existiam cerca de 5.100 metros quadrados de área agricultável para cada habitante, em 2000, para uma população de 6.0 bilhões de habitantes esse indicador se reduzia a 2.700 metros quadrados e, em 2050, para uma população de 9.0 bilhões, o mesmo indicador deve se reduzir a 2.000 metros quadrados.

O progresso tecnológico obtido na agricultura nos dois últimos séculos baseou-se na monodisciplinariedade, quando as disciplinas da química, da biologia, da genética, da engenharia das máquinas e dos equipamentos foram aplicadas isoladamente, sem integração. No século passado, foi graças

à Revolução Verde, baseada em tecnologia, que as previsões catastróficas de Malthus foram impedidas de se concretizarem. Para conciliar a crescente demanda atual de alimentos com a crescente escassez de recursos naturais, é preciso fazer uma segunda Revolução Verde. Mas, desta vez, ela precisa ser muito mais verde e socialmente muito mais inclusiva, portanto muito mais sustentável do ponto de vista sócio-econômico-ambiental. O ingrediente básico de uma possível "Revolução agro-sócio-ambiental", certamente dependerá do trabalho interdisciplinar e transdisciplinar, cerne das Tecnologias Convergentes (Figura 10). Novos paradigmas poderão ser atingidos na próxima década e meia, graças às sinergias inéditas da interação dos quatro pilares fundamentais: átomos, genes, bits e neurônios e suas respectivas ciências e tecnologias daí derivadas.

Por exemplo, a nanociência e a nanotecnologia, Ciência e Tecnologia que lidam com o mundo na dimensão atômica e molecular, pertencem às Tecnologias Convergentes. (uma descrição um pouco mais detalhada pode ser encontrada no Apêndice 2). É como se pudéssemos modelar o futuro, átomo por átomo. Nessa escala, a matéria apresenta propriedades físicas únicas que fazem com que novas aplicações sejam possíveis. Produtos que empregam matérias-primas nanoscópicas já estão surgindo no Brasil, tais como a "Língua Eletrônica", desenvolvida pela Embrapa Instrumentação, no Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio, em São Carlos (SP) – que coloca o País na vanguarda do setor - capaz de detectar sabores (doce, salgado, amargo e azedo).

Apesar de já ter inovações decorrentes das tecnologias convergentes, o Brasil praticamente ainda não debateu esse tema, embora os Estados Unidos já o tenham feito em 2002 e a Europa em 2004. O País e o Mundo não podem prescindir do que há de novo, exaurindo os potenciais e as sinergias propiciadas pela Nanotecnologia, Ciências Cognitivas, Biotecnologia e Tecnologia da Informação, conforme ilustrado na Figura 10. Não é racional acreditar em remédio para os problemas atuais se a Ciência & Inovação, apoiadas por fortes programas de educação, não forem usadas nos seus limites máximos, radicalizando a aplicação do melhor que elas têm a oferecer (CRESTANA; FRAGALLE, 2011).

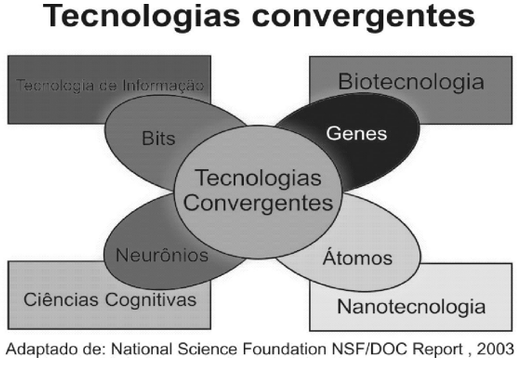


Figura 10: Ilustração esquemática dos quatro elementos básicos (bits, genes, átomos e neurônios) e das ciências e tecnologias daí derivadas, convergindo para o mesmo fim e podendo gerar sinergias inéditas. Adaptado de National Science Foundation NSF/DOC Report, 2003 (ROCO; BAINBRIDGE, 2003).

A ciência agrícola brasileira tem produzido evidências de que um novo patamar de desenvolvimento agrícola sustentável pode ser atingido. A Figura 11 ilustra, à semelhança de um chip de computador, que o conhecimento pode ser "empacotado", "embutido" ou "incorporado" em uma semente fazendo com que ela carregue valores essenciais como ganhos de produtividade e lucratividade, tornando-a competitiva no mercado de sementes. À medida que os parâmetros ambientais de sustentabilidade dos sistemas de produção

agropecuários forem se tornando relevantes, não há por que duvidar de que também poderão ser incorporados, através do concurso da pesquisa e da inovação. Parâmetros tais quais os ciclos de vida do produto, o consumo de água ("pegada hídrica"), as emissões de gases do efeito estufa, o consumo de energia, dentre outros desejáveis.

Figura 11: Ilustração artística de uma semente de soja, à semelhança de um chip de computador, onde são incorporados vários fatores que a ela agregam valor, tornando-a viável do ponto de vista da sua produtividade e lucratividade.

Foi graças ao concurso da ciência e da inovação, assim como à gestão competente dos agricultores e de políticas públicas apropriadas, aplicadas e incorporadas aos ecossistemas tropicais, que o Brasil conseguiu realizar, nas últimas décadas, uma verdadeira revolução silenciosa capaz de contribuir para o mundo com uma segunda safra, a safra tropical. Além da tamanha competitividade alcançada pelos produtos agrícolas brasileiros, a Figura 12 ilustra a área e a produção de grãos brasileiras, no período 2003/04 e 2010/11. Fica evidente que a produção tem crescido, apesar de pequenas oscilações, praticamente na mesma área, o que significa que os ganhos de produtividade tem sido, em média, crescentes. Interpretando-se de outra maneira, tais resultados, do ponto de vista agroambiental, se considerarmos as produtividades de algumas décadas atrás para produzir o que hoje colhemos, teríamos que praticamente dobrar a área plantada, avançando sobre novas áreas e ecossistemas mais frágeis. Portanto, ganho de produtividade levou a ganho ambiental no sentido de evitar tal avanço.

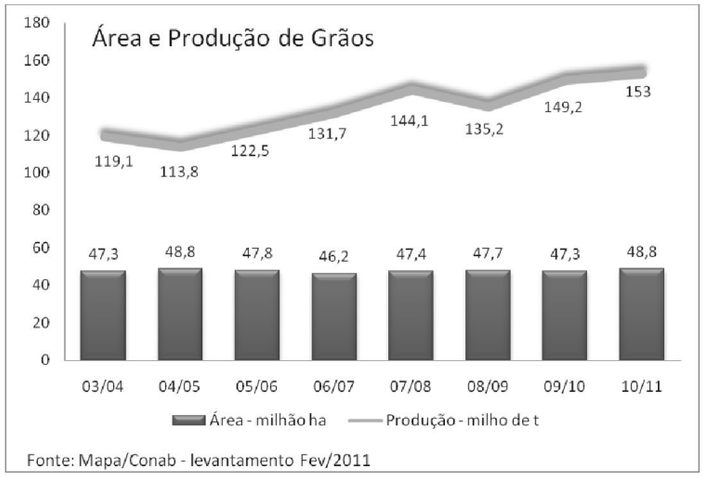
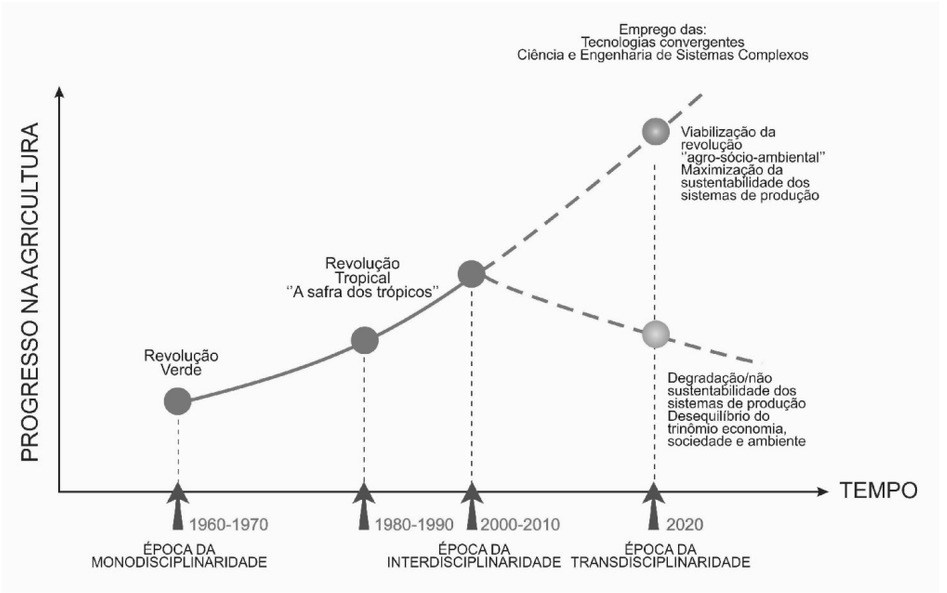


Figura 12: Área e produção de grãos, no Brasil, respectivamente em milhões de hectares e milhões de toneladas, no período 2003/04 e 2010/11 mostrando que a produção cresceu, praticamente ocupando a mesma área (MAPA/CONAB).

A Figura 13 esquematiza dois possíveis cenários dicotômicos para a agricultura, a partir da Revolução Verde, passando pela "Revolução Tropical" até chegar aos dias de hoje. Um cenário prevê que ganhos de produtividade crescentes acompanhados de ganhos sociais e ambientais deverão levar a um novo ciclo de progresso na agricultura. Um novo equilíbrio envolvendo a maximização da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola será alcançado, o que estamos denominando de "Revolução agro-socio-ambiental". Do ponto de vista do emprego das ciências e tecnologias, acredita-se que o uso das tecnologias convergentes e da ciência, tecnologia e gestão de sistemas complexos serão fundamentais. Contrariamente, o outro cenário prevê que o desequilíbrio do trinômio economia, sociedade e ambiente levará a uma degradação sucessiva dos sistemas de produção, inviabilizando a sustentabilidade e o progresso da agricultura. Como consequência desse cenário, indubitavelmente catastrófico, o espectro de Malthus voltará à tona, triunfante. E é por isso que deverá ser conscientemente evitado, a todo custo.



Arte gráfica: Valentim Monzane

Figura 13: Representação esquemática de dois cenários possíveis para as próximas décadas.

Parte IV – Principais Tendências Tecnológicas

Para a redação desta parte, lançamos mão de várias fontes e consultas como aos pesquisadores da Embrapa vinculados ao Labex-Europa, localizados nos laboratórios do INRA, em Dijon e Universidade de Bourgogne , na França e à Coordenação do Labex-EUA, localizada em Beltsville, Maryland, nos EUA, de quem recebemos excelentes contribuições. Também contamos com resultados recentes elaborados pelo projeto RIPA - Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio, projeto que foi financiado com recursos do Fundo Setorial do Agronegócio e implementado gerencialmente pela FINEP (REDE DE INOVAÇÃO..., 2010). O relatório RIPA utilizou metodologia inédita, no país, especialmente formulada para produzir um levantamento da situação, das perspectivas e dos assuntos críticos para P, D&I na área de C&T de Alimentos. Foi realizado o Workshop Segurança, Qualidade e Tecnologia de Alimentos, em junho de 2007 além de Workshops regionais (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte). Três eixos foram considerados: qualidade (nutricional, funcional e sensorial), segurança (inocuidade) e tecnologia de alimentos para o consumidor (pós-colheita, processamento e acondicionamento de matérias-primas e alimentos processados de origem animal e vegetal). O levantamento das demandas tecnológicas, a avaliação de cenários e a priorização de grandes temas e projetos de interesse de cada região produziram listas de gargalos, desafios, vulnerabilidades e oportunidades regionais com indicação de grandes plataformas de C, T&I e de gestão. O portfólio de projetos contém 18 propostas, donde são relatados os temas, resumos e objetivos relacionados, segundo o tema e seus respectivos eixos. O relatório também contribui com uma lista de competências em Segurança, Qualidade e Tecnologia de Alimentos para o consumidor. Um bom exemplo de estruturação de plataforma de C, T&I, alcançado pelo projeto RIPA, pode ser obtido em Rosenthal et al. (2008).

A revista Agricultural Research traz um excelente artigo sobre mirtilos, propriedades terapêuticas e nutricionais e alguns desafios de pesquisa para os próximos 100 anos (LIKE BLUEBERRIES?, 2011). A mesma revista, em janeiro de 2011, à sua página 13, revela importante contribuição dos cientistas do USDA-ARS acerca de trabalho com cenouras e radiação ultravioleta. Os cientistas foram capazes de amplificar em até três vezes o valor antioxidante da cenoura. A exploração de produtos naturais para fins de nutrição e saúde tem ganho notoriedade. Um bom exemplo é o estudo da capacidade antirradical de 7 frutas do Nordeste brasileiro: açaí, acerola,mangaba,murici, umbu, uvaia e polpa de caju (RUFINO et al., 2009). Uma boa revisão sobre uso da biodiversidade neotropical na produção de fitoterápicos pode ser vista em Desmarchelier (2010). Outra boa revisão concernente a coberturas comestíveis sobre frutas frescas visando incorporar ingredientes ativos pode ser encontrada em Rojas-Graüa, (2009). Em Rawson et al. (2011) é apresentada uma revisão dos avanços recentes sobre os efeitos das tecnologias térmicas e não térmicas no conteúdo bioativo de frutas exóticas e seus derivados. Interessante artigo de Palzer (2009) avalia o indicador “estrutura do alimento” em função da nutrição, saúde e bem-estar. Pereira e Vicente (2010) avaliam o impacto ambiental de novas tecnologias térmicas e não térmicas no processamento de alimentos. Tendências em embalagem de alimentos e sistemas e tecnologia de manufatura estão bem tratados por Mahalik e Nambiar (2010). Sloan (2011) apresenta, de modo muito interessante e didático, as dez principais tendências da indústria de alimentos para 2011 e para os próximos anos. Dentre tais tendências, incluem-se três refeições ao dia, mais pratos feitos em casa e uma tentativa quase desesperada de obter alimentos os mais próximos possíveis dos “reais”. Frutas e hortaliças têm sido propaladas como elementos-chave para uma dieta saudável. A Organização Mundial da Saúde (OMS) confirma isso e apresenta interessante sítio na web: Prevenindo doenças não-infecciosas e promovendo o consumo de frutas e hortaliças (WORLD HEALTH ORGANIZATION, c2011). Apresenta também o relatório Global Status report on noncommunicable diseases 2010, que faz uma análise global para vários países e traz recomendações que envolvem dietas alimentares, fatores de risco e doenças. Na mesma linha, o documento produzido pela Fundação Produce for Better Health, 2010 GAP Analysis discute o desafio do consumo de frutas e verduras e as políticas públicas de nutrição e saúde americanas, mostrando o “gap” entre o necessário e o praticado,

entre o que se fala e o que se implementa, efetivamente (ROSENFELD, 2010). No Brasil, a revista Fundepag & Negócios traz matéria atual sobre a alimentação do brasileiro em 2020 e as tendências para pesquisa e investimento que desafiam as pequenas, médias e grandes empresas, visando suprir as demandas dos consumidores nos próximos anos (LEONE, 2011). Cabe grande destaque o documento gerado pela FIESP e pelo ITAL publicado em 2010 (BRASIL FOOD..., 2010). Encomendada pela FIESP, o documento também inclui resultados de pesquisa com consumidores brasileiros, realizada pelo IBOPE, de âmbito nacional, especialmente dedicada aos objetivos do projeto Brasil Food Trends 2020 (BARBOSA et al., 2010). Por estar completamente apropriado aos fins deste capítulo, será apresentado, em seguida, um resumo de suas principais partes, com ênfase em Processos e Tecnologias Inovadoras.

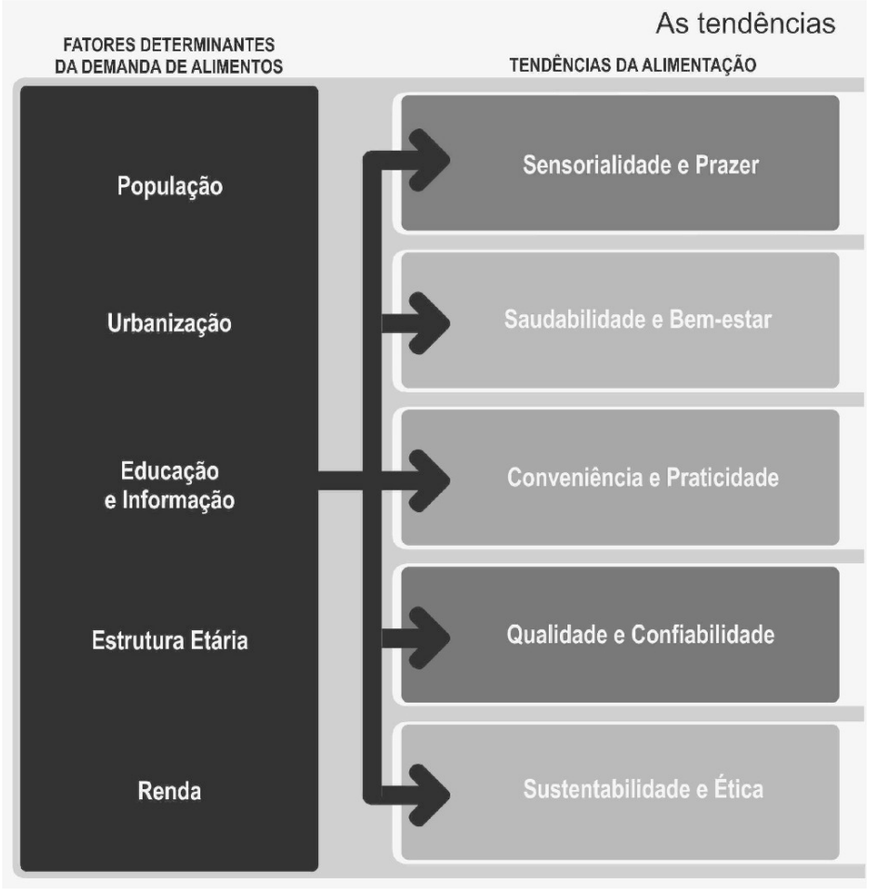
1. Alguns destaques do documento Brasil Food Trends 2020 relevantes ao escopo do capítulo

As recentes exigências e tendências dos consumidores mundiais de alimentos, baseadas em análise de relatórios estratégicos produzidos por institutos de referência, foram agrupadas em cinco categorias (Quadro 1):

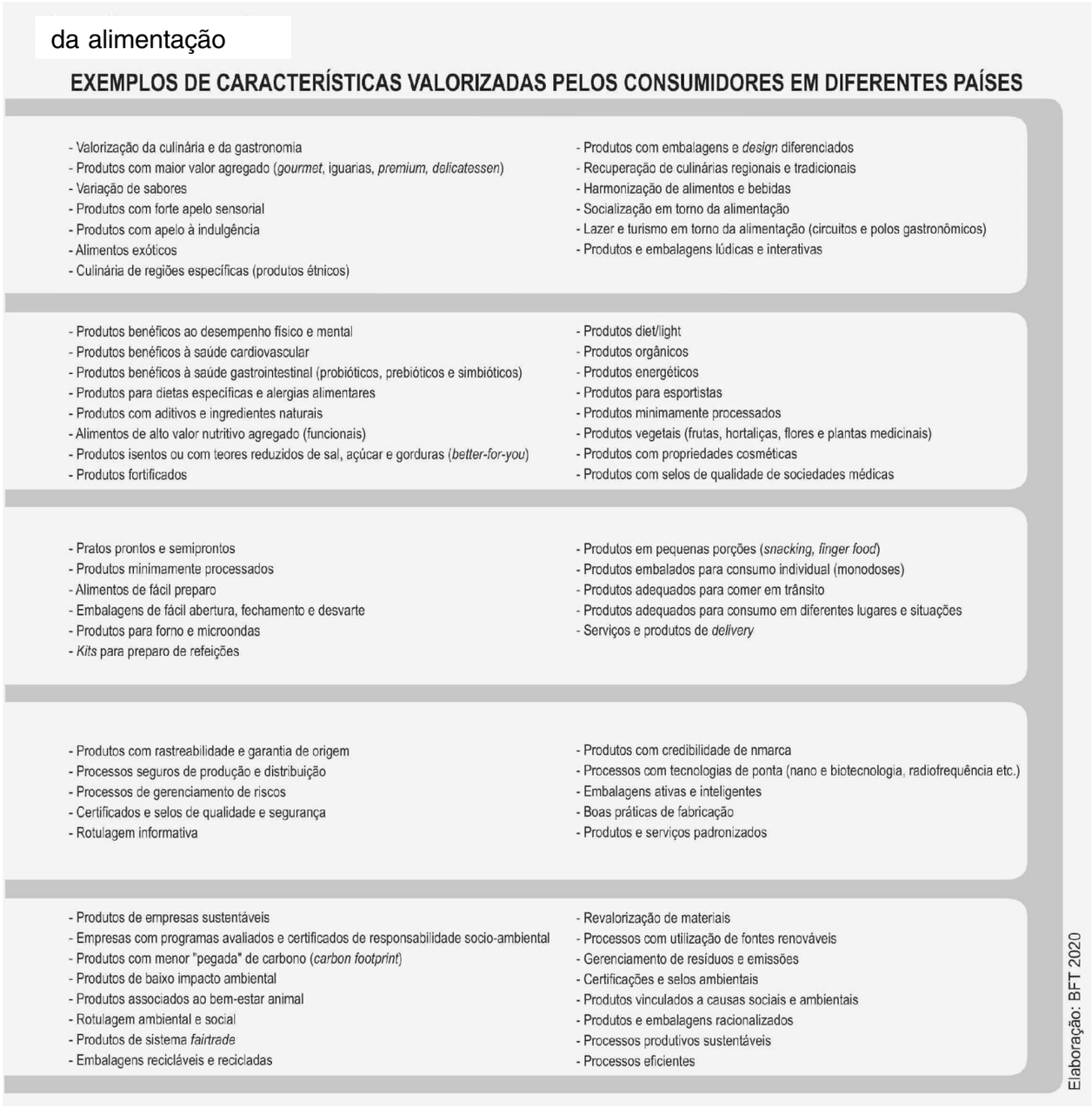
1. Sensorialidade e Prazer
2. Saudabilidade e Bem-Estar
3. Conveniência e Praticidade
4. Confiabilidade e Qualidade
5. Sustentabilidade e Ética

Quadro 1: As tendências da alimentação

As tendências



continua...



Os desafios de inovação são vários: desde adequação de produtos e serviços aos novos hábitos de compra dos indivíduos (REGO, 2010), ao uso de ingredientes orgânicos e inorgânicos visando aumentar a vida útil dos produtos e torná-los mais saudáveis e atraentes sensorialmente (VIALTA, 2010), nas embalagens, podendo determinar onde e quando o alimento será consumido (SARANTÓPOULOS et al., 2010) ou, ainda, como as tecnologias e inovações podem alterar os vários processos utilizados nas diversas fases da indústria de alimentos (RIBEIRO, 2010). Daremos ênfase a esse último quesito.

2. Processos e Tecnologias Inovadoras

Este tópico relaciona os processos alimentícios com as tendências apontadas no BFT 2020, considerando suas características e vantagens, no que diz respeito à manutenção ou melhora dos aspectos sensoriais, ao valor nutricional do produto, à capacidade de destruir microrganismos patogênicos e

deteriorantes, além do baixo consumo energético, da fácil operação e das práticas sustentáveis. As seguintes tecnologias consideradas inovadoras pelo setor foram selecionadas: ultrassom, radiação ultravioleta, radiofrequência, micro-ondas, pulso elétrico, irradiação, aquecimento ôhmico, alta pressão, secagem supercrítica, separação por membranas, automação e controle de processos. Uma descrição abreviada de cada uma delas será apresentada em seguida.

Ultrassom

Ultrassom de alta potência tornou-se uma alternativa para várias etapas do processamento tradicional de alimentos, como, por exemplo, homogeneização, moagem, mistura com alto cisalhamento, pasteurização e separação sólido-líquido. Pode também ser utilizado para aumentar a eficiência de processos tradicionais, como filtração-peneiramento, extração, cristalização e fermentação. Há um interesse crescente no processamento por ultrassom em razão de seus efeitos promissores na preservação de alimentos, tais como rendimentos mais elevados, queda nos custos de operação e manutenção, promoção do sabor, da textura, do aroma, da cor e da redução de microrganismos patogênicos podendo, portanto, melhorar a qualidade e a segurança de produtos com novas funcionalidades.

Radiações Eletromagnéticas

Ultravioleta para eliminação dos agentes deteriorantes dos alimentos em baixas temperaturas. A radiação ultravioleta compreende a faixa de espectro de 100 a 400 nm. A radiação UV é germicida, apresentando maior eficácia entre 250 e 270 nm. O comprimento de onda de 254 nm é utilizado para desinfecção de superfícies e de líquidos, como água, sucos e néctares de frutas. Sucos de frutas submetidos à pasteurização ou esterilização térmica tendem a mudar de cor e perder alguns de seus aromas e vitaminas, enquanto os sucos tratados com UV mantêm o aroma e a cor. A presença de células e fibras em suspensão protege os microrganismos da radiação UV, requerendo doses mais elevadas para a sua destruição no produto. A otimização dos parâmetros para cada líquido tratado é essencial para garantir a máxima redução da carga microbiana, sem afetar o sabor do produto.

Aquecimento infravermelho, micro-ondas e radiofreqüência: efeitos nas características dos alimentos

No aquecimento infravermelho, o calor é gerado na superfície do alimento, principalmente por radiação e convecção e, em menor intensidade, por condução. Esse tipo de processo é mais utilizado para modificar as características sensoriais do alimento, como cor, sabor e aroma, e não com a finalidade de preservá-lo. A condutividade térmica do alimento é um fator limitante no aquecimento infravermelho.

Na radiofreqüência, trabalha-se na faixa d e 300 a 30.000 MHZ e em micro-ondas, de 1 a 300 MHZ. Esses processos são utilizados para a conservação de alimentos. A utilização de micro-ondas apenas e de processos combinados para a secagem de alimento resulta na necessidade de menor tempo de secagem, produtos com maior qualidade e flexibilidade na fabricação. Entretanto, até o momento, as aplicações se restringem à desidratação de frutas e hortaliças em pequena escala, devido ao custo de instalação e manutenção.

Pulso elétrico (PFE): tecnologia compatível com a crescente procura dos consumidores por alimentos mais frescos

A tecnologia de PFE tem recebido considerável atenção por sua capacidade de inativar enzimas e microrganismos. Os pulsos gerados são da ordem de microssegundos, com rápida ciclização (5 a 10 Hz). Campos elétricos de pulsos de curta duração (1-100 microssegundos) e alta intensidade (10-50kV/cm) são aplicados em alimentos por meio de eletrodos. As células microbianas expostas a esses campos têm suas membranas perfuradas, resultando na sua inativação ou morte. Em contraste com os tratamentos térmicos

tradicionais utilizados para a inativação microbiana, métodos nãotérmicos emergentes como PFE preservam mais as características sensoriais, o valor nutricional e as propriedades funcionais dos alimentos.

Irradiação: método efetivo de aumento do tempo de vida útil de alimentos e de garantia de segurança

O processo de irradiação de alimentos utiliza radiações ionizantes na forma de raios gama, raios X e elétrons, cuja energia é absorvida pela água ou outras molécula constituintes dos alimentos. Nesse processo, microrganismos, parasitas, insetos, ovos e larvas são destruídos ou inativados, garantindo a segurança, bem como a vida útil dos alimentos. A irradiação é aplicada há muito tempo em especiarias e temperos para a inativação de microrganismos. No Brasil, a irradiação foi aprovada para uso em alimentos em 1973, sendo revisada e ampliada em 2001. Mesmo aprovada e recomendada, a irradiação permanece subutilizada. A utilização é limitada pelo alto custo das instalações e pela baixa aceitabilidade da tecnologia por parte do consumidor, temerosos, principalmente devido à falta de conhecimento sobre a energia nuclear.

Aquecimento ôhmico: utiliza a resistência elétrica dos alimentos para convertê-la em calor

No aquecimento ôhmico, também denominado Joule ou aquecimento por resistência elétrica, a passagem de uma corrente elétrica através do alimento provoca o seu aquecimento. Esse processo difere dos outros métodos elétricos de aquecimento devido à presença de eletrodos, à frequência aplicada e ao comprimento de onda utilizado. É considerado um processo mais eficiente que o de micro-ondas, porque quase toda a energia que penetra o alimento é transformada em calor. O processo pode ser empregado para tratamentos equivalentes às UHT ou UAT (Ultra Altas temperaturas), principalmente em alimentos contendo partículas grandes e difíceis de ser esterilizadas por outros processos, sendo utilizado na Europa, nos Estados Unidos e no Japão para o processamento asséptico de refeições prontas de alto valor agregado, que depois podem ser armazenadas em temperatura ambiente. O aquecimento ôhmico também gera produtos mais estáveis, uniformes e com menores alterações sensoriais e nutricionais, quando comparado com os métodos tradicionais de tratamento térmico. Suas principais desvantagens são o alto custo de instalação e a falta de conhecimento ou de processos de validação.

Alta pressão: destruição de microrganismos patogênicos e modificação da textura de alimentos

No processo de alta pressão, o alimento é submetido a pressões de 100 a 1000 MPa, com ou sem a aplicação de calor, com o objetivo de gerar produtos mais atraentes para o consumidor, uma vez que, além de destruir os microrganismos, altera as características do produto, principalmente a sua textura.A maior parte dos trabalhos científicos publicados mostra que os efeitos benéficos da alta pressão tornam-se evidentes quando são utilizadas pressões maiores que 400 MPa. As células vegetativas dos microrganismos são inativadas por pressões entre 400 e 600 MPa. É necessário aplicar pressões mais elevadas (maiores que 800 MPa) para garantir a destruição de esporos bacterianos.Contrastando com os tratamentos em altas temperaturas e de irradiação, o tratamento por alta pressão tem baixo consumo energético, não provocando a quebra de ligações covalentes e a formação de novos compostos. Em função disso, não ocorrem perdas nutricionais ou de componentes aromáticos. A estrutura física de produtos com alto teor de umidade permanece inalterada após o tratamento com alta pressão, porque não são geradas forças de cisalhamento pela pressão hidrostática e os fluidos são de natureza isotrópica. Em produtos contendo gás, a cor e a textura podem ser alteradas devido ao deslocamento do gás e infiltração de líquidos. A aplicação de alta pressão aos alimentos pode afetar ligações químicas responsáveis pela estrutura de grandes moléculas, como proteínas, amido e pectina. Nesse processo, é possível modificar a estrutura de proteínas e, consequentemente, sua funcionalidade, solidificar lipídeos, romper biomembranas, inativar enzimas e controlar a gelificação de amido e pectina em soluções concentradas. A tecnologia de alta pressão destaca-se dentre as tecnologias emergentes por apresentar diversas plantas de processamento de alimentos instaladas

e muitos grupos de pesquisa trabalhando com o assunto ao redor do mundo.

Secagem supercrítica para promover a qualidade do produto

Na secagem convencional, as temperaturas usadas variam de 65°C a 85°C, podendo provocar danos estruturais e afetar negativamente a cor, textura, aroma e valor nutricional do produto, influenciando a sua qualidade. Normalmente, o produto desidratado não é de boa qualidade, pois pode resultar em produtos de baixa porosidade e de alta densidade aparente.Embora existam várias alternativas à secagem, como micro-ondas, liofilização e secagem a vácuo, nenhuma é ideal em todos os aspectos. No caso da secagem supercrítica, os produtos apresentam qualidade superior. A principal razão é que as interfaces vapor-líquido podem ser evitadas. Dessa forma não ocorre a tensão induzida nos capilares, observada na secagem convencional, ajudando a manter a estrutura.Além disso, o CO2 apresenta uma temperatura crítica baixa (31,1°C), constituindo-se em outra vantagem sobre a secagem convencional.

Processos de separação por membranas: úteis na concentração e fracionamento de alimentos

Esses processos apresentam menos consumo energético, maior eficiência de separação e resultam em produtos finais de maior qualidade. Dentre os processos de separação por membranas, a ultrafiltração é o que mais se destaca. Ela é a mais utilizada na indústria de alimentos, seguida pela microfiltração e, em menor escala, pela osmose inversa e nanofiltração. A força motriz dos processos de separação por membranas é a pressão hidráulica e eles podem se operados em baixa temperaturas de forma contínua e automatizada. Esses processos permitem uma separação ou concentração seletiva dos componentes de fluidos alimentícios, sem mudança de fase.O potencial de aplicação desses processos compreende desde a clarificação e concentração de sucos, clarificação de vinhos e concentração seletiva de proteínas, como, por exemplo, proteínas do soro, da soja, gelatina e da clara de ovo, refino de óleos, até o tratamento de resíduos.

3. Perspectivas para processos no Brasil em 2020

Em função das tendências alimentares em 2020, Ribeiro (2010) destaca algumas funções estratégicas que os processos deverão desempenhar:

Melhora da qualidade sensorial
Conservação e manutenção do frescor dos alimentos
Preservação do valor nutricional
Maior praticidade dos produtos e flexibilidade para consumo
Redução de resíduos e perdas
Aumento da produtividade e flexibilidade na produção
Melhora da segurança dos alimentos
Sistemas de controle mais eficientes
Sustentabilidade

De forma resumida, reproduzem-se, no Quadro 2, conforme Ribeiro (2010), as relações destacadas no Brasil food trends 2020, entre as tecnologias emergentes e as tendências alimentares (BRASIL FOOD..., 2010).

Quadro 2: Relação entre tendências e tecnologias emergentes

Relação entre tendências

TENDÊNCIAS BTF2020	Sensorialidade e Prazer	Saudabilidade e Bem-estar	Conveniência e Praticidade	Confiabilidade e Qualidade	Sustentabilidade e Ética
Qualidade desejada	Manutenção ou melhoria das características organolépticas.	Manutenção ou aumento do valor nutricional do produto.	Fácil manutenção e operação.	Destruição de microrganismos patogênicos e inativação de enzimas indesejáveis. Aceito pelos consumidores e órgãos legislatórios.	Baixo consumo energético, isento de produção de resíduos e de poder poluente.
Ultrassom	Promoção do sabor, textura, aroma e cor do produto	Preservação do valor nutricional. Redução de ingredientes, tornando as formulações mais simples.	Novos produtos com funcionalidades únicas.	Redução de microrganismos patogênicos em temperaturas mais baixas.	Rendimentos mais elevados. Menor tempo de processo. Baixos custos de operação, energéticos e manutenção.
Radiação ultravioleta	Maior retenção de aroma e sabor do produto.	Produção de alimentos sem conservantes. Preservação de vitaminas.	Permite a elaboração de produtos prontos para o consumo.	Segurança do processo	Redução do consumo energético. Utilização de baixas temperaturas.
Radiofrequência	Necessita de mais estudos.	Necessita de mais estudos.	Permite o rápido aquecimento, ideal para alimentos sólidos.	Destruição de microrganismos.	Redução do tempo de processo e do consumo energético
Microondas	Necessita de mais estudos.	Necessita de mais estudos.	Tratamento de alimentos prontos para o consumo em nível industrial e doméstico.	Mais estudos com relação à cinética de destruição de microrganismos.	Redução do tempo de processo e do consumo energético
Pulso elétrico	Preservação das características sensoriais e das propriedades funcionais.	Retenção de componentes nutricionais e do seu valor funcional.	Tratamento de produtos líquidos.	Destruição de microrganismos sem aquecimento significativo do produto.	Menor consumo energético.

continua...

e tecnologias emergentes

TENDÊNCIAS BTF2020	Sensorialidade e Prazer	Saudabilidade e Bem-estar	Conveniência e Praticidade	Confiabilidade e Qualidade	Sustentabilidade e Ética
Irradiação	Alterações sensoriais insignificantes.	Alterações nutricionais insignificantes.	Tratamento de alimentos prontos para o consumo. Tratamento de frutas e vegetais inteiros com ou sem embalagem.	Destruição efetiva de microrganismos e desinfestação. Segurança.	Baixos custos energéticos e operacionais. Controle automático.
Aquecimento ôhmico	Menores alterações sensoriais.	Redução nas alterações nutricionais.	Processamento asséptico de pratos prontos para o consumo.	Conservação de alimentos.	Menor custo de manutenção e baixo consumo energético.
Alta pressão	Promove a retenção dos componentes aromáticos.	Manutenção do valor nutricional do alimento.	Processo potencial para o desenvolvimento de produtos alimentícios com novas texturas e novos sabores.	Aumento do tempo de vida útil do alimento. Processo seguro.	Baixo consumo energético. Compatibilidade de processo com embalagens flexíveis e semirrigidas.
Secagem supercrítica	Maior qualidade sensorial.	Retenção dos componentes nutricionais.	Preservação estrutural. Reidratação adequada.	Aumento do tempo de vida útil do alimento.	Baixo consumo energético. Menor custo de instalação e manutenção.
Separação por membrana	Manutenção das características sensoriais e das propriedades funcionais.	Retenção dos componentes nutricionais e do seu valor funcional.	Padronização de produtos alimentícios. Geração de novos produtos enriquecidos ou isentos de um determinado componente.	Microfiltração permite a remoção de microrganismos.	Baixo consumo energético e que podem ser operados de forma contínua e automatizada. Tratamento de resíduos.
Automação e controle de processos	Maior eficiência de processos. Aumento da competitividade.				

Elaboração: BFT 2020

4. Algumas aplicações de ciência, inovação e instrumentação avançadas em frutas e hortaliças

Conforme apresentado no item IV, Principais Tendências Tecnológicas, o emprego das tecnologias convergentes, assim como outras tecnologias da fronteira do conhecimento científico, abre caminho para novas aplicações aos alimentos, frutas e hortaliças. A título de exemplo, por estar muito apropriado ao contexto deste capítulo, reproduz-se, no Apêndice 1, o texto “Frutas refeitas” publicado por Carlos Fioravanti (FIORAVANTI, 2011), relatando pesquisas em curso a cabo de pesquisadores da Embrapa Agroindústria Tropical e Universidade Federal do Ceará. Uma das expectativas tecnológicas importantes relatadas em BFT2020 (RIBEIRO, 2010) refere-se à automação e controle de processos como elemento essencial para tornar as indústrias de alimentos mais competitivas e eficientes.

Dentre as tecnologias de automação e controle mais importantes, estão a biotecnologia, a tecnologia de informação e comunicação, a identificação por radiofrequência, a robótica, os sistemas eletrônicos que empregam biossensores, dentre outros. O desenvolvimento de sistemas robóticos complexos para a indústria de alimentos, com base nas informações fornecidas pelos sensores, é a principal mudança tecnológica. Eles são parte dos sistemas de controle de produção contribuindo para torná-los mais eficientes. Há sensores de alta resolução que fornecem informações da estrutura do alimento *on line* e sensores que permitem o controle de variáveis de processo *in loco* e sob diferentes condições (pH no processo de alta pressão ou temperatura no de pulsos elétricos). Acredita-se que os métodos de inteligência artificial poderão ser utilizados para a aquisição de dados e aplicação de sensores em rede para monitorar flutuações de qualidade e segurança na cadeia de suprimentos.

As frutas e hortaliças são bastante afetadas por perdas durante a colheita e pós-colheita, levando os produtores, distribuidores e comerciantes a grandes prejuízos e comprometendo a qualidade de seus produtos, do ponto de vista dos consumidores finais. Vários parâmetros de qualidade precisam ser atingidos, do campo à prateleira do supermercado, envolvendo não somente a produção em si, mas também o acondicionamento, o transporte, a conservação. A firmeza, o turgor, o ponto ótimo de colheita de frutas e hortaliças são exemplos. A técnica de aplanação, utilizando equipamentos simples, práticos e confiáveis, permite medidas não destrutivas de firmeza (CALBO; NERY, 1995; CALBO et al., 1995). Também muito criativa é a adaptação do método da aplanação para o desenvolvimento de um instrumento portátil, testado em hortaliças, para estimar a pressão de turgor em folhas (CALBO et al., 2010). Uma descrição bastante acessível da fisiologia e equipamentos de medição utilizados na avaliação de danos mecânicos em frutas e hortaliças pode ser encontrada em Calbo (2008). Na linha de automação e controle, o uso de equipamentos, máquinas e aplicações de metodologias que possam simplificar, otimizar, controlar e melhorar a eficiência do sistema de colheita e beneficiamento, há muitos progressos, conforme pode ser conferido em Ferreira (2008), Ferreira e Silva (2010), Ferreira (2007) e Oliveira et al. (2006). No tocante à padronização de frutas e hortaliças, Ferreira (2007) apresenta os desafios e perspectivas das máquinas de classificação no Brasil. Diferenças entre mercados internos e externos acabam estabelecendo condicionantes tecnológicos e comerciais para a melhoria da conservação do produto após a colheita, conforme pode ser visto em Ferreira e Silva (2010).

Na fronteira tecnológica, encontram-se, em pleno desenvolvimento, sensores de baixo custo que têm como uma de suas aplicações a medida do grau de amadurecimento de frutas e seu monitoramento. Testado em bananas, destaca-se um sistema artificial, chamado nariz eletrônico, que consiste de mecanismos de detecção química e de reconhecimento de padrões. Um conjunto de sensores eletrônicos permite reconhecer a emissão, pelos frutos, de compostos químicos específicos, como compostos orgânicos voláteis, através de testes rápidos. Tais sensores podem ser fabricados utilizando-se polímeros condutores e a deposição sobre eles de finas camadas de materiais sensíveis a gases (MANZOLI et al., 2011; STEFFENS et al., 2009; STEFFENS et al., 2010).

Outro trabalho recente empregou fragmentos de bananas e a técnica de espectroscopia por ressonância magnética nuclear para verificar as mudanças do estado da água no interior do fruto, em função de seu amadurecimento (RIBEIRO et al., 2010). Na direção de se produzir filmes comestíveis que incorporem nanopartículas (Figura 14), oriundas de proteínas, polisacarídeos e lipídios e, ainda, que sejam biodegradáveis, constitui uma importante área de pesquisa e inovação que deverá impactar, nos próximos anos, a indústria de alimentos, e possivelmente, processos envolvidos na colheita e pós-colheita de frutas e hortaliças. Melhorar a qualidade dos alimentos e aumentar seus tempos de prateleira é um desses grandes objetivos. Moura et al. (2008) mostraram melhorias nas propriedades mecânicas e também na diminuição da porosidade de filmes impregnados com nanopartículas de quitosana, uma proteína natural extraída de crustáceos. A construção de filmes comestíveis à base de purês de frutas, legumes e concentrados tem sido estudada com vistas a melhorar as propriedades de tais filmes para o recobrimento e proteção de alimentos. Azeredo et al. (2009) mostram que isso é possível utilizando-se filmes comestíveis baseados em

nanocompósitos que contêm purê de manga reforçados por nanofibras de celulose. A técnica de espectroscopia de alta resolução baseada na ressonância magnética nuclear do hidrogênio foi utilizada para investigar a oxidação do óleo presente em castanhas de macadâmia submetidas a diferentes tratamentos de superfície (COLZATO et al., 2010). A superfície de castanhas descascadas de macadâmia receberam diversos tratamentos à base de zeínas, proteínas extraídas do milho, de modo a criar finas camadas (filmes) em suas superfícies. Com isso foi possível constatar a eficiência das coberturas de zeínas quanto à capacidade de bloquear a oxidação do óleo de macadâmia. Tais coberturas mostraram-se invisíveis a olho nu, não mudaram a textura das castanhas recobertas, além de serem comestíveis e hidrofóbicas, funcionando como barreiras à entrada de oxigênio e vapor de água. Porém, o estudo mostra que há limites críticos nas formulações. Formulações das coberturas de zeína acima de certos valores resultaram em maiores taxas de oxidação comparativamente às amostras que não receberam tratamento de cobertura.

Figura 14: Nanotecnologia pode prorrogar o tempo de conservação de frutos. Pesquisa, em andamento, no Laboratório Nacional de Nanotecnologia aplicada ao Agronegócio - Embrapa Instrumentação - São Carlos - SP
Foto: Valentim Monzane

Agradecimentos

À aluna de Biologia (UFSCAR), Fernanda da Cunha Puti, por revisar os gráficos e ao colega Marcos David Ferreira pela colaboração na revisão do texto e gráficos. Ao Valentim Monzane e equipe pela elaboração de gráficos e fotos. À Valéria de Fátima Cardoso pela normalização do conteúdo. Ao Ladislau Martin Neto, pesquisador e coordenador do Labex-EUA e ao Amauri Rosenthal e Rosires Deliza, pesquisadores do Labex-Europa. À FAPESP pela autorização em reproduzir a matéria “Frutas refeitas” – Apêndice 1.

Referências

BARBOSA, L.; MADI, L.; TOLEDO, M. A.; REGO, R. A. As tendências da alimentação. In: BRASIL food trends 2020. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010. p. 39-47.

BRASIL food trends 2020. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010. 173 p.

BRASIL projeções do agronegócio: 2010/2011 a 2020/2021. Brasília, DF: MAPA, AGE, 2011. 59 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20-%202_0.pdf>. Acesso em: Jun. 2011.

CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE RASTREABILIDADE DE ALIMENTOS, 1.; SEMINÁRIO FRANCO-BRASILEIRO, SEGURANÇA SANITÁRIA ANIMAL, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento: Ministério da Ciência e Tecnologia, Fundo Setorial do Agronegócio: Ministère de L'Agriculture, de L'Alimentation, de la Peche et des Affaires Rurales, 2004. 266 p.

CRESTANA, S.; FRAGALLE, E. P. O que há de novo? **Agroanalysis,** São Paulo, v. 31, n. 6, p. 15, 2011.

CRESTANA, S.; FRAGALLE, E. P. A trilha da quinta potência. **Revista Eixo,** 2011. no prelo.

CRESTANA, S.; SOUSA, I. S. F. de. Agricultura tropical no Brasil. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical:** quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 41-65.

DESMARCHELIER, C. Neotropics and natural ingredients for pharmaceuticals: why isn't South American biodiversity on the crest of the wave? **Phytotherapy Research,** London, v. 24, n. 6, p. 791-799, 2010.

FERREIRA, M. D. Beneficiamento de frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. (Ed.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 47-59.

FERREIRA, M. D.; SILVA, M. C. Pós-colheita a duas velocidades. **Frutas, Legumes e Flores,** Odivelas, v. 114, p. 76-78, 2010.

FERREIRA, M. D. Desafios e perspectivas das máquinas de classificação no Brasil. **Visão Agrícola,** Piracicaba, v. 4, n. 7, p. 28-31, 2007.

FERREIRA, M. D.; MAGALHÃES, P. S. G. Colheita. In: FERREIRA, M. D. (Ed.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 13-22.

FIORAVANTI, C. Frutas refeitas: novas formulações atendem aos mais refinados paladares. **Pesquisa Fapesp,** São Paulo, n. 184, p. 70-74, 2011.

HOFFMANN, R. Elasticidades-Renda das Despesas e do Consumo de Alimentos no Brasil em 2002-2003. In: SILVEIRA, F. G.; SERVO, L. M. S.; MENEZES, F.; PIOLA, S. F. (Org.). **Gasto e Consumo das Famílias Brasileiras Contemporâneas.** BRASÍLIA, DF: IPEA, 2007. v. 2. p. 463-484. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/livros/gastoeconsumov2/24_Cap16.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2011.

HOW to feed the world. **The Economist,** London, v. 396, n. 8697, 2010. p. 10-11. Brazil´s agricultural

miracle.

LEONE, J. M. S. Como se preparar para a alimentação do brasileiro em 2020? **Fundepag & Negócios,** São Paulo, v. 4, n. 17, p. 9-13, 2011.

LIKE blueberries? Thank USDA. **Agricultural Research,** Washington, v. 59, n. 5, p. 2, 4-16, 2011.

MAHALIK, N. P.; NAMBIAR, A. N. **Trends in Food Processing and Packaging Manufacturing Systems. Trends in Food Science & Technology,** Cambridge,v. 21, n. 3, p. 117-128, 2010.

MALAVOLTA, E. Ao mestre, com carinho. **Agroanalysis,** Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. E13-E14, 2007.

MARTINS, M. V. de M.; MEDEIROS, S. A. F. **Produção Integrada de Hortaliças:** Garantia de Alimento Seguro no Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.folharural.net/blog/2011/07/05/producao-integrada-de-hortalicas-garantia-de-alimento-seguro-no-brasil/>. Acesso em: data de acesso ex. 18 jul. 2011.

OECD; FAO. **Agricultural Outlook 2011-2020.** 2011. Disponível em: <http://www.agri-outlook.org/pages/0,2987,en_36774715_36775671_1_1_1_1_1,00.html>. Acesso em: 18 jul. 2011.

OLIVEIRA, S. M. A. de; TERAO, D.; DANTAS, S. A. F.; TAVARES, S. C. C. de H. (Ed.). **Patologia pós-colheita:** frutas, olerícolas e ornamentais tropicais. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 855 p.

PALZER, S. Food structures for nutrition, health and wellness. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v. 20, n. 5, p. 194-200, 2009.

PEREIRA, R. N.; VICENTE, A. A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Research International,** Barking, v. 43, n. 7, p. 1936-1943, 2010.

RAWSON, A.; PATRAS, A.; TIWARI, B. K.; NOCI, F.; KOUTCHMA, T.; BRUNTON, N. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. **Food Research International,** Barking, v. 44, p. 1875-1887, 2011).

REDE de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio – RIPA. Brasília, DF: MCT, 2010. Propositor, Fundo Setorial de Agronegócio (CT-Agro).

REGO, R. A. Produtos: oportunidades para inovação. In: BRASIL food trends 2020. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010. p. 69-97.

RIBEIRO, E. P. Processos: tecnologias inovadoras. In: BRASIL food trends 2020. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010. p. 129-143.

RIBEIRO, F. Z.; MARCONCINI, L. V.; TOLEDO, I. B. de; AZEREDO, R. B. de V.; BARBOSA, L. L.; COLNAGO, L. A. Nuclear magnetic resonance water relaxation time changes in bananas during ripening: a new mechanism. **Journal of the science of food and agriculture,** London, v. 90, p. 2052-2057, 2010.

ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature,** london, n. 461, p. 472-475, 24 Sept.

2009.

ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S. (Ed.). **Converging technologies for improving human performance:** nanotechnology, biotechnology and cognitive science. Dordrecht: Kluwer, 2003. 482 p.

ROJAS-GRAÜA, M. A.; SOLIVA-FORTUNYA, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v. 20, n. 10, p. 438-447, 2009.

ROSENFELD, A. **2010 Gap Analysis:** The Fruit and Vegetable Consumption Challenge: How Federal Spending Falls Short of Addressing Public Health Needs. Hockessin: PBHF, 2010.

ROSENTHAL, A.; UCHÔA JÚNIOR, P. P. de M.; CRUVINEL, P. E. (Ed.). **Estruturação de plataforma em C,T&I:** segurança, qualidade e tecnologia de alimentos para o consumidor. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos: Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio, 2008. 100 p.

RUFINO, S. M.; FERNANDES, F. A. N.; ALVESC, R. E.; BRITO, E. S. de. Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPHradical dot system. **Food Chemistry,** London, v. 114, n. 2, p. 693-695, 2009.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; GATTI, J. B.; DANTAS, T. B. H. Embalagens: importância estratégica. In: BRASIL food trends 2020. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010. p. 111-127.

SASSON, A. **Health care, food and nutrition:** opportunities and challenges for the life sciences and biotechnology. Rabat; Penang: Hassan II Academy of Science and Technology; CGSS, 2011. 621 p.

SLOAN, A. E. Top 10 food trends. **Food Technology,** Chicago, v. 65, n. 4, 2011. Disponível em: <http://www.ift.org/food-technology/past-issues/2011/april/features/food-trends.aspx?page=viewall>. Acesso em: 18 jul. 2011.

THE MIRACLE of the cerrado. **The Economist,** London, v. 396, n. 8697, 2010. p. 50-52. Briefing Brazilian agriculture.

USDA. **USDA Agricultural Projections to 2020.** Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2011. 100 p. (Long-term Projections Report OCE-2011-1). Disponível em: <http://www.usda.gov/oce/commodity/archive_projections/USDAAgriculturalProjections2020.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2011.

VIALTA, A. Ingredientes: novas funcionalidades. In: BRASIL food trends 2020. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010. p. 99.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (Geneva). Global Status report: on noncommunicable diseases 2010. Geneva: WHO, c2011. 162 p. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789240686458_eng.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2011.

ZAMBOLIM, L.; NASSER, L. C. B.; ANDRIGUETO, J. R.; TEIXEIRA, J. M. A.; KOSOSKI, A. R.; FACHINELLO, J. C. (Org.). **Produção integrada no Brasil:** agropecuária sustentável alimentos seguros.

Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 1008 p. il. Acompanha 1 CD-ROM.

Apêndice 1 - Frutas Refeitas
Novas formulações atendem aos mais refinados paladares
Por Carlos Fioravanti

Aceita um abacaxi light, com 40% menos calorias que o abacaxi normal? Um pedaço de manga, já descascada e ainda com cheiro de manga, protegida por uma película comestível feita de polpa de manga? Talvez um chip ainda mais amarelo que os de batata, feito de polpa de laranja ou de mamão? Para beber, prefere um suco de caju probiótico – similar a um iogurte probiótico, mas à base de fruta – ou uma bebida fermentada de caju, cuja cor lembra o vinho branco de uva e o sabor de uma sidra? Muitas novidades à base de frutas brasileiras estão amadurecendo nos laboratórios da Embrapa Agroindústria Tropical e da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza. É o resultado do trabalho de equipes que atuam em várias frentes ao mesmo tempo, da microbiologia aos testes com consumidores.

Para mostrar um dos novos produtos em fase final de desenvolvimento na Embrapa, o químico Edy Sousa de Brito coloca sobre a mesa duas jarras de suco de bacuri, fruta do Nordeste de casca amarela e polpa branca. "Experimente", diz Edy, alagoano que vive há 10 anos em Fortaleza, colocando em um copo um pouco de um dos sucos. É saboroso, mas bastante espesso – deve ficar ótimo em sorvetes ou cremes. "Agora este", e oferece a outra versão: igualmente saborosa, mas fluida, líquida, bem mais atraente que a primeira. "Um tratamento enzimático", ele explica, "é que dá essa fluidez e mantém o sabor maravilhoso do bacuri".

O químico industrial Gustavo Adolfo Saavedra Pinto, também da Embrapa, trabalhou durante seis anos até encontrar a combinação mais adequada de enzimas que removessem apenas a viscosidade do suco de bacuri. Não bastou que apenas ele e sua equipe achassem ótimo o que tinham feito. Por duas vezes, em testes sensoriais realizados em uma sala ampla da própria Embrapa, dotada de seis cabines individuais, 100 consumidores que nunca tinham experimentado suco de bacuri desaprovaram as formulações iniciais – e Pinto teve de rever a escolha de enzimas. Os provadores aprovaram só no terceiro teste, com outra combinação de enzimas como as pectinases, que quebram as pectinas, carboidratos que deixam os líquidos espessos.

Não foi o bastante. Em dezembro de 2010, Gustavo e duas pesquisadoras de seu grupo, Andreia Aquino e Janice Lima, foram a Belém, no Pará, para testar a formulação que esperavam que fosse a final com outros 100 provadores, dessa vez consumidores habituais de suco de bacuri. "Deram notas mais baixas que os provadores de Fortaleza, mas aprovaram", conta a engenheira de alimentos Deborah dos Santos Garruti, que cuida das análises sensoriais – de cor, aroma, sabor ou textura dos novos sucos ou frutas – com um mínimo de 50 provadores por vez.

Em outro laboratório, Henriette Azeredo e Delane Rodrigues preparam filmes de polpa de frutas – o de acerola forma discos vermelhos sobre uma lâmina transparente, de polpa de acerola e alginato, um extrato de algas usado como espessante. Mangas em pedaços – ou minimamente processadas – feitas por Ebenezer de Oliveira Silva ganharam uma cobertura de um filme de purê de manga e alginato – e os provadores gostaram do conjunto. "O filme substitui a casca, protege e mantém o aroma da manga", diz Henriette. "Algumas frutas, como a manga, dão filmes ótimos, mas outras, como a acerola, precisam de mais pectina para fazer um filme mais resistente." Por meio de uma nova máquina que deve começar a funcionar em breve em um laboratório mais espaçoso, ela pretende fazer fitas de frutas, com um a dois milímetros de espessura, que possam servir de lanches. É o caminho para, conforme seus planos, produzir barrinhas de frutas – se derem certo, as de abacaxi, por exemplo, dispensarão os consumidores de descascar,

livrar-se das cascas e deixar a pia em ordem antes de se pôr a comer.

William Sallum, presidente da Associação Brasileira dos Produtores e Envasadores de Néctares e Sucos (Abrasuco), ao conhecer as inovações em curso em Fortaleza, considerou-as "bastante específicas e progressistas". São também bem-vindas, em vista da concorrência entre as empresas: "Maneiras diferentes de agregar valor são muito importantes para os fabricantes de sucos". Desde já, essas pesquisas, ligadas ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Frutos Tropicais, com sede na Universidade Federal de Sergipe, estão revalorizando as frutas, que fascinam Edy pela quantidade generosa de vitaminas e outros nutrientes importantes e por serem fontes de prazer para todos os sentidos – são bonitas, coloridas, cheirosas, saborosas e agradáveis ao toque.

O fascínio não é de hoje. O explorador português Pero de Magalhães Gandavo sentiu-se desarvorado diante dos gostos das frutas que conheceu enquanto viveu no Brasil. Em seu Tratado da terra do Brasil, publicado em 1576, sem poder fotografar, ele teve de descrever coisas tão estranhas quanto uma banana, que "parecem-se na feição com pepinos, (...) nascem numas árvores mui tenras e não são muito altas, (...) é uma fruta mui saborosa e das boas que há nesta terra, tem uma pele como de figo, a qual lhes lançam fora quando as querem comer" e, algo que pode ter escapado aos nossos olhos de nativos, "têm dentro de si uma coisa estranha, a qual é que quando as cortam pelo meio com uma faca ou por qualquer parte que seja, acha-se nelas um sinal à maneira de Crucifixo" (os resquícios das sementes da banana lembram remotamente uma cruz). Séculos depois, em 1968, a rainha Elizabeth II visitou o Brasil e quase perdeu a pose ao deliciar-se com um sorvete de bacuri.

Diante de tantos sabores possíveis, Edy acha desnecessário estimular o consumo de frutas com base apenas no valor nutricional. Mas foi a abundância de substâncias antioxidantes que mudou o destino do açaí, que parecia condenado a jamais vencer as fronteiras amazônicas. "Há 30 anos ninguém apostava no açaí como fruta que pudesse conquistar novos mercados", diz o engenheiro agrônomo José Edmar Urano de Carvalho, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, de Belém. "Muitos consumidores não estão preocupados com o sabor, mas em como a fruta pode contribuir para a melhoria da saúde Embaladas pela busca de saúde ou novos sabores ou tentando atender aos hábitos modernos, como a falta de tempo e paciência para descascar uma laranja, essas inovações alimentam um mercado consumidor em expansão. Em 2006, a Coca-Cola comprou a fabricante de sucos Del Valle pelo equivalente a US$ 470 milhões, indicando seu interesse em obter rapidamente uma posição forte no mercado nacional de sucos prontos, que movimenta cerca de R$ 250 milhões por ano. Muita fruta ainda pode virar suco. Todo ano, no mundo, os plantadores colhem quase 800 milhões de toneladas de frutas, principalmente bananas (103 milhões de toneladas), melancia (93 milhões) e uva (65 milhões). Depois da China e da Índia, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, colhendo anualmente cerca de 40 milhões de toneladas, das quais 850 mil seguem para outros países, principalmente da Europa, gerando uma receita anual de cerca de US$ 800 milhões para o país. Ainda há uma alta concentração, tanto geográfica – já que o estado de São Paulo responde por 45% da produção nacional de frutas, principalmente laranja para exportação na forma de suco – quanto de itens: poucas frutas são produzidas comercialmente em larga escala. Laranja (18 milhões de toneladas), banana (6,5 milhões), maçã, mamão, coco-da-baía, manga, melão, uva, caju, cacau, abacaxi, limão e maracujá respondem por três quartos da receita gerada no setor (http://revistapesquisa.fapesp.br/?ed=949&lg=).

Os negócios e o prazer dos consumidores devem crescer à medida que as frutas mais conhecidas ganhem novos usos e as menos conhecidas conquistem mais espaço. Em uma ensolarada tarde de um domingo de março, pelo menos 30 pessoas se alinhavam diante de uma sorveteria de um shopping que reavivou parte do antigo porto de Belém, em frente a uma baía com vista para o rio Guamá. O que as movia – ou o que as mantinha na fila – era o desejo de tomar sorvete de frutas regionais de sabores únicos como o uxi. "O uxi já foi visto como fruta de pobre, mas rico sempre comeu, geralmente escondido porque tinha medo de perder a elegância: tem de comer roendo a polpa aderida ao caroço", conta Carvalho. Ele aposta no consumo crescente de uxi, que, além do sabor marcante, é rico em fitoesteróis, compostos que,

acredita-se, ajudam a baixar o colesterol. Segundo ele, os pesquisadores da Embrapa demonstraram que o uxizeiro não demora 30 anos para frutiticar, como se dizia, mas apenas sete, quando propagado por semente, ou menos ainda, quatro, quando por enxertia.

Outra fruta em que Carvalho aposta é o murici, que "cheira a queijo do Alentejo", como o português Gabriel Soares de Sousa anotou no Tratado descritivo do Brasil, de 1587. Segundo Carvalho, o gosto do murici *lembra o de uma sopa. Mas aí pode estar um mérito, não um defeito. "Esse aroma salgado tem despertado o interesse de grandes chefs, que estão usando o murici em molhos, recheios de carnes e sopas", diz Carvalho. Os chefs estão mesmo olhando para essas coisas exóticas. O escocês Tom Kitchin esteve em São Paulo em maio e não deixou de ir ao Mercado Central. A um repórter do jornal O Estado de S. Paulo, ele reconheceu: "Nunca provei frutas tão doces e suculentas como as daqui".*

Em meio aos mais diferentes climas e solo, 827 tipos diferentes de frutas nativas ou exóticas crescem no Brasil. Tipicamente brasileiras devem ser cerca de 350. Só na Região Norte crescem mais de 100 espécies, muitas pouco conhecidas da maioria dos brasileiros, como bacabi, biribá, cutite, mangaba e sapota--do-solimões, que o jornalista e repórter fotográfico Silvestre Silva apresenta no livro recém-lançado Frutas da Amazônia brasileira (Editora Metalivros, 280 páginas, R$ 180). Como os franceses, que dizem que poderiam comer um tipo diferente de queijo por dia, quem vive no Brasil pode saborear uma fruta nova por dia, "sem contar as variedades de cada espécie", observa Edy. Segundo ele, os especialistas da Embrapa estão avaliando em campo 39 variedades só de acerola, "algumas quase pretas de tanta antocianina", o pigmento que faz a cor da casca de frutas variar do vermelho-claro ao roxo.

Vários problemas impedem que novos sabores cheguem a mais brasileiros. "As árvores do bacuri e do piquiá, entre outras que produzem frutos comestíveis, são de uso múltiplo, estão sendo derrubadas há cinco séculos e escassearam muito", diz Carvalho. "Repor os estoques anteriores é um processo lento." As frutas regionais, ele ressalta, precisam ser melhoradas geneticamente para terem mais polpa e serem cultivadas como o cupuaçu, que há 10 anos crescia apenas na floresta. Hoje muitas ainda dependem do extrativismo – e, por essa razão, são caras, comparadas com frutas já tratadas agronomicamente. "A safra do bacuri, com 10 a 12% de polpa, coincide com a da maçã, que tem 95% de parte comestível e um preço menor."

Se os novos sucos ou frutas em pedaços passam pelas provas iniciais, os pesquisadores da Embrapa se põem a trabalhar na ampliação da escala de produção, em conjunto com os especialistas do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará. Em um dos laboratórios de química, a partir de um problema trazido pela equipe de Sueli Rodrigues, do Departamento de Engenharia de Alimentos – as fibras do suco de melão entupiam as pipetas –, o engenheiro químico paulista Fabiano Fernandes verificou que um equipamento de ultrassom de alta potência e baixa frequência poderia melhorar a qualidade de sucos e das próprias frutas.

A vibração causada pela ponteira do ultrassom mergulhada numa solução com a fruta em pedaços origina uma turbulência que rompe as fibras, quebra as células e cria microcanais por onde saem água e pequenas moléculas solúveis como os açúcares. O resultado é um suco com 40% menos açúcar e mais homogêneo do que o feito com a mesma fruta que não passou por esse tratamento. Sueli deixa sobre a bancada do laboratório um vidro com suco de melão que passou pelo ultrassom e outro que não passou: o primeiro mantém a uniformidade, enquanto o outro decanta em poucos minutos. Usando outro tipo de aparelho de ultrassom, as duas equipes conseguiram também reduzir em até 25% o tempo de secagem de abacaxi e de melão amarelo em pedaços. Podem vir daí as frutas diet, que mantêm a doçura porque depois são adoçadas com stevia, adoçante natural não calórico. "Dois minutos em um banho de stevia bastam para compensar a perda de açúcar", diz a pesquisadora.

A equipe de Sueli fez também, por tratamento enzimático, sucos de abacaxi, melão, jambo, sapoti e seriguela pré-bióticos, com açúcares sem poder calórico chamados oligossacarídeos. Esses açúcares nutrem as bactérias que vivem no intestino e, por sua vez, produzem ácidos graxos, vitaminas e nutrientes benéficos para o organismo humano. Outro tipo de suco, os pró-bióticos, contém as próprias bactérias – os

lactobacilos, como em leites fermentados. "É uma alternativa para quem não quer ou não pode consumir leite", argumenta Fernandes. A única diferença no gosto talvez seja um pequeno – e agradável – acréscimo de acidez em alguns deles. "Com a fermentação", diz Thatyane Vidal Fonteles, uma das pesquisadores do grupo, "o pH do suco de melão cai de 6 para 4, realçando o sabor e dificultando o crescimento de bactérias que poderiam alterar o sabor do suco".

Outras duas pesquisadoras, Niedla Nascimento Alves e Francisca Diva de Almeida, desenvolvem o suco em pó de abacaxi, laranja, caju e melão – com lactobacilos que permanecem vivos mesmo depois de o suco líquido passar por um processo de desidratação a 130 graus Celsius, similar ao usado para fazer leite em pó. "Os microrganismos que sobrevivem à secagem agora precisam sobreviver ao armazenamento e depois à reidratação", diz Niedla. "Nossa intenção é fazer um suco instantâneo, mas ele ainda não se dissolve bem."

Susana Saad, professora da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (USP), esteve em fevereiro em Fortaleza, considerou os trabalhos na Embrapa e na UFC "extremamente interessantes" e ficou impressionada com a integração entre pesquisa básica e aplicada. "São vários profissionais conversando, cada um com seu enfoque", comenta Susana, que está vendo como colaborar com os grupos de Fortaleza. Ela é uma das três organizadoras do livro Probióticos e prebióticos em alimentos – Fundamentos e aplicações tecnológicas (Livraria Varela, 672 páginas, R$ 143), que mostra como tornar sorvetes, leites e queijos mais nutritivos. Cada vez mais atraentes por causa dos benefícios à saúde, os alimentos pré e pró-bióticos devem movimentar negócios anuais da ordem de US$ 160 bilhões no mundo todo.

"Estamos produzindo, organizando e compartilhando conhecimento", diz Edy. Ainda este ano, ele e sua equipe pretendem liberar uma base de dados, para acesso via internet, sobre compostos voláteis que formam o aroma e o sabor das frutas. Inicialmente estarão nessa base cerca de 200 compostos de cinco frutas: caju, abacaxi, acerola, manga e maracujá. "A identidade e a aceitação das frutas dependem muito do aroma, já que o paladar percebe apenas os gostos básicos como salgado, doce, ácido e amargo", diz Deborah. O cheiro do maracujá resulta da soma de cerca de 120 compostos, o caju libera cerca de 80. Na banana, aparentemente inodora, encontraram mais de 30.

Apêndice 2 - Tecnologias convergentes: O que é e para que serve?

Observar, compreender, manipular e controlar a matéria e a vida na escala do átomo, da molécula, do gene, do bit e do neurônio. Fazer tudo isso em combinações múltiplas ou simultaneamente, visando atingir um dado fim. Daí a ideia da convergência tecnológica. Compreende a combinação e possíveis sinergias envolvendo Tecnologia da Informação, Biotecnologia, Nanotecnologia e Ciências Cognitivas. Nesse sentido, convergir, significa escolher um alvo e tentar atingi-lo via uso de tais tecnologias e ciências. Por exemplo, usar o conhecimento e a tecnologia para produzir sem degradar. Para tornar a agricultura cada vez mais sustentável. Para viabilizar uma nova revolução agrícola, sucedânea da revolução verde, mas que seja muito mais "verde" e socialmente, muito mais inclusiva, o que estamos chamando de revolução "agro-socio-ambiental". Ou para se obter uma planta ou animal mais resistente ao stress hídrico ou que utilize de modo mais eficiente os insumos agrícolas. São todas vertentes que se baseiam em Ciência e Inovação (C&I). Mais que isso, não serão plausíveis sem o concurso da C&I. Mas, o que ela, realmente, nos reserva, de novo, capaz de mudar os atuais paradigmas? As Tecnologias Convergentes(TC). Em seguida, é fornecida uma visão simplificada do significado de cada componente das TCs conforme pode ser encontrado em www.wikipedia.org.

Nanotecnologia

A nanociência e a nanotecnologia é uma dessas ciências e tecnologias. É a Ciência e a Tecnologia

que lidam com o mundo na dimensão atômica e molecular. É como se pudéssemos modelar o futuro átomo por átomo. Dimensões nanométricas compreendem grosseiramente 1-100nm, a escala do bilionésimo de metro (ou nanômetro - nm). Ou seja, do tamanho de um átomo até o de um vírus. Para se ter uma ideia de comparação, um fio de cabelo humano tem cerca de 30 mil nm. Nessa escala a matéria apresenta propriedades físicas únicas que fazem com que novas aplicações sejam possíveis. Quando se comparam propriedades macroscópicas com nanoscópicas da matéria muitas vezes podem diferir diametralmente a ponto do comportamento ser oposto - por exemplo, o que repele passa a atrair. Por definição, todas as argilas do solo, muitas substâncias químicas derivadas da matéria orgânica do solo e vários microorganismos do solo caem nessa categoria. Produtos que empregam matérias-primas nanoscópicas já estão surgindo no Brasil. Um dosímetro pessoal para a radiação ultravioleta solar, fabricado pela empresa Ponto Quântico, em Recife (PE) e a "língua eletrônica", desenvolvida pela Embrapa é capaz de detectar sabores (doce, salgado, amargo e azedo).

A integração da tecnologia será baseada na unidade da natureza na nanoescala e em um sistema de informação cruzando disciplinas e campos de relevância. A nanoescala é onde se formam as moléculas complexas, onde são estruturadas a construção de blocos de células vivas e onde os menores componentes das memórias de computadores são engeinherados.

Ciências Cognitivas

Compreende o estudo científico interdisciplinar de como a informação relacionada às faculdades como percepção, linguagem, razão e emoção é representada e transformada em um sistema nervoso (humano ou outro animal) ou máquina (p. ex., computador). Consiste de múltiplas disciplinas de pesquisa, incluindo psicologia, inteligência artificial, filosofia, neurociência, ciências do aprendizado, linguística, antropologia, sociologia e educação.

Tecnologia da Informação (TI)

É a aquisição, processamento, armazenamento e disseminação de voz, gravura, texto e informação numérica por uma combinação de computação e telecomunicação baseada em microeletrônica. Compreende a área de gestão tecnológica e engloba uma variedade de áreas que inclui, mas não está limitada a assuntos como processos, software de computador, sistemas de informação, hardware de computador, linguagens de programação e construção de dados. Em síntese, qualquer coisa que produz dados, informação ou conhecimento percebido em qualquer formato visual, via qualquer mecanismo de distribuição multimídia, é considerado parte do espaço de domínio da TI. TI está começando a se espalhar para além do computador pessoal convencional e da tecnologia de redes através de integrações de outras tecnologias tais como as do uso de telefones celulares, televisões e automóveis, dentre outros. Em 2009, o total de serviços mundiais, em TI, contabilizou o valor de US$763 bilhões.

Biotecnologia

É o campo da biologia aplicada que envolve o uso de organismos vivos e bioprocessos em engenharia, tecnologia, medicina e outros campos que requerem bioprodutos. Biotecnologia também utiliza esses produtos para o propósito de manufatura. O uso moderno de termos similares inclui engenharia genética assim como tecnologias de cultura de tecidos e células. A Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica define biotecnologia como: "toda aplicação tecnológica que usa sistemas biológicos, organismos vivos, ou derivados para fazer ou modificar produtos ou processos para uso específico". Em outros termos "aplicação de avanços científicos e técnicos às Ciências da Vida para desenvolver produtos comerciais" é biotecnologia. Biotecnologia inspira-se nas ciências biológicas (genética, microbiologia, cultura de células animais, biologia molecular, bioquímica, embriologia, biologia celular) e, em muitos sentidos é também dependente de conhecimento e métodos advindos de fora da esfera biológica (engenharia química, engenharia de bioprocessos, tecnologia da informação, biorrobótica). Por outro lado, as ciências biológicas modernas (incluindo aí conceitos como os de ecologia molecular) estão intimamente entrelaçadas e dependentes de métodos desenvolvidos por intermédio da biotecnologia e daquilo que é comumente imaginado como a indústria das Ciências da Vida.

Fisiologia, Colheita, Beneficiamento e Classificação

Capítulo 3

Fisiologia Pós-Colheita em Hortaliças - Teórica e Prática

Adonai Gimenez Calbo

1. Introdução

Neste capítulo procurar-se-á, através de observações e considerações de laboratório estruturadas, para fortalecer o entendimento concatenado das seguintes noções e objetos relativos à fisiologia pós-colheita:

a) Atmosfera interna, volumes gasosos intercelulares, densidade, firmeza dependente da pressão de turgescência, trocas gasosas, concentrações de O_2, CO_2 e etileno na atmosfera interna, ceras, filmes e selantes;

b) Respiração, evolução de CO_2, consumo de O_2, pressão da atmosfera interna, infiltração, lavação, limpeza, absorção de água, composição da atmosfera interna, hipoxia, estádio de amadurecimento, injúrias mecânicas;

c) Transpiração, déficit de pressão de vapor, evaporatividade ou poder evaporativo do ar, velocidade do vento, pressão de vapor da água, temperatura, umidade relativa, déficit de pressão de vapor de água, condutividade e resistência ao transporte de vapor de água, desidratação relativa, firmeza dependente da turgidez celular, hidratação;

d) Amadurecimento, maturidade, senescência, meia-vida pós-colheita, decaimento da firmeza, hidrólise de componentes da parede celular, temperatura, etileno, O_2 e CO_2 na atmosfera interna;

e) Resistência mecânica, casca, tecido dermal, pressão de turgescência celular, resistência à penetração, hidratação, volumes gasosos intercelulares, rachadura, amassamento, danos mecânicos;

f) Altura de pilhas frutos, altura das embalagens, densidade do fruto, densidade aparente, volumes gasosos intercelulares, turgor celular, firmeza dependente da turgescência, meia vida pós-colheita, resistência mecânica;

g) Temperatura, vida pós-colheita, radiação, albedo ou refletância e emissividade térmica das superfícies, ambiência, refrigeração, resfriamento rápido, calor de campo, telhado branco, pisos frios, superfícies frias;

h) Temperatura, meia-vida pós-colheita, vida útil, deterioração, senescência, equação de Arrhenius, energia de ativação, Q_{10}.

2. Borbulhamento de ar através de frutos

O borbulhamento forçado de ar através de frutos, como moranga, maçã e tomate é obtido insuflando-se ar com um compressor, que é ligado a uma conexão para gases inserida em um orifício justo. No ensaio, o órgão é imerso em água no interior de um contentor (Figura 1). A forma como ar forçado borbulha evidencia que a polpa das frutas e hortaliças possui volumes gasosos intercelulares interconectados, com saída através de tecidos dermais impermeáveis ao ar, exceto através de aberturas como estômatos, lenticelas e eventuais ferimentos.

Figura 1: Borbulhamento de ar através de uma moranga na água, que recebe ar sob pres-são através de um tubo introduzido no fruto com auxílio de um bico de conexão metálica para gases. Foto: Adonai Gimenez Calbo.

O ensaio ilustrado na Figura 1 foi descrito por Devaux em 1891 (DEVAUX, 1891), quando utilizou este método para demonstrar que os volumes gasosos intercelulares nas plantas são, de fato, bem interconectados e possibilitam a difusão de oxigênio necessário para a respiração e a vida das células. A difusão de gases através de volumes gasosos intercelulares contidos em lenticelas e em estômatos possibilita a difusão do oxigênio que mantém as células vivas, emitindo gases como CO_2 e etileno e compostos voláteis biologicamente relevantes que incluem os aromas.

3. Compressão versus opacidade dos tecidos

Um ensaio visual que possibilita qualificar deformações nos volumes gasosos intercelulares é o de supressão parcial da opacidade dos tecidos. Este método fundamenta-se no fato de que a opacidade dos vegetais decorre da dispersão da luz no interior dos seus tecidos, que contêm organelas e outras estruturas com diferentes índices de refração; nesse contexto, a dispersão da luz na vizinhança entre células e volumes gasosos intercelulares é relevante.

A supressão parcial da opacidade em escamas de cebola e em segmentos de berinjela pode ser obtida submetendo o material à compressão entre as placas de vidro. Neste ensaio manual, ou com auxílio de uma prensa, observa-se que a translucência cresce até um valor máximo, enquanto se aumenta a força de compressão aplicada. O crescimento da translucência neste ensaio ocorre na proporção em que as paredes celulares, ao redor dos volumes gasosos volumes intercelulares, passam a dispor de menor área relativa para dispersar a luz.

4. Flutuação, densidade e densidade aparente

A flutuação, ou afundamento, de órgãos ao serem colocados em água possibilita inferências quantitativas sobre a densidade, volumes gasosos intercelulares, em frutos e sobre as dimensões relativas de lóculos e sobre o defeito lóculo vazio.

Diferentemente da densidade e do peso específico intrínseco, que são medidos com relação ao volume do órgão, a densidade aparente de um produto hortícola é a razão entre a massa do produto em quilos (*kg*) e o volume efetivo da caixa, que é ocupado pelo produto em litros (*L*). Consequentemente, a densidade aparente dos frutos nas embalagens envolve a densidade intrínseca do produto e a fração de volumes vazios no volume da caixa ocupado pelo produto. Desse modo, a densidade aparente é um valor aproximado que envolve fatores de problematização, como a geometria, o volume, as dimensões laterais, a profundidade e o pouco estudado efeito do amassamento das frutas e das hortaliças sobre este parâmetro.

A densidade aparente, é por sua vez, proporcional ao peso específico aparente, e a proporcionalidade entre essas duas variáveis é o parâmetro $\boldsymbol{g}$, a aceleração da gravidade. Assim, a aceleração do campo gravitacional na superfície da terra é por definição 1,00 $\boldsymbol{g}$. Consequentemente, dependendo das unidades a relação de conversão entre densidade ($\boldsymbol{d}$) e peso específico ($\boldsymbol{\rho}$) é numericamente igual a 1,00, caso, por exemplo, seja dado como a razão entre o peso do produto expresso em gramas e o volume em cm^3, como será utilizado adiante.

5. Volumes gasosos intercelulares, firmeza maciez e rachaduras

A firmeza dependente da turgescência celular medida com a técnica de aplanação (CALBO; NERY, 1995a) é influenciada pela fração de volumes gasosos intercelulares no tecido. Esta firmeza possui consequências práticas para a resistência mecânica das frutas e hortaliças, enquanto suportam estresses de compressão e impacto.

Volume gasoso intercelular e pressão de turgescência são fatores que se relacionam através da elasticidade das frutas e hortaliças, o que pode ser observado em diferentes tipos de ensaios de colisão (WEBER, 1990; FERREIRA, 2008; CALBO, 2008). Em ensaios realizados sobre superfícies rígidas ou contra absorvedores de impacto, duas variáveis frequentemente mensuradas são: o coeficiente de restituição

e a frequência de rachaduras. Além dessas, dependendo da natureza das superfícies sobre as quais a queda das frutas ou hortaliças se dá, pode haver também a ocorrência de diferentes sons, relacionados a certas frequências de ressonância que dependem das dimensões, da densidade, da forma, dos volumes gasosos intercelulares e da pressão de turgescência celular. Para uma simples percepção auditiva nesta demonstração, observaremos, sem rigor, os sons emitidos durante as colisões de tubérculos de batata, de raízes de cenoura e de frutos de berinjela e de maçã.

Os métodos de determinação de firmeza de acordo com as vibrações e as ressonâncias que ocorrem em quedas por ações de pequenos impactos controlados (LAURENT, 2003; LACERDA, 2004) são particularmente úteis durante procedimentos automatizados de seleção, quando os órgãos apresentam dimensões regulares.

6. Uso de selante na inserção do pedúnculo

O bloqueio da inserção do pedúnculo com gorduras comestíveis é uma forma de estender a vida útil de frutos de tomate colhidos no estádio verde-maduro, que pode ser facilmente utilizado em ambiente doméstico. Esse aumento da conservação do fruto depende significativamente dos detalhes de aplicação do selante, da temperatura, do estádio de amadurecimento e da cultivar. Nessas aplicações de selantes à inserção do pedúnculo de frutos de tomate, é comum obter-se atrasos de amadurecimento de 4 a 14 dias (Figura 2) (CALBO et al. 1988; HENZ et al., 1994).

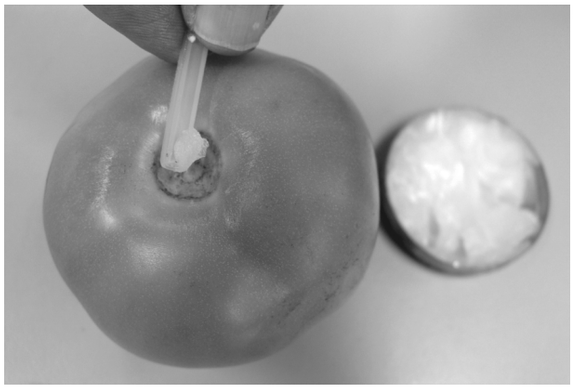


Figura 2: O amadurecimento mais lento e a maior conservação pós-colheita de frutos de tomate podem ser obtidos com a aplicação ilustrada de selantes comestíveis, como a gordura de coco, na inserção do pedúnculo do fruto. Este efeito é obtido graças à diminuição da concentração de oxigênio e ao aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera interna dos frutos. Foto: Camila Fernanda Borges.

Como selante pode-se usar, por exemplo, a gordura de coco que não altera o sabor do fruto, ou, na sua falta, a margarina. A gordura de coco é aplicada como uma camada com menos de 0,1 *mm* na inserção do pedúnculo não do fruto, o que pouco altera a aparência do fruto. O amadurecimento mais lento, assim como o aumento da conservação do fruto, é causado por uma associação efeitos que envolvem a redução da concentração de O_2 e do aumento da concentração do CO_2 na atmosfera interna do fruto (Figura 3), conforme já foi discutido anteriormente. O emprego de selante na inserção do pedúnculo de frutos de tomate é útil em ambiente doméstico e poderia também ser utilizado para aplicações comerciais.

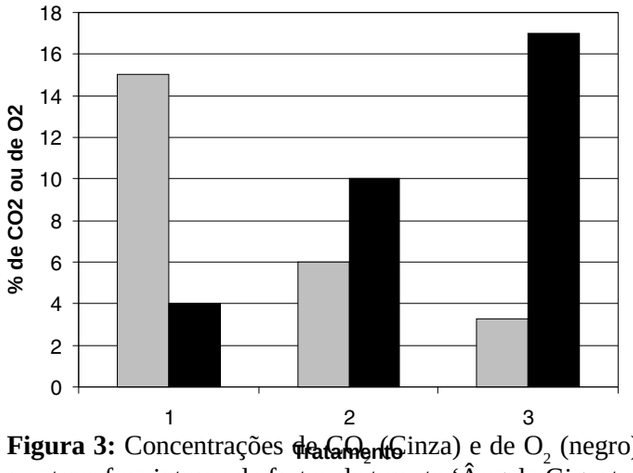


Figura 3: Concentrações de CO_2 (Cinza) e de O_2 (negro) na atmosfera interna de frutos de tomate 'Ângela Gigante' tratados com dois níveis de selante para obstruir parcialmente o transporte de gases através da inserção do pedúnculo. Tratamentos: 1- controle, 2 - selante, 3 - selante mais intenso. O amadurecimento dos frutos tratados com o nível 1 de selante foi atrasado em cerca de uma semana, e o amadurecimento dos frutos tratados com o nível dois de selante foi atrasado em mais de duas semanas em ensaio realizado sob temperatura ambiente de 23±2 ºC.

7. Lavação, absorção e infiltração de água

Neste ensaio, segmentos transversais de raízes de batata-doce *(Ipomea batatas* L. Lam) são totalmente ou parcialmente imersos em água (Figura 4). Nos segmentos parcialmente imersos, menos de 10% do segmento deve permanecer fora da água, em um suspiro. A pressão da atmosfera interna das raízes parcialmente imersas mantém a pressão da atmosfera interna apenas alguns milímetros de coluna de água menor do que a pressão atmosférica. Nas raízes totalmente imersas, a pressão reduz-se quase linearmente, ao longo do tempo, até atingir mais de 1,0 metro de coluna de água, para, então, a seguir começar a aumentar novamente depois de todo o suprimento de O_2 da atmosfera interna ter sido consumido, o que ocorre cerca de uma hora após a imersão (CALBO; NERY, 2000; NERY; CALBO, 1994). Por isso, nos segmentos transversais totalmente imersos em água ocorre uma muito maior infiltração de água nos volumes intercelulares, maior aumento de peso do que nas raízes ou segmentos parcialmente imersos, nos quais a redução da pressão na atmosfera interna foi diminuta.

Caso o mesmo ensaio seja efetuado em raízes intactas, então, praticamente só há absorção de água através das paredes e membranas celulares, e pouquíssima infiltração de água é induzida pela redução da pressão na atmosfera interna dos órgãos imersos.

Considerando-se as dimensões transversais dos volumes intercelulares, sugere-se que partículas, como bactérias e esporos, possam ser arrastadas para o interior do órgão pela infiltração de água durante a lavação de frutas e hortaliças com tecidos mecanicamente danificados, por segmentação (minimamente processados).

Esses efeitos causados pela redução da pressão da atmosfera interna (CALBO; NERY, 2000) durante a lavação de frutas e hortaliças são causados pela restrição das trocas gasosas entre a atmosfera interna do órgão e a atmosfera propriamente dita. Por causa disso, o consumo de oxigênio na respiração causa a redução da pressão, porque no órgão com trocas gasosas obstruídas, o CO_2 se dissolve nos componentes celulares, tendo em vista que o CO_2 tem solubilidade em água cerca de 30 vezes maior que o O_2 (NOBEL, 1991).

Nos segmentos parcialmente imersos, na ausência de gradiente de pressão, a infiltração de água não

ocorre, e a pequena absorção de água observada é toda ela controlada pelo processo de absorção, propriamente dita da água. Processo assemelhado à absorção de água pelas raízes das plantas no campo.

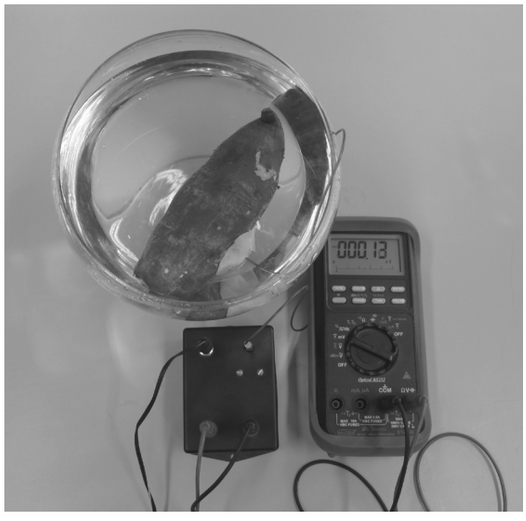


Figura 4: Dispositivo para medir a redução da pressão da atmosfera interna de órgãos imersos em água com auxílio de uma câmara externa de Devaux selada contra a raiz e ligada por um microtubo a um transdutor de pressão MPX2010, que lê a pressão da atmosfera interna. No transdutor de pressão a escala de leitura é entre 0 e 10 *kPa* com uma sensibilidade de 2,5 *mV/ kPa* ao ser alimentado por uma fonte de 10 Volts de corrente contínua. Foto: Camila Fernanda Borges.

8. Amostragens da atmosfera interna

Várias informações fundamentais sobre a fisiologia das frutas e hortaliças foram adquiridas graças ao uso de amostras gasosas da atmosfera interna, quantificação de volumes intercelulares e medições de taxas de transporte de O_2, CO_2, etileno e vapor de água. Sobre quantificações da atmosfera interna, nesta secção nos ateremos apenas aos métodos de extração de amostras gasosas.

Um dos métodos mais criativos e, ainda, um dos mais poderosos para extrair amostras da atmosfera interna de frutos intactos é aquele desenvolvido por Devaux (1891). Nessa aplicação, porém, Devaux foi além de insuflar ar com o intuito de demonstrar a abertura para gases nos tecidos dermais através de lenticelas e estômatos. Devaux sabia que o fluxo forçado de O_2 e CO_2 através do tecido dermal, biologicamente, é um fenômeno de intensidade menos relevante do que a difusão dos gases, visto que as variações da pressão barométrica e da pressão de vapor de água são modestas e usualmente causa apenas diminuto arraste de gases para a atmosfera interna. Assim, Devaux foi induzido a estudar a composição da atmosfera interna e a difusão dos gases da atmosfera interna mediante o desenvolvimento do engenhoso método da Câmara Externa.

O método da Câmara Externa de Devaux (1891) consiste em se colar, sobre o órgão vegetal, um fruto de melão, por exemplo, uma câmara de volume adequado para amostragem da atmosfera interna (Figura 5). O volume da Câmara Externa de Devaux era da ordem de alguns mililitros, o equilíbrio por difusão ocorre em algumas horas e as amostras gasosas da Câmara Externa são extraídas com uma seringa de 1,0 mililitro, através de um septo. As amostragens da atmosfera interna efetuadas com a Câmara Externa de Devaux são não destrutivas, o que é ideal para estudos em frutos individuais ao longo do tempo, por exemplo, para evidenciar a acumulação de níveis fisiologicamente significantes de etileno em frutos climatéricos ou para estudar a redução da concentração de O_2 na atmosfera interna de frutos tratados com ceras. No trabalho original em que Devaux observou concentrações reduzidas de O_2 e concentrações aumentadas de CO_2 na atmosfera interna de melões, as medições forma efetuadas com um antigo método gasométrico, do qual o Facili (CALBO et al., 2007a) é uma adaptação mais fácil de ser utilizada, atualmente, do que o equivalente método de antigo (THODAY, 1913), que vem sido utilizado desde a Idade Média.

O método da Câmara Externa, portanto, é de aplicação tanto para laboratório quanto para campo (CAMERON, 1982). A base física do método da Câmara Externa é o equilíbrio, por difusão dos gases através de volumes gasosos intercelulares, que ocorre mediante a movimentação térmica das moléculas

gasosas, que por movimentação aleatória, tornam a concentração da Câmara Externa igual à concentração na atmosfera interna dos órgãos amostrados. O caminho para esta difusão, como Devaux demonstrou, são os volumes intercelulares das lenticelas e estômatos contidos em tecidos dermais que são praticamente impermeáveis através das demais células poliédricas recobertas por cutícula ou outros revestimentos epidérmicos e dermais.

A leitura que se obtém com o método da Câmara Externa para O_2 e CO_2 é muito similar àquele obtido por extração, com uma seringa, de frutos que possuem uma cavidade interna, como o melão e o pimentão. O diferencial do método de Devaux é ser destrutivo, de tal maneira que se pode acompanhar, por exemplo, as variações da concentração da atmosfera interna de frutos individuais na planta, antes da colheita.

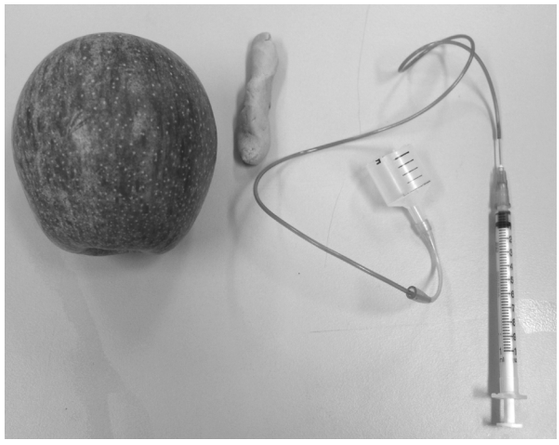


Figura 5: Foto de uma Câmara Externa de Devaux, preparada por corte de um segmento de seringa plástica de 20 *mL* pronta para ser acoplada à superfície de um fruto de maçã. Também estão ilustrados a massa plástica utilizada para vedar externamente a câmara ao fruto e um sistema de coleta de amostras gasosas com auxílio de um micro tubo e uma seringa de 1,0 *mL*. Foto: Camila Fernanda Borges.

Outros métodos para estudar a concentração de gases na atmosfera interna que têm sido reiteradamente utilizados são:

a) Técnica da Câmara Interna de Wardlaw e Leonard (1939), que utiliza como câmara uma cavidade no órgão, também depende da energia térmica, velocidade, das moléculas de gases para obter equilíbrio entre uma Câmara Interna hermeticamente acoplada com a atmosfera interna, por exemplo, de banana por aberturas de volumes gasosos nos tecidos cortados do fruto nas paredes da cavidade. A técnica da Câmara Interna, evidentemente é um método de equilíbrio mais invasivo do que o da câmara externa de Devaux, que é acoplada por simples adesão. Wardlaw e Leonard, assim como Devaux, também utilizaram de métodos gasométricos similares aos descrito por Calbo et al. (2007a) para determinar CO_2, O_2 e N_2 da atmosfera interna, enquanto faziam comparações com as taxas de evolução de O_2 e CO_2, com as quais demonstram o padrão climatérico de respiração dos frutos de banana. Aparentemente, Wardlaw e Leonard (1939) não conheciam o trabalho do antepassado francês considerado acima.

b) Magness (1922) desenvolveu um instrumento para a extração a vácuo para evitar que a amostra da atmosfera interna de tubérculos de batata, que contém pouco volume gasoso intercelular, fosse contaminada com gás dissolvido na água ou com gás da atmosfera externa. O sistema em um arranjo mais atualizado (Figura 6) pode ser montado utilizando-se uma bomba de vácuo, um dessecador cheio de água previamente fervida e um funil com septo. Para uso, o produto é colocado sob o funil invertido, aplica-se vácuo parcial, com cuidado para que o volume do gás expandido não exceda o volume do funil, o que causaria vazamento de gás por baixo do funil. Após isto, a pressão é retornada ao valor inicial e a amostra da atmosfera interna é coletada através de um septo, com auxílio de uma seringa de 1,0 *mL*, para a medição com o instrumento Facile ou o Cromatógrafo a gás. Esse método, assim como os métodos de extração em vácuo parcial de Calbo e Sommer (1987) ou de Weber (1990), possui o defeito de contaminar a amostra da atmosfera interna com gases que estavam dissolvidos nas células. Por essa razão, nas extrações a vácuo de amostras da atmosfera interna é frequente se obter concentração de CO_2 elevada, que, somada à concentração de O_2 na amostra, gera somatório maior que 21%, um valor tipicamente inesperado, considerando-se coeficiente

respiratório igual a 1,0 e concentração atmosférica de O_2 de 21% (CALBO; NERY, 1994; CALBO; NERY, 1994). Evidentemente, essas medições são importantes e por vezes indispensáveis, porém precisam ser analisadas com o apropriado conhecimento da limitação desta técnica. Nesse sentido, convém saber que a solubilidade do CO_2 em água e em membranas é muito mais elevada do O_2 e, portanto, é a concentração de CO_2 que aparece mais inflada quando se utiliza este método.

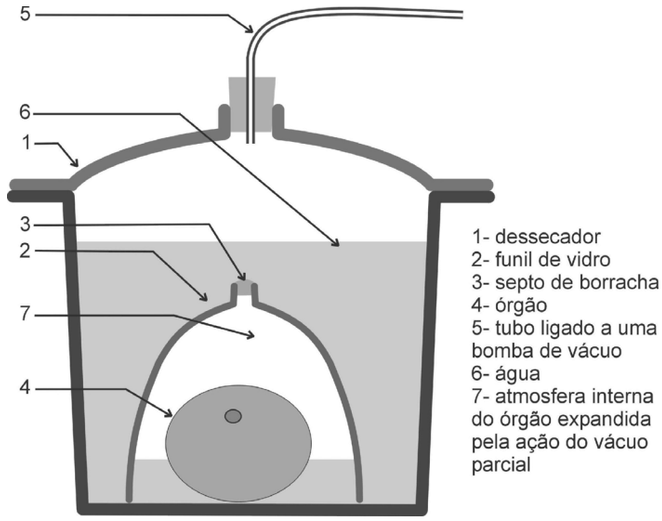


Figura 6: Sistema de extração a vácuo de atmosfera interna e de gases dissolvidos nas células sob um funil invertido imerso em água que inicialmente se encontrava completamente cheio de água e sem ar. O ar ilustrado no esquema expandiu-se para fora do órgão devido à redução de pressão atmosférica aplicada, o denominado vácuo parcial, aplicado cuidadosamente de modo que o gás não escape por baixo do funil.

c) Extrair atmosfera interna de órgãos com cavidade interna, como o melão, ou com grandes volumes gasosos intercelulares, como a maçã, por meio de uma seringa e agulha longa é método prático. Lyons et al. (1962) utilizaram extração com seringa para observar traços de etileno, com concentração inicialmente muito inferior a 1,0 ppmv (parte por milhão em volume) na atmosfera interna do melão rendilhado. Dessa forma, verificaram que concentrações de etileno suficientes para induzir o amadurecimento, que eles presumiram ser da ordem de 1,0 ppmv, se acumulavam na atmosfera interna das frutas, enquanto a taxa de evolução de etileno continuava ainda não detectável, pelos métodos tradicionais com o uso de cromatografia a gás, em sistema aberto, ou fechado.

Extrair por meio de uma seringa com agulha longa é o mais simples dos métodos, porém causa ferimento nos frutos e funciona perfeitamente apenas em órgãos com cavidade interna. Para órgãos mais aquosos ou que possuem volumes gasosos diminutos, como é o caso dos tubérculos de batata, o método é inapropriado (Figura 7). Veja-se que, em um tubérculo de batata com 0,3% de volume gasoso intercelular (Tabela 1), remover 1 mililitro de ar com uma seringa significa remover mais do que todo o volume gasoso intercelular de um tubérculo com volume de 100 *mL*. Na prática, quando se remove rapidamente 1 *mL* de gás de um tubérculo dessa dimensão, de fato, a amostra da atmosfera interna estará grandemente contaminada pelo ar da atmosfera que circunda o órgão.

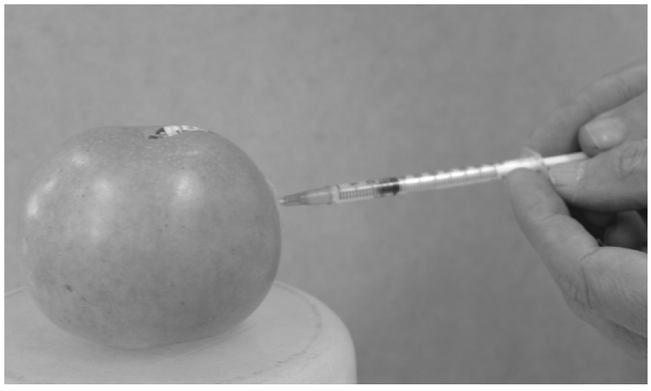


Figura 7: Amostra gasosa sendo removida de um fruto de maçã cv 'Granny Smith' com uma seringa. Nota-se uma camada de silicone (cola de silicone neutro), afixada sobre o fruto para evitar a entrada de ar através do orifício produzido pela agulha de coleta. Foto: Camila Fernanda Borges.

Tabela 1: Dados de volume gasoso e de pressão de turgescência, ou firmeza típica, medida pela técnica de aplanação *(kPa)* em algumas hortaliças recém-colhidos. Adicionalmente, a tabela contém impressões qualitativas referentes à tolerância à compressão, que é menor em órgãos com elevado volume gasoso, e à tolerância ao impacto que é maior nos órgãos acolchoados por um maior volume gasoso intercelular interno. Baseado em Calbo (2008).

Hortaliça	Cultivar	Volume gasoso *(%v/v)*	Firmeza *(kPa)*	Tolerância à compressão	Tolerância ao impacto
Abóbora	Jacarezinho	5,47	400	elevada	elevada
Batata	Achat	0,3	500	elevada	média
batata-baroa	-	1,36	600	elevada	média
batata-doce	Brazlândia Rosada	6,9	500	elevada	média
Berinjela	-	40	100	reduzida	elevada
beterraba	-	2,9	500	elevada	média
Cebola	São Paulo	10,1	500	elevada	média
Cenoura	Brasília	2,1	700	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

d) Para superar algumas das dificuldades consideradas no parágrafo anterior, Smith (1965) desenvolveu um protocolo de extração lenta, no qual se injeta uma seringa no interior do órgão e, a seguir, a cada dez minutos, por exemplo, puxa-se com o êmbolo cerca de 0,1 *mL* do gás da atmosfera interna até completar-se o volume de 1 mililitro. Essa extração lenta foi proposta por Smith (1947). O uso de uma fita adesiva para evitar retorno de ar da atmosfera externa para amostra também é relevante. Dependendo do órgão, ainda assim, pode haver alguns problemas como a obstrução dos volumes gasosos intercelulares com o fluido hipertônico das células rompidas, o que pode causar coleta de líquido da amostra e extração não desejada de gases dissolvidos nas células.

9. Desidratação relativa por volumetria

Para estimar a desidratação, mede-se o volume inicial de segmentos do órgão. Nesta observação, este volume tomado, por exemplo, de segmentos do pericarpo de frutos de abóbora ou de tomate será medido por pesagem hidrostática. Na pesagem hidrostática, o denominado método de Arquimedes, o volume inicial (***vi***) do órgão é o produto da massa de água deslocada $\boldsymbol{m_0}$ dividido pela densidade da água ($\boldsymbol{d} \cong 1{,}00$). Na sequência, o produto é rapidamente hidratado por tratamento dos segmentos imersos em água com vácuo, durante 1 minuto, tempo suficiente para remover mais de 99% do volume de gases contido na atmosfera interna, seguido de um período subsequente em que os segmentos, ainda imersos, repousam sob a água na pressão ambiente por 10 minutos. Durante esse período de repouso, a pressão do ar atmosférico, incidindo sobre a superfície da água, força a infiltração da água nos volumes gasosos intercelulares, que foram 99% evacuados pela aplicação do vácuo. A hidratação propriamente dita, por outro lado, ocorre de maneira rapidíssima logo que o ar dos volumes intercelulares é substituído por água, causando o incomum contato direto das células com a água livre. O procedimento de hidratação a vácuo preconizado por Czerski (1964, 1968) é uma forma de se obter hidratação máxima dos tecidos em poucos minutos, evidentemente, de uma maneira destrutiva.

O volume do segmento hidratado final ($\boldsymbol{v_h}$) é medido da mesma forma, pelo método da pesagem hidrostática. A desidratação relativa (d_r), parâmetro ainda em desenvolvimento, é, então, calculado como porcentagem aplicando-se a equação 1:

$$d_r = 100\ (1 - vi\ /\ vh) \qquad \text{eq. 1}$$

De maneira análoga, o complemento da desidratação relativa – teor relativo ($\boldsymbol{r_w}$) – é dado por:

$$r_w = 100\ vi\ /vh \qquad \text{eq. 2}$$

O método de infiltração a vácuo para medir o teor relativo de água, uma adaptação do método Czersky (1964), foi proposto para suprimir o erro de crescimento das amostras, que ocorre no método tradicional de hidratação de folhas quando são utilizados métodos lentos de saturação (SLAVICK, 1974; CALBO; NERY, 1994). No método tradicional, as folhas são colocadas entre toalhas de papel embebidas com água. Como o procedimento de hidratação é lento, cerca de um dia, causa uma mistura entre os efeitos do crescimento e da hidratação.

Os dados coletados para medir a hidratação com a equação 2 podem, adicionalmente, serem usados para calcular o volume gasoso intercelular, graças a aplicação de vácuo seguida de um período de infiltração para o tecido evacuado imerso em água, aplicando-se a equação referente ao método de massa e volume de Calbo e Nery (1995b).

Esse método possibilitaria avaliações do estado hídrico de frutas e hortaliças no mercado, de maneira relativamente rápida. Uma forma ainda mais rápida e ainda menos estudada de avaliar estresses hídricos em pós-colheita e em ecofisiologia poderia valer-se do fato de que, em tecidos sadios, a firmeza medida pela técnica de aplanação aumenta muito logo após a infiltração a vácuo (CALBO, 1990) e depois diminui no tempo, por um processo de relaxamento (crescimento). Essa diferença de pressão de turgescência também pode ser utilizada para elaborar parâmetros similares ao das equações 1 e 2, com a vantagem de dispensar pesagens, o que facilita a aplicação em campo. Assim, por esse método pode-se estimar o parâmetro desidratação relativa (ρ_r) em termos de pressão com a expressão:

$$\rho_r = 100\ (1 - P_i\ /\ P_h) \qquad \text{eq. 3}$$

Onde $\boldsymbol{P_i}$ é a pressão de turgescência celular inicial, medida com a técnica de aplanação, ou com outro sistema equivalente, e P_h é pressão de turgescência do tecido hidrato a vácuo.

A desidratação relativa, especialmente se obtida com a equação 3, é uma medida suficientemente prática para ser rapidamente implementada em aplicações de ecofisiologia e pós-colheita a campo, requerendo, para isso, apenas uma bomba de vácuo manual facilmente disponível, além do Wiltmeter, para folhas ou do Aplanador para frutos. A potencialidade prática dessas medidas deve, no entanto, ser tomada com cautela à luz dos atualmente conhecidos efeitos do desenvolvimento vegetal sobre a capacidade de desenvolver pressão de turgescência celular. Assim, medidas comparáveis de desidratação relativa certamente serão válidas principalmente na comparação entre órgãos amostrados no mesmo estádio de desenvolvimento, por exemplo, em frutos com similar estádio de amadurecimento.

10. Poder evaporativo do ar

O poder evaporativo do ar, ou evaporatividade, ao redor de frutas e hortaliças depende da temperatura, da umidade relativa, da velocidade do vento e da pressão barométrica. O modelamento dinâmico dessas variáveis em aplicações de mercado é complexo e ainda não foi alcançado pelo desenvolvimento de modelos minimamente abrangentes (CALBO; FERREIRA, 2010).

Um instrumento que pode ser utilizado para medir o poder evaporativo do ar é o atmômetro de pós-colheita. Este instrumento tem flexibilidade para ser utilizado em diferentes ambientes incluindo o interior de embalagens, pontos específicos nos armazéns e nos mais variados ambientes de transporte e de distribuição de frutas e hortaliças.

O atmômetro de pós-colheita (Figura 8) é constituído de uma cápsula porosa, fechada com rolha, à qual se adiciona água. Após fechar o instrumento, o excesso de água sobre o elemento poroso é removido com uma toalha. Sua leitura da perda de peso expressa em milímetros por dia *(mm/dia)* pode ser comparada com outras relevantes expressões de biologia e agrometeorologia de mesma unidade. Assim, também são expressos em *mm/dia* a transpiração por unidade de área, visto que *mm/dia* é igual a litros de água evaporada por metro quadrado por dia, os dados pluviométricos e evidentemente outros tipos de dados de evaporação de outros tipos de evaporímetros disponíveis no mercado.

No atmômetro de pós-colheita, o poder evaporativo do ar em milímetros por dia *(mm dia^{-1})* é calculado dividindo-se a perda de água em litros pela área de evaporação do instrumento, que é 0,0067 m^2 e pelo tempo em dias.

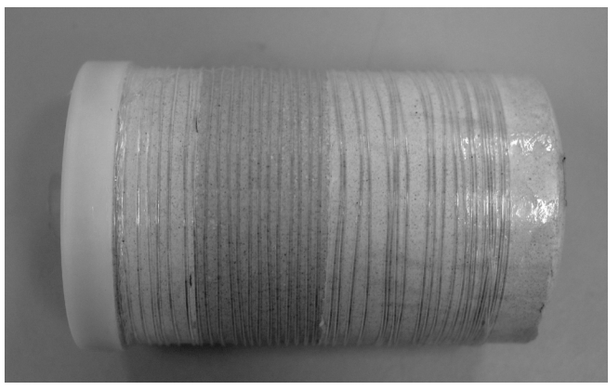


Figura 8: Foto de um atmômetro de pós-colheita para medir poder evaporativo do ar (evaporatividade) em mm/dia. As características físicas do atmômetro são: a) Corpo de cápsula porosa branca, ao qual se adiciona água através de um orifício, que é fechado hermeticamente com uma rolha. As dimensões desse instrumento são 55 *mm* de diâmetro, 90 mm de comprimento e uma faixa de evaporação com 25 *mm* de largura e uma área de evaporação total de 0,0067 *m^2*. A área não evaporante da cerâmica é recoberta com esmalte branco e o instrumento é envolto por uma espiral de fio de poliamida branco 0,5 *mm* com passo de 2 *mm*, para poder ser incluída no interior de embalagens em contato direto com produtos não molhados. Foto: Camila Fernanda Borges.

Medidas de poder evaporativo do ar possibilitam o monitoramento e a tomada de decisões relativas a balcões refrigerados, a sistemas de refrigeração e de umidificação, a embalagens e a modais de transporte. Para pesquisa aplicada, essas leituras do poder evaporativo do ar podem ser comparadas diretamente com a transpiração dos órgãos vegetais, expressa em milímetros por dia *(mm dia^{-1})*.

Aproveitando-se do fato de que a transpiração e o poder evaporativo do ar podem ser expressos na mesma unidade, então, as variáveis podem não só serem comparadas mas também relacionadas ou proporcionalizadas. Assim, pode-se definir o termo transpiração relativa, como um novo parâmetro cujo valor varia entre zero e um. A transpiração relativa é uma variável adimensional, que poderá ter valiosas aplicações agroindustriais. Assim, a transpiração relativa poderá ser utilizada para a comparação de embalagens, de filmes hidrofóbicos, de locais e de épocas. Consequentemente, com o conceito de transpiração relativa se tornará mais simples fazer comparações, por exemplo, da comparação experimental da capacidade de armazenamento entre espécies e variedades fundamentadas em ensaios realizados em diferentes épocas e em ambientes que não são estritamente controlados.

Uma pequena dificuldade para a utilização do parâmetro transpiração proporcionalizada é a necessidade de se medir a área da superfície das frutas e hortaliças, o que possibilita o cálculo da transpiração em mm/dia. As potencialidades do conceito, no entanto, justificam o trabalho. A área da superfície da fruta ou hortaliça pode ser determinada com relativa facilidade, por exemplo, utilizando-se de um método baseado na projeção ortogonal do órgão sobre uma superfície translúcida, o que é relativamente rápido.

11. Resistência difusiva e transpiração

Resistência difusiva à transpiração e a própria transpiração, quando é dado o déficit de pressão de vapor, podem ser medidas com auxílio de uma câmara hermética, denominada porômetro de pós-colheita (CALBO, 2005), ou câmara de transpiração (Figura 9). Nesse instrumento, a resistência difusiva (r) ao transporte de vapor de água através do tecido dermal do órgão é dada por:

$$r = m\, t_{1/2} / [V \,\mathrm{Ln}(1/2)] = \quad 1{,}443\, m\, t_{1/2} / V \qquad \text{eq. 4}$$

Onde ***m*** é a massa do produto *(kg)*, ***V*** é o volume de ar interno da câmara de transpiração (m3), $\boldsymbol{t}_{1/2}$ é o tempo em segundos para reduzir o déficit de pressão de vapor pela metade. Os métodos para obter $\boldsymbol{t}_{1/2}$ podem ser a manometria a volume constante, que é prática, ou o tempo para que o volume de vapor de água evaporado atinja metade do volume de saturação de vapor de água na câmara de transpiração, em volumetria a pressão constante, o que é interessante uso em demonstrações. Empregando-se o sistema métrico – resistência difusiva à transpiração, *(r)* é dada em $s\ m^{-1}\ kg^{-1}$.

Figura 9: Fotografia de uma câmara de transpiração hermeticamente acoplada a um transdutor de pressão MPX2010, com escala de leitura entre 0 e 10 *kPa* e sensibilidade de 2,5 *mV/kPa*, ao ser alimentado por uma fonte de 10 Volts de corrente contínua. As conversões entre unidades de resistência difusiva e condutância e os respectivos cálculos sobre transpiração, resistividade e condutividade ao vapor de água baseados na equação 4, podem, na sequência, ser efetuados com auxílio de uma calculadora, isto é, um software especializado. Foto: Camila Fernanda Borges.

Para determinar a resistência difusiva descontando a resistência da camada laminar efetiva é prática molhar-se a superfície do fruto com uma toalha umedecida com água e sabão para medir o $\boldsymbol{t}_{1/2}$ e calcular o valor da resistência *(r)*, da camada limítrofe. Com esse valor, na sequência, estima-se a espessura da camada limítrofe em metros com a expressão:

$\delta = 1{,}43\ t_{1/2}\ A\ D\ /V$ eq. 5

Onde ***A*** é a área do órgão em metros quadrados, e ***D*** é o coeficiente de difusão do vapor de água no ar, que é igual a *0,000025* $m^2\ s^{-1}$ a 20 *ºC*.

Pode-se calcular a resistência difusiva também em outras unidades onde for necessário, por exemplo, multiplicando-se a equação 4 por ***RT,*** calcula-se a resistência difusiva, considerando-se que é o gradiente de déficit de pressão de vapor que governa a difusão do vapor da água - neste caso, a unidade experimental será *mol* $m^2\ s^{-1}\ m^{-1}$. Ou uma resistência difusiva com simples unidade de transpiração *mol* $m^{-2}\ s^{-1}$, multiplicando-se a equação 4 por $\boldsymbol{RT/P_B}$, onde $\boldsymbol{P_B}$ é a pressão barométrica local. Esta última forma de expressar a resistência difusiva é a mais moderna, e o gradiente de vapor de água que governa o processo é o gradiente fração molar. O resultado apresentado desta última forma é independente da pressão barométrica local.

Medidas de resistência difusiva por unidade de massa podem ser utilizadas para a seleção de genótipos que perdem menos água por transpiração e para estimar o "déficit de pressão de vapor efetivo" entre o produto e o ambiente de armazenamento. Adicionalmente, dados sobre resistência ao transporte de vapor de água podem ser interessantíssimos do ponto de vista da fisiologia de pós-colheita. Em frutos de buriti *(Mauritia vinifera)*, por exemplo, o arranjo compacto das escamas torna-se mais frágil e mais permeável ao vapor de água durante o amadurecimento (SANTELLI, 2005; SANTELLI et al., 2009). Adicionalmente, nestes frutos, a simples manutenção de ambiente de umidade relativa elevada é capaz de aumentar a vida pós-colheita em três vezes. O poderoso efeito do poder evaporativo do ar sobre a aceleração do amadurecimento nos frutos de buriti é diferente de todos os outros frutos já estudados, inclusive em frutos climatéricos de palmeiras como o *Syagrus oleracea* (SANTELLI, 2005). Tipicamente, nos poucos trabalhos em que houve preocupação com medições de perda de água dos frutos, não houve relato de relacionamento entre amadurecimento, fim do estádio pré-climatérico e o poder evaporativo do ar, por exemplo, indicado pela umidade relativa.

12. A degradação da lamela média

A medição da firmeza de frutas e hortaliças de acordo com a força necessária para que uma ponteira penetre, ou vaze para o interior do órgão, é uma forma de aferir indiretamente o nível de degradação da lamela média em frutos como o caqui, a manga, a goiaba e o tomate. Instrumentos que medem essa força para perfurar ou penetrar o órgão são denominados penetrômetros. Instrumentos para medir força de penetração, evidentemente, são variados. Alguns tipos de penetrômetros, inclusive, são facilmente produzíveis pelo próprio observador. Um deles, de boa confiabilidade e de fácil construção, é o penetrômetro a gás descrito por Calbo e Moretti (2002) (Figura 10). No penetrômetro a gás, a força de penetração (***F***) com a qual uma ponteira especificada fura o tecido da fruta ou hortaliça é calculada com a expressão:

$F = A\ p_b\ [(vi\ /\ vf\ ) - 1]$ Eq. 6

Onde ***A*** é a área da secção transversal do êmbolo de uma seringa de vidro de 10 *ml;* ***vi*** é o volume inicial ajustado em (0 *ml*); vf o volume final é marcado graças a um anel interno de plástico, que é empurrado pelo êmbolo, entre a posição inicial (***vi***) posição final (***vf***), por causa de uma ligeira fricção entre o anel e a parede interna da seringa; e $\boldsymbol{p_b}$ é a pressão barométrica local em kgf/cm^2.

No penetrômetro a gás, além da ponteira cilíndrica e do anel de marcar posição, há mais dois itens essenciais: a) a tampinha de vedação, que é preparada removendo-se a agulha com um alicate e vedando-se o orifício com cola à base de epóxi; e b) uma haste de arame com a ponta recurvada com a qual se puxa para fora da seringa o anel de marcação de posição ou de volume (***vi*** e ***vf***). Um cuidado importante com o

penetrômetro a gás consiste em molhar o êmbolo com água destilada, para assegurar a completa hermeticidade da seringa, o que é essencial para a validade da equação 6.

Como os dados de pressão barométrica, em geral, estão dados em *Pa* ou em *mm* de Hg, então para o cálculo da firmeza precisa-se, adicionalmente, levar em consideração que *1 kgf/cm*^{2} de pressão é equivalente a 735,6 mm de Hg, ou a 98066 Pa.

Os cuidados para o uso dos penetrômetros, inclusive o penetrômetro a gás aqui descrito, são:

a) Para a maioria dos usos, o tecido dermal deve ser tangencialmente removido com uma lâmina afiada antes de se fazer o ensaio de penetração;

b) Os resultados de penetração devem ser apresentados em unidades de força, por exemplo, Newton (*N*) ou quilograma força (*kgf*);

c) O valor dos resultados obtidos com o penetrômetro é de natureza comparativa. Por isso, deve-se verificar se o diâmetro e o formato da ponteira são os recomendados na literatura. Tipicamente, as ponteiras são cilíndricas, cônicas ou arredondadas. A ponteira mais usada tem sido a cilíndrica de 8 *mm*, que tem sido empregada, por exemplo, em abacate, maçã, nectarina e tomate. Ponteiras cônicas são eventualmente empregadas para avaliar a resistência da cutícula;

d) Durante as medições, deve-se tomar o cuidado de pressionar todos os frutos segurando adequadamente o penetrômetro, sempre da mesma maneira. Alternativamente, o penetrômetro pode ser afixado em uma alavanca para melhorar a consistência dos ensaios de penetração.

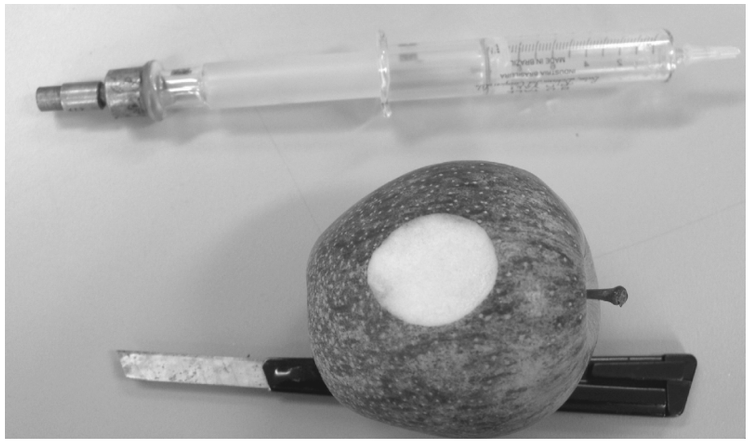


Figura 10: Foto de um penetrômetro a gás com ponteira cilíndrica de 8 mm, contendo um anel plástico de marcação interna. Um cuidado específico no uso deste penetrômetro a gás consiste em molhar o êmbolo com água destilada para assegurar a hermeticidade da seringa, o que é essencial para a validade da equação 6. Foto: Camila Fernanda Borges.

Penetrômetros portáteis vêm sendo utilizados para a avaliação da qualidade e do ponto de colheita de diversas frutas e hortaliças. No amadurecimento, tipicamente, a firmeza diminui em frutos climatéricos como o caqui, a maçã, o melão, a pêra, o pêssego e o tomate. Nestes frutos, a degradação de componentes da parede celular, principalmente da lamela média, que cimenta as células unidas em sua estrutura poliédrica, é uma importante componente da perda de firmeza, a qual os penetrômetros são sensíveis.

Cabe, no entanto, salientar que penetrômetros, tipicamente, não são úteis para avaliar a variação de firmeza causada por desidratação. Isso decorre do fato de que, em geral, a desidratação não é acompanhada do enfraquecimento da cimentação entre as células na lamela média; em vista disso, é comum observar aumento na leitura da força de penetração em produtos submetidos à desidratação. Para desidratação, por se tratar de uma componente de firmeza que depende da turgescência celular, é preferível empregar

instrumento mais apropriado, por exemplo, o aplanador desenvolvido na Embrapa Hortaliças (CALBO; NERY, 1995a) para medir pressão de turgescência, conforme será descrito a seguir.

13. Percepção tátil da firmeza

A percepção tátil da firmeza dependente da pressão de turgescência celular pode ser quantificada de acordo com a determinação desta firmeza pelo método de aplanação (CALBO; NERY, 1995a). De acordo com essa técnica, uma placa de vidro transparente é comprimida contra a superfície vegetal por uma força conhecida, o que aplaina uma pequena área do órgão sob a placa de vidro. A firmeza, ou pressão de turgescência, é então calculada com a equação 7:

$$P = F/A \qquad \text{eq. 7}$$

Onde ***F*** é a força aplicada pela placa de vidro contra o órgão, e ***A*** é a área aplainada que se mede sob a placa de vidro com auxílio de um paquímetro. A área elíptica aplainada entre o fruto e a placa de vidro é aproximadamente igual ao produto do diâmetro maior (comprimento) vezes o diâmetro menor (largura) e vezes $\pi/4$, que é aproximadamente igual a 0,785. Estes valores do comprimento e largura (Figura 11) são medidos com um paquímetro.

A pressão de turgescência ***P*** é uma medida de firmeza dependente da turgidez celular (***P***), é também denominada pressão de aplanação e de fato representa uma subestimativa da pressão de turgescência das células, tipicamente com erro menor que 10% (CALBO; NERY, 2000; CALBO; FERREIRA, 2010).

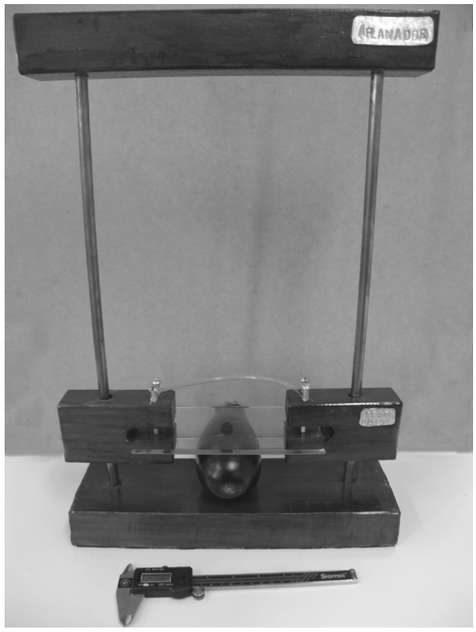


Figura 11: Foto de um aplanador com placa transparente pesando, por exemplo, 0,914 *kgf*, com o qual se estima a pressão de turgescência dos tecidos de frutas e hortaliças, dividindo-se este peso pela área amassada na superfície do órgão. A área amassada é o produto do comprimento vezes a largura da figura de amassamento multiplicada por 0,785 ($\pi/4$) (CALBO; NERY, 1995a). Foto: Camila Fernanda Borges.

14. Meia-vida pós-colheita

Este método introduzido pelo professor Wilson Roberto Maluf, da Universidade Federal de Lavras, fundamenta-se no fato de que, em frutos de tomate armazenados a temperaturas superiores a 15ºC, a firmeza medida com a técnica de aplanação diminui seguindo um padrão de decaimento exponencial (ANDRADE-JUNIOR et al., 2005) do tipo:

$$Y = B + A \exp(- t / t_{1/2}) \qquad \text{eq. 8}$$

Onde ***A*** é a firmeza inicial ($N\ m^{-2}$) dos frutos no estádio *breaker*, isto é, logo no início do amadurecimento, momento que é tomado como dia zero ($t_0 = 0$) e que, segundo o professor Wilson Maluf, é determinado em tomate com erro de ± 1 dia; ***t*** é o número de dias decorridos após o início do amadurecimento, o que vem sendo tomado como o estádio *"breaker"* na classificação de amadurecimento por padrão de cores do fruto (USDA, 1976); $t_{1/2}$ é a meia-vida da firmeza medida em dias; ***Y*** é a firmeza (*Pa*) após decorridos ***t*** dias; e ***B*** é a pressão basal, um parâmetro assintótico, que é característica da cultivar estudada, e que por simplificação Andrade-Junior et al. (2005), como aproximação, tomaram como zero. O ajuste experimental dos dados pode ser feito por um programa de ajuste de funções não lineares de crescimento como o descrito por (CALBO et al., 1989), por exemplo. Tais programas de ajuste matemático para funções não lineares, atualmente, estão se tornando cada vez mais fáceis de usar.

O conceito de meia vida de pós-colheita ainda não foi validado para outros frutos climatéricos, além do tomate. Também não foram ainda testadas outras variáveis, facilmente mensuráveis, que decaem exponencialmente com o tempo, para que a determinação da meia vida pós-colheita de frutos possa ser efetuada em outras bases. Para o tomate, a meia vida de pós-colheita tem servido para discriminar a capacidade de armazenamento entre cultivares armazenadas em ambientes definidos de armazenamento.

Atualmente as cultivares de tomate no mercado brasileiro não dispõem mais de gene marcador de amadurecimento, como ocorria, por exemplo, com a cultivar 'Kada'. Consequentemente, definir o estádio *"breaker"* de amadurecimento dificulta o uso do método conforme vem sendo empregado (ANDRADE-JUNIOR et al., 2005). Segundo o prof. Wilson Maluf, no caso de frutos de tomate, o problema é menos crítico que em outros frutos climatéricos, visto que nos trabalhos que eles têm publicado, para genótipos de tomate, observou-se que usuários experientes podem definir o inicio de amadurecimento ("breaker") com erro de 1 dia. Para outros frutos com padrão de amadurecimento, o erro na definição do início do amadurecimento seria muito maior em goiaba, manga ou abacate. O professor Wilson também relata que o gene que dá o belo padrão de amadurecimento iniciado na extremidade estilar, na atualmente pouco popular cultivar 'Kada', do grupo Santa Cruz, é o gene u+ (green shoulder).

A dificuldade para a definição do momento em que o amadurecimento de frutos climatéricos é iniciado, porém, é facilmente superável, bastando para tal que se defina o início do amadurecimento sem se preocupar, com a definição visual do início do amadurecimento. O início do amadurecimento desses frutos pode ser facilmente estimado de acordo com o momento em que começam a perder firmeza. O ajuste matemático é, então, feito apenas sobre os dados, após a perda de firmeza se tornar evidente. O tempo zero em dias se define logo que a pressão de turgescência começa a diminuir. Os dias até a pressão de turgescência começar a diminuir são denominados dias de armazenamento pré-amadurecimento. Estes dias antes de iniciar a contagem do tempo para determinar o $t_{1/2}$ e a pressão de turgescência basal (***B***), de fato devem coincidir com o que se denomina vida pré-climatérica de armazenamento, o que pode ser confirmado mediante apropriadas leituras de evolução de etileno, ou melhor, mediante a medida da concentração de etileno na atmosfera interna dos frutos.

Esse intrigante comportamento dos frutos climatéricos ainda não foi detalhadamente estudado, mas sabe-se que está relacionado com a perda da capacidade dos frutos reterem solutos no protoplasto (CALBO; MORETTI, 1995), fator que é fundamental para a manutenção da pressão de turgescência celular. Ao final do amadurecimento, as células do fruto somente são capazes de promover transporte ativo para manter a pressão basal.

15. Altura das pilhas de frutas e hortaliças

Para quantificar a tolerância ao amassamento, pode-se utilizar a pressão de turgescência celular como variável acessória. A pressão de turgescência, como foi visto, é obtida, aproximadamente, pela relação entre a força aplicada e a área de contato entre uma placa de vidro transparente com a superfície das frutas de hortaliças. Com esse dado, a altura tolerável que as pilhas de frutas e hortaliças podem ter é calculada de

maneira simples pelo método de Luengo et al. (2003). Segundo esse método, a firmeza medida por aplanação (***P***), ou pressão de turgescência, relaciona-se coma máxima altura tolerável de um produto hortícola pela expressão:

$$H = 50\ P / \rho_{AP} \qquad \text{eq. 9}$$

Onde ***P*** é a firmeza medida com a técnica de aplanação, e o peso específico ρ_{AP} pode ser tomado com valor igual à d_{AP}, isto é, a densidade aparente do produto por unidade de volume da pilha em g/cm^3, cujos valores aproximados para as principais frutas e hortaliças é citado por Luengo et al. (2003). O coeficiente 50, adimensional, decorre do fato de que Luengo et al. (2003) assumiram que uma área amassada dos órgãos, contra a área base da pilha, não deve exceder a 5%. Consequentemente, as alturas de pilhas de frutas e hortaliças que atendem a esse quesito não causam danos irreversíveis e perdas pós-colheita induzidas por amassamento. O efeito de alturas de pilhas sobre o amassamento de frutos, por enquanto, somente foi detalhadamente estudado para o tomate (PEREIRA; CALBO, 2000).

16. Altura das embalagens de frutas e hortaliças (tolerância)

A relação entre a força aplicada e a área aplainada na superfície de órgãos vegetais possibilita também estimar a altura das caixas para o acondicionamento de frutas e hortaliças (LUENGO et al., 2003), de modo a se assegurar proteção contra estresses de amassamento danosos. Para isso, utiliza-se a firmeza medida por aplanação (P), descrita no item sobre percepção tátil da firmeza. A altura tolerável das embalagens em centímetros é, então, calculada com a seguinte expressão:

$$H = 25\ P / \rho_{AP} \qquad \text{eq. 10}$$

Onde P é a firmeza medida com a técnica de aplanação, e o peso específico ρ_{AP} pode ser tomado com valor igual à d_{AP}, que é a densidade aparente do produto por unidade de volume da pilha em *g/cm3.* Os valores aproximados de d_{AP} para as principais frutas e hortaliças são apresentados por Luengo et al. (2003). O coeficiente de proporcionalidade 25, adimensional, é obtido considerando-se que, por segurança, durante o transporte, o produto embalado é submetido, na média, a acelerações de impacto e de vibração que são da ordem de duas vezes a aceleração da gravidade ($2\boldsymbol{g}$). Assim, para acondicionamento de frutas e hortaliças em embalagens, o coeficiente 25, decorre do fato de que a área amassada dos frutos (órgãos) contra a área da base da caixa não deve exceder a 5%, para proteger a carga contra danos fisiológicos de amassamento, como aqueles que foram induzidos em frutos de tomate por Pereira e Calbo (2000).

17. Pressão de turgescência das folhas

A pressão de turgescência das folhas é uma variável de qualidade muito valorizada pelos consumidores. A avaliação quantitativa da pressão de turgescência foliar pode agora ser mensurada com um novo instrumento denominado Wiltmeter®, desenvolvido na Embrapa Instrumentação, fabricado pela empresa Marconi Equipamentos para Laboratório (Figura 12). As leituras efetuadas com o Wiltmeter® correlacionam-se com as medições de pressão de turgescência celular em alface, chicória e couve (FERREIRA; CALBO, 2008; CALBO et al., 2010).

Figura 12: Instrumento Wiltmeter® para medir a pressão de turgescência celular de folhas. Foto: João Leire Palomares.

18. Limiar de firmeza para folhosas

Durante a comercialização, dependendo do ambiente de armazenamento, as folhosas como a alface, a couve e a chicória perdem água rapidamente e, em conseqüência, perdem também a pressão de turgescência e o valor comercial (SPRICIGO et al., 2009a, b, c, d; BERTINI et al., 2009). Ocorrência similar também é observada para flores. Por exemplo, para o crisântemo, Spricigo et al. (2009 a, b, c, d) observaram que a pressão de turgescência no CEASA-Campinas variou de 72 a 140 *kPa* e que a qualidade dessas flores diminui na proporção em que houve perda da pressão de turgescência das pétalas.

Medir pressão de turgescência com o Wiltmeter® é rápido e seguro, enquanto que outros métodos disponíveis para medir a perda de água, por exemplo, mediante a avaliação do seu teor relativo de água ou com o módulo de elasticidade volumétrico (CALBO; FERREIRA, 2009) são mais difíceis e envolvem análises laboratoriais e erros experimentais que não serão considerados, no momento.

Com fundamento nas medições de pressão de turgescência com o Wiltmeter®, é simples definir-se valores mínimos ou valores limiares de firmeza limiares, em *kPa,* que tecnicamente assegurem que folhas e flores apresentam o mínimo estado de hidratação para possibilitar comercialização. Por exemplo, para o estudo da qualidade da alface americana e da couve, Spricigo et al. (2009 a, b, c, d) apresentam figuras com níveis de balizamento que representam o mais alto nível típico da pressão de turgescência destes produtos no momento da colheita e o menor, tomando, como limiar mínimo de qualidade, metade daquele valor. Para a venda em supermercado o limiar inferior pode ser ainda menor, possivelmente, um terço daquele valor. Assim, para a alface americana o limiar poderia ser tomado como 50 *kPa,* e para a couve como 90 *kPa.* Definições técnicas desse tipo para diferentes folhosas e produtos minimamente processados poderão ser desenvolvidas, para o balizamento da qualidade, nos próximos anos.

19. Turgescência característica

A firmeza característica, ou pressão de turgescência característica, das frutas e hortaliças volumosas como tomate, manga, goiaba, melão, batata e cenoura, futuramente deverá ser quantificável pelos consumidores na hora da compra, no varejo. Tal nível de sofisticação esperado será com muita probabilidade atingido graças aos promissores desenvolvimentos de instrumentos de uso popular. Assim, com informação técnica tabelada e com instrumentos de grande simplicidade, as pessoas saberão, por elas mesmas, se o produto que estão adquirindo, de acordo com a espécie, a cultivar e o estádio de amadurecimento, possui as características desejáveis no momento do consumo.

Referências

ANDRADE-JÚNIOR, V. C.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; BENITES, F. R. G.; SANTOS-JÚNIOR, A. M. Produção e qualidade de frutos de tomateiros portadores de alelos mutantes de amadurecimento e coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 40, n. 6, p. 555-561, 2005.

BERTINI, V. A.; SPRICIGO, P. C.; CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Avaliação da perda de turgescência de alface crespa na pós-colheita utilizando o Wiltmeter. **Horticultura Brasileira,** Brasília, DF, v. 26, ago. 2009. Supl. 1 CD-Rom.

CALBO, A. G. Fisiologia dos danos mecânicos em frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 129-144. v. 1.

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. **Postharvest porometer to study transpiration and to measure vapor pressure deficit.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 08).

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.; TORRES, A. C. Ajuste de funções não lineares de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal,** Londrina, v. 1, n. 1, p. 9 -18, 1989.

CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. **Atmômetro de pós-colheita.** São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010. Folder.

CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Índices de hidratação: propostas e avaliações iniciais em couve. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: SBFV, 2009.

CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. A leaf lamina compression method for estimating turgor pressure. **HortScience,** Alexandria, v. 45, p. 418 - 423, 2010.

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L. Diminuição da retenção de solutos no simplasma do tomate durante o amadurecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 5., 1995, Lavras. **Anais...** Lavras: SBFV, 1995. v. 1. p. 414 – 414.

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L. **Penetrômetro a gás para a avaliação da firmeza de frutos.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/laborato/pos_colheita/penetrometro.htm>. Acesso em: 15 mar. 2002.

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Uso do equipamento 'Facili' para medição da atmosfera interna de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007a. 5 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico; 48).

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Uso do porômetro em estudos de pós-colheita de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007b. 5 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico; 52).

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Absorção e infiltração de água por raízes de batata-doce, através de ferimentos durante a lavagem. **Scientia Agrícola,** Piracicaba, n. 3, p. 547-551, 2000.

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Compression induced intercellular shaping for some geometric cellular lattices. **Brazilian Archives of Biology And Technology,** Curitiba, v. 44, p. 44-48, 2001.

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medição da firmeza em hortaliças pela técnica de aplanação. **Horticultura Brasileira, Brasília,** DF, v. 13, n. 1, p. 14-18, 1995a.

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Methods for measurement of gas volume of fruits and vegetables. **Journal of The American Society for Horticultural Science,** Alexandria, v. 120, p. 217-221, 1995b.

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Methods to measure gaseous volume in plants. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal,** Londrina, v. 6, p. 153-162, 1994.

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.; PEREIRA, A. S.; HORINO, Y. Selante para controle do amadurecimento do tomate. **Horticultura Brasileira,** Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 48, 1988. Resumo.

CALBO, A. G.; PEREIRA, A. S.; HORINO, Y. Selante para controle do amadurecimento do tomate In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 1988. Resumo… **Horticultura Brasileira,** Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 48, 1988.

CALBO, A. G.; SOMMER, N. F. Intercellular volume and resistance to air flow in fruits and vegetables. **Journal of the American Society for Horticultural Science,** Alexandria, v. 112, p. 131-134, 1987.

CAMERON, A. C. **Gas diffusion in bulky plant organs.** Davis: University of California, 1982. PhD Thesis.

CZERSKY, J. Gasometric method of volume determination of intercellular space in plant tissue. **Acta societatis botanicorum Poloniae,** Warszawa, v. 33, p. 247-262, 1964.

CZERSKY, J. Gasometric method of water defict measurement in leaves. **Biologia Plantarum,** Praha, v. 10, p. 275-283, 1968.

DEVAUX, H. Etude experimentale sur l'aeration des tissus massifs: introduction a l'étude des mecanismes des exchanges gazeux chez les plantes aeriennes. **Annales des Sciences Naturelles** (Botanique), Paris, v. 14, p. 279-395, 1891.

FERREIRA, M. D. **Colheita e Beneficiamento de frutas e Hortaliças.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008, v. 1, p. 144.

FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G. Avaliação para a incidência de danos mecânicos em frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. v. 1, p. 117-128.

GUEDES, Í. M. R. **Mudanças climáticas globais e a produção de hortaliças.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 132 p.

HENZ, G. P.; NERY, A. A.; CALBO, A. G. Controle do amadurecimento do tomate visando exportação. **Horticultura Brasileira,** Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 82, 1994. Resumo.

LACERDA, F. C. **Efeitos das acelerações e freqüências durante o transporte do figo 'roxo de Valinhos'.** 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

LAURENT, R. **Efeito de esforços vibracionais na estrutura do tecido vegetal.** 2003. 199 f. Tese Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Armazenamento de hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2001. v. 1. p. 242.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Embalagens para comercialização de hortaliças no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. v. 1. p. 256.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, Â. P. Tomato (*Lycopersicon esculentum* P. Miller) compression due to "K" wood box closing. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 34, p. 746-750, 2010.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, Â. P. Vegetable crops deformation assays for package height definition: a new approach. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 32, p. 180-185, 2008.

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, DF, v. 21, p. 704-707, 2003.

LYONS, J. M.; MACGLASSON, W. B.; PRATT, H. K. Ethylene production respiration and internal gas concentrations in cantaloupe fruits at various stages of maturity. **Plant Physiology,** Minneapolis, v. 37, p. 31-36, 1962.

MAGNESS, J. R. Composition of gases in intercellular spaces of apples and potatoes. **Botanical Gazette,** Chicago, v. 13, p. 349-357, 1922.

NERY, A. A.; CALBO, A. G. Adapting constant-volume manometry for studying gas exchange by bulky plant organs. **Journal of The American Society for Horticultural Science,** Alexandria, v. 119, p. 1222-1229, 1994.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology.** San Diego: Academic Press, 1991. 635 p.

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

SANTELLI, P. **Fisiologia pós-colheita de frutos das palmeiras *Syagrus oleracea* (Mart) Becc. e *Mauritia vinifera* Mart.** 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Botânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

SANTELLI, P.; CALBO, M. E. R.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira Syagrus oleracea (Mart.) Becc. (Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica,** Porto Alegre, v. 20, p. 523-528, 2006.

SANTELLI, P.; CALBO, M. E. R.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira Mauritia vinifera Mart. (Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica,** Porto Alegre, v. 23, p. 697-702, 2009.

SLAVIK, B. **Methods of studying plant water relations.** Prague: Czechoslovak Academy of Sciences, 1974. 449 p.

SMITH, W. H. A new method for the determination of the composition of the atmosphere of flesh plant organ. **Annals of Botany,** London, v. 11, p. 363-368, 1947.

SPRICIGO, P. C.; BERTINI, V. A.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; TAVARES, M. Avaliação da pós-colheita de alface hidropônica, em função da quantidade de raízes, utilizando o equipamento Wiltmeter. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 49., 2009, Aguas de Lindóia. **Horticultura Brasileira,** Brasília, DF, v. 27, n. 2, ago. 2009a. 1 CD-ROM.

SPRICIGO, P. C.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; GUTIERREZ, A. de S. D.; FERRARI, P. R. **A**plicação do equipamento Wiltmeter na mensuração da qualidade pós-colheita de folhosas durante a comercialização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 49., 2009, Aguas de Lindóia. **Horticultura Brasileira,** Brasília, DF, v. 27, n. 2, ago. 2009b. 1 CD-ROM.

SPRICIGO, P. C.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; TAVARES, M. Comparação do equipamento Wiltmeter com dois métodos convencionais na determinação da turgescência de hastes de crisântemos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 17., 2009, Aracaju. Campinas: Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais, 2009c.

SPRICIGO, P. C.; OLIVEIRA, S. L. de; CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Avaliação da pressão de turgescência na pós-colheita de crisântemos utilizando o Wiltmeter e aspectos de sua qualidade apontados pelos atacadistas do CEASA-Campinas**.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 17., 2009, Aracaju. Campinas: Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais, 2009d.

THODAY, M. A. On the capillary eudimetric apparatus of Bonnier and mangin for the analysis ofair in investigating the gaseous exchanges of plants. **Annals of Botany,** London, v. 27, p. 565-573, 1913.

USDA. **United States standards for grades of fresh tomatoes.** Washington, 1976. 25 p. (U.S. Dept. Agr. Mktg. Serv.; 18).

WARDLAW, C. W.; LEONARD, E. R. Studies in tropical fruits. IV. Methods in the investigation of respiration with special reference to the banana. **Annals of Botany,** London, v. 3, p. 37-42, 1939.

WEBER, J. Intercellular space enhance potato tuber elasticity. **Potato Research,** Wageningen, v. 33, p. 335-336, 1990.

Capítulo 4

Uma Abordagem Multiescala da Respiração em Frutas e Hortaliças

José Dalton Cruz Pessoa

1. Introdução

Este capítulo traz uma abordagem multiescala da respiração, começando com as reações bioquímicas e concluindo com sua dependência aos tratamentos pós-colheita em frutas e hortaliças. O texto é bastante sintético; evitou-se a complexidade das rotas bioquímicas e procurou-se apresentar os principais conceitos para a compreensão do processo. No entanto são indicadas referências que podem ajudar o leitor a aprofundar-se no assunto e, para facilitar a leitura foi adicionado um pequeno glossário no final do capítulo.

2. Processos bioquímicos

A respiração é uma forma de os organismos conseguirem energia a partir de um substrato que, por sua vez, foi obtido a partir do alimento ingerido. A energia produzida é armazenada nas moléculas de ATP, para que o organismo a utilize na síntese de metabólitos, no reparo dos tecidos, etc. É um processo composto por, pelo menos, 50 reações catabólicas catalisadas por diferentes enzimas dentro da célula, ocorrendo, portanto, em meio aquoso e pH neutro. No processo de quebra do substrato, também são fornecidas cadeias de carbono para outras rotas, responsáveis pelo metabolismo de substâncias essenciais, como aminoácidos, pigmentos, etc. Todo o processo de respiração pode ser equacionado na forma:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{energia}$$

A respiração (aeróbica) é composta por 3 processos: Glicólise, Ciclo de Krebs e Sistema de Transporte de Elétrons (STE). Quando uma hexose é oxidada na glicólise, são produzidos 2 ATP + 2 NADH, mas, como cada molécula de NADH oxidada pelo STE produz 2 ATP, o processo de glicólise fornece ao organismo 6 ATP. Os 2 piruvatos resultantes da glicólise são transportados para as mitocôndrias, onde ocorre o ciclo de Krebs para a produção de 2 ATP + 8 NADH + 2 Ubiquinol. Neste caso, a oxidação do NADH pelo STE produz 3 ATP, e a oxidação de cada ubiquinol produz 2 ATP, levando a um saldo energético de 30 ATP (2 + 3X8 + 4). Somando tudo, são gerados 36 ATP durante a respiração. Isso é muito ou é pouco? Vejamos sob outro ponto de vista: Se a hexose for uma glicose, sua completa oxidação poderia fornecer 2870kJ/mol. Considerando que a energia disponível em cada ATP é de 31,8kJ, todo o processo de respiração disponibilizou ao organismo 1140kJ (36 x 31,8) por glicose, o que representa um rendimento de apenas 40% (100 x 1140/2870). A maior parte da energia foi dissipada na forma de calor, mas o rendimento também é afetado pela perda de reagentes através das membranas e pelo custo de mover o ácido pirúvico e o ADP para dentro da matriz mitocondrial.

Mesmo essa estimativa de eficiência deve ser considerada com resguardo, pois a atividade respiratória depende do tipo de célula, da sua localização na planta, da taxa de crescimento do organismo e da temperatura.

2.1 Glicólise

A glicólise é um processo catabólico de dez reações que converte um substrato em piruvato na presença de oxigênio. Além da formação de ATP e NADH, durante o processo são gerados dez compostos intermediários, alguns dos quais importantes em outras rotas metabólicas, como o fosfato di-hidroxiacetona (DHAP) utilizado na formação de gorduras, o ácido pirúvico para a formação de etanol, entre outros.

O substrato mais comum da glicólise é a glicose, mas a célula pode usar também amidos, frutanas, sucrose e outros açúcares, além de gorduras, ácidos orgânicos e até mesmo proteínas. Todas as etapas da glicólise ocorrem no citosol, mas várias de suas reações ocorrem também no cloroplasto e em outros plastídeos. A Equação a seguir representa o processo da glicólise, mas o leitor pode consultar, em Salisbury e Ross (1992) p. 271, um diagrama do processo.

$$\text{Glicose} + 2\ NAD^+ + 2\ ADP^{2-} + 2\ H_2PO_4^- \rightarrow 2\ \text{Piruvato} + 2\ NADH + 2H^+ + 2\ ATP^{3-} + 2\ H_2O$$

Os 2 piruvatos produzidos no citosol pela glicólise são transportados à matriz mitocondrial para alimentar o Ciclo de Krebs.

2.2 Ciclo de Krebs

Enquanto a primeira etapa da respiração tem um início definido (uma hexose) e um produto definido (o piruvato), o diagrama representativo de Krebs[1] é um ciclo realimentado pela glicólise, que reduz a ubiquinona em ubiquinol, que por sua vez é oxidada novamente no STE para reutilização.

O diagrama do ciclo de Krebs pode ser consultado em Salisbury e Ross (1992) p. 275, mas uma representação mais simples do processo pode ser vista na equação a seguir:

$$2\ \text{Piruvato} + 8\ NAD^{+} + ADP^{2-} + 2\ H_2PO_4^{-} + 4\ H_2O + 2\ \text{Ubiquininona} \rightarrow 2\ \text{Ubiquinol} + 8\ NADH + 8H^{+} + 2\ ATP^{3-} + 6\ CO_2$$

que nos permite deduzir as funções primárias do Ciclo de Krebs: i) redução do NAD+ e da ubiquinona para NADH e ubiquinol (doadores de elétrons), que posteriormente serão oxidados para produção de ATP; ii) produção direta de ATP; iii) formação de cadeias de carbono que serão usadas em outras rotas para síntese de aminoácidos, e, a partir destes, em moléculas maiores.

2.3 Sistema de transporte de elétrons

As mitocôndrias contêm uma membrana externa e uma membrana interna retorcida formando cinco compartimentos: o espaço entre a membrana externa e a interna; a crista, espaço em forma de 'U' criado pelas dobras da membrana interna; a matriz, espaço circundado pela membrana interna; e o espaço dentro das membranas que são formadas por uma dupla camada fosfolipídica. O Sistema de Transporte de Elétrons ocorre em torno da membrana interna com a função de oxidar os 2 NADH produzidos na glicólise, os 8 NADH e o Ubiquinol produzidos no Ciclo de Krebs, para a obtenção dos ATP.

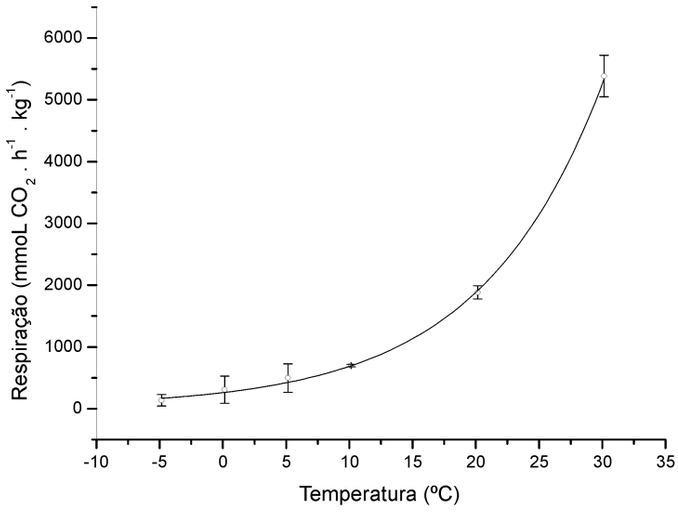
Apesar da respiração utilizar oxigênio, um bom aceptor de elétrons, nem o NADH nem o ubiquinol reagem diretamente com ela para a formação de H_2O, que só é possível graças ao complexo de reações que formam o STE.

3. A pós-colheita

Antes do tomate, da pera ou da couve serem colhidos, uma grande quantidade de energia livre foi capturada do sol, a origem de energia que permite a vida como a conhecemos na terra. A planta utiliza essa energia para seu próprio crescimento e reprodução, o que requer, entre outras coisas, a estocagem de substratos para a respiração dos hortifrútis, que continuam vivos mesmo após a colheita. Esses fluxos de energia e suas limitações são explicados pela termodinâmica, particularmente útil para se calcular a energia liberada nas reações bioquímicas (a Energia Livre de Gibbs) como as que descrevemos aqui. Em Nobel (2009), no capítulo sobre Bioenergética, por exemplo, o leitor pode observar que a energia dissipada ou aborvida em uma reação bioquímica no equilíbrio depende diretamente da temperatura.

Essa relação é observada em escala macroscópica nas medidas de respiração, como a do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea* mart.) (Figura 1). Observe que os pontos experimentais foram ajustados por uma equação de Arrhenius, também dependente da temperatura. A equação relaciona a respiração do fruto (R) (mmol CO_2 h^{-1} kg^{-1}) com a temperatura (T) (graus K) e a energia de ativação (Ea) (kJ.mol^{-1}).; 'R_0' e 'A' são constantes (mmol CO_2 h^{-1} kg^{-1}) e dependem das condições experimentais; e Rc é a constante universal dos gases (8,31 x 10^{-3} kJ mol^{-1} K^{-1}).

[1] ou ciclo do ácido cítrico



$$R = R_o + Ae^{\left(\frac{-E_a}{R_c(T+273)}\right)}$$

Equação de Arrhenius

Figura 1: Respiração do fruto do açaizeiro (Euterpe oleracea Mart) em seis temperaturas. Os pontos foram ajustados por uma equação de Arrhenius

Além da temperatura que regula a velocidade das reações, a respiração depende da disponibilidade de fósforo (KNOWLES et al., 2001) e do teor de água na planta ou no órgão (CASTELÓ et al., 2006). A concentração relativa de O_2 e CO_2 na atmosfera afeta as taxas de respiração desses gases (ANGÓS et al., 2008) e a atividade da PPO (polifenoloxidase) (EAST et al., 2009). Pelo menos em algumas espécies, o tratamento com $CaCl_2$ reduz a taxa respiratória aumentando o tempo de prateleira (BOTELHO et al., 2002).

Portanto, a respiração é um processo complexo e sensível a vários fatores. Encontrar as condições que reduzem sua intensidade é condição fundamental para dispormos de hortifrutis mais adequados ao consumo, por mais tempo.

4. Pequeno glossário

Ácido Pirúvico - CH3COCOOH
ATP - Adenosina trifosfato, formada a partir de ADP

ADP - Adenosina difosfato

Hexose - Monossacarídeo com 6 carbonos e fórmula química $C_6H_{12}O_6$. Classificada em dois grupos: aldohexose (com um aldeído na posição 1) e a ketohexose (com uma ketona na posição 2). A glicose é uma aldohexose.

NAD+ - Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo. É uma coenzima encontrada nas células.

NADH - NAD+ reduzida

Número de oxidação (uma definição simples, porém imprecisa) – é a carga que teria um átomo central se todos os demais a ele ligados por compartilhamento de elétrons fossem removidos (IUPAC, 1997).

Oxidação - é a perda de elétrons, ou seja, o aumento do número de oxidação de um átomo, molécula ou íon.

Piruvato - íon do ácido pirúvico (CH3COCOO-). É um importante elemento de conexão em diversas rotas metabólicas

Redox - reações onde o número de oxidação é alterado

Redução - é o ganho de elétrons, ou seja, o decréscimo do número de oxidação de um átomo, molécula ou íon.

Respiração anaeróbica - é bem menos eficiente que a aeróbica, gerando 2 ATP para cada molécula de glicólise.

Reações catabólicas - são reações exotérmicas de quebra de uma molécula em unidades menores

Ubiquinona - também conhecida como CoQ10 (coenzima Q10), é formada por uma 1,4-benzoquinona ligada a uma cadeia com 10 unidades de terpenos.

Ubiquinol - é a forma completamente reduzida da coenzima Q10.

Referências

ANGÓS, I.; VÍRSEDA, P.; FERNÁNDEZ, T. Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O2/CO2 atmospheres. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 48, p. 422-430, 2008.

BOTELHO, R. V.; SOUZA, N. L. de, PERES, N. A. R. Qualidade pós-colheita de goiabas 'Branca de Kumagai' tratadas com cloreto de cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Cruz das Almas, v. 24, n. 1, p. 63-67, 2002.

CASTELLÓ, M. L.; FITO, P. J.; CHIRALT, A. Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. **LWT - Food Science and Technology,** London, v. 39, p. 1171-1179, 2006.

EAST, A. R.; TREJO ARAYA, X. I.; HERTOG, M. L. A. T. M.; NICHOLSON, S. E.; MAWSON, A. J. The effect of controlled atmospheres on respiration and rate of quality change in 'Unique' feijoa fruit. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 53, p. 66–71, 2009.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology:** the gold book. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997. Disponível em: <http://goldbook.iupac.org/>. Acesso em: 06 jul. 2011. Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson.

KNOWLES, L.; TRIMBLE, M. R.; KNOWLES, N. R. Phoshorus status affects postharvest respiration, membrane permeability and lipid chemistry of European seedless cucumber fruit (Cucumis sativus L.). **Postharves Biology and Technology,** Amsterdam, v. 21, p. 179-188, 2001.

NOBEL, P. S. **Phsicochemical and environmental plant physiology.** 4th ed. Amsterdam: Elsevier, 2009.

Capítulo 5

Colheita, Beneficiamento e Classificação de Frutas e Hortaliças

Marcos David Ferreira

1. Introdução

A colheita, o beneficiamento e a classificação de frutas e hortaliças para o mercado *in natura* têm sofrido diversas modificações nos últimos anos. O mercado tem mudado com uma procura constante por qualidade, praticidade, inovações e, em especial, pela busca de um alimento seguro em relação à sanidade e contaminações patológicas. O termo "alimento seguro" pode causar controvérsia com a terminologia "segurança alimentar", mas é o mais adequado quando aplicado no sentido da obtenção de um alimento manipulado, dentro de condições higiênicas e sanitárias apropriadas; o segundo termo é utilizado para o suprimento de alimentos. A versão em inglês, *food safety,* alimento seguro, e *food security,* segurança alimentar, pode auxiliar na identificação destas diferenças. O intercâmbio, seja de pessoas ou produtos, entre países aumentou intensamente nos últimos anos, sendo corriqueiro - em diversas nações, mesmo no Brasil, com expressiva produção agropecuária - encontrar em uma refeição alimentos de diversas origens. Desta forma, uma contaminação alimentar, como a recentemente ocorrida na Alemanha, com *Escherichia coli*, pode causar prejuízos enormes, não só à economia, mas também à saúde da população – nesse caso com internações hospitalares e morte de várias pessoas. Portanto, a aplicação de Boas Práticas Agrícolas (BPA) e outras técnicas de monitoramento da qualidade são fundamentais em uma produção agrícola. Neste caso, a rastreabilidade do hortifrúti produzido é essencial para uma garantia de qualidade para o consumidor. Investimentos e pesquisas nesta área devem ser realizados com o intuito da melhoria do sistema comercial existente.

A aplicação de tecnologias para que o consumidor receba um produto padronizado, limpo, com um número mínimo de defeitos tem ocorrido, porém o processo ainda não está completo, não só em relação à sanidade, conforme mencionado, mas também quanto à aplicação de técnicas para melhorar a conservação pós-colheita do produto, por exemplo, minimizando os impactos sofridos pelos frutos. Uma das etapas a ser considerada mais crítica em relação a aplicações de tecnologia no sistema - colheita, beneficiamento, classificação e envio do produto para consumidor - é a colheita. A colheita e/ou retirada do fruto – hortaliça, seja da planta, seja do solo, ainda são feitas, em muitos casos, como há décadas atrás. Em relação a hortifrútis, se tirarmos uma fotografia em preto e branco em um campo focalizando somente a colheita, haverá dúvida quanto ao período em que esta foto ocorreu. Por se tratar de produtos que requerem muito cuidado no momento da colheita, a manual é muito demandada, porém as condições oferecidas para o colhedor, assim como os equipamentos, podem remontar a décadas atrás. No caso brasileiro, com a diminuição da mão de obra disponível para esse serviço, alterações nesse modelo são de enorme importância. Continuando com a nossa visão neste sistema, caso ampliemos este foco para o campo de produção, a diferença entre épocas é nítida; e, se compararmos os outros processos, como a classificação, esta diferença é maior ainda, pois a aplicação de tecnologias para a padronização, com a introdução de equipamentos eletrônicos com visão computacional, causaram diversas mudanças. Mas se observarmos no beneficiamento a etapa de limpeza, notaremos que o uso e a reutilização de recursos naturais são em muitas situações, complicados: aplicação excessiva de água, com baixa ou nenhuma re-utilização, muitas vezes despejando-a diretamente em córregos e rios. O presente capítulo tem como objetivo atualizar algumas informações e técnicas relativas à colheita, beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças, complementando o livro Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças, editor técnico, Marcos David Ferreira, publicado em 2008, pela Embrapa[1]. Desta forma, serão abordados, neste capítulo, os temas mencionados com informações adicionais e com enfoques diferenciados daqueles mencionados naquele livro.

2. Colheita

A colheita de frutas e hortaliças pode ser realizada em três modalidades: (1) Colheita manual; (2) Colheita auxiliada – equipamentos de auxílio e (3) colheita mecanizada (FERREIRA; MAGALHÃES,

[1] Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br.>.

2008). A colheita manual continua sendo ainda a mais comumente utilizada no Brasil e em muitos países com disponibilidade de mão de obra de baixo custo. Todavia, com as mudanças socioeconômicas e ascensão das classes sociais mais baixas a condições de ensino e estudo, esta se torna cada vez mais escassa para trabalhos manuais em condições físicas extremas, como a exposição ao sol, chuva, etc. Dessa forma, é fundamental o desenvolvimento de alternativas para a colheita manual tradicional que proporcionem melhores condições de trabalho e melhoria da eficiência do sistema.

2.1 Colheita manual

A colheita manual utiliza sensibilidades natas ao ser humano, como visão e tato, e um colhedor bem treinado pode realizar a colheita com eficiência, porém observa-se que esse treinamento nem sempre ocorre e, como esta mão de obra é sazonal, é importante que seja realizado com frequência. Verifica-se também que, além do treino para a colheita *per se*, com, por exemplo, a não colheita de frutos com defeitos, etc, também é fundamental o conhecimento das Boas Práticas Agrícolas – BPA e da manipulação do fruto, evitando-se impactos excessivos. Estudos desde meados do século XX já apontavam diferenças na qualidade de frutos na gôndola do consumidor daqueles provenientes de colhedores mais ou menos cuidadosos (MITCHELL et al., 1964). Desta forma, apesar da importância da colheita no sistema produtivo, poucas empresas preocupam-se, nesse treinamento inicial, com estes três pontos: (1) Padrão de Colheita do Produto; (2) Boas Práticas Agrícolas; (3) Impactos. Apesar do grande avanço do Brasil como fornecedor mundial de alimentos, devido a avanços tecnológicos, ainda é muito comum, em relação às principais frutas e hortaliças, observar colheitas sendo realizadas como há 30 e 40 anos atrás, sem os cuidados principais listados acima. Para algumas culturas, tal situação pode ser agravada onde se realizam a colheita e classificação concomitantemente, portanto, o treinamento é fundamental. Por exemplo, para o morango destinado ao consumo fresco, a colheita e classificação são realizadas nesta situação – simultaneamente - , porém, para uma eficiência do sistema, além do preparo prévio do colhedor para isso, é fundamental que o campo de produção esteja com boa uniformidade, pois em muito auxiliará a qualidade final deste produto. Ferreira (1994), trabalhando com alternativas para classificação de morangos no estado da Flórida, EUA, relata que morangos têm o potencial de serem classificados em linhas de beneficiamento, a despeito da sensibilidade a danos físicos, e que esta é mais relacionada à força de compressão (manuseio) do que à força do impacto (quedas). Dessa forma, alternativas podem ser geradas para melhoria do sistema, além dos treinamentos mencionados acima. Atualmente, existem no mercado diversos aparelhos e suprimentos que podem ajudar no processo de colheita, não só na melhoria da eficiência deste, tornando mais competitivo, com melhor fornecimento de condições para o produto, como também para o colhedor. As sacolas de colheita vêm sendo utilizadas para diversas culturas no Brasil há muitos anos, porém a sua qualidade, do ponto de vista de proteção ao fruto e condição física para o colhedor, ainda é muito discutível. Em geral, utilizam-se sacolas de lona, com somente uma alça, sendo que o ideal são sacolas com maior suporte para as costas do operador.

2.2 Colheita com equipamentos de auxílio – plataforma móveis

A colheita com equipamentos de auxílio à colheita – com o uso de plataforma móveis – pode ser considerada uma importante alternativa para países, como o Brasil, aonde a mão de obra torna-se cada vez mais escassa e é fundamental o fornecimento de melhores condições de trabalho. Conforme já mencionado, a colheita de frutas e hortaliças para o consumo *in natura* é predominantemente desempenhada de forma manual, sem o uso de equipamentos de auxílio. Tal fato ocorre principalmente devido à sensibilidade do produto ao manuseio e à demanda por colheitas múltiplas. Nos últimos anos, no Brasil, têm sido realizados estudos para a elaboração de equipamentos que auxiliem a colheita com o objetivo de diminuir seu tempo e os custos de produção, melhorando as condições de trabalho com menores custos sociais. Outro benefício buscado por esses equipamentos refere-se a concentrar em campo todas as etapas colheita, beneficiamento

e classificação –, com uma economia de tempo e custos operacionais. Esses estudos têm sido realizados em algumas culturas, e aqui serão abordados equipamentos para auxílio à colheita de tomate de mesa e laranja.

A colheita auxiliada para tomate de mesa é um desafio, pois ele é cultivado com tutoramento, ou seja, estaqueado ou envarado, caracterizado por colheitas múltiplas, enquanto que o tomate para o consumo industrial é cultivado sem tutoramento, em cultivo rasteiro, com colheita única (CANÇADO JÚNIOR et al., 2003). Portanto, perante essa conjuntura, foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, o projeto Unidade Móvel de Auxílio à Colheita – UNIMAC, para colheita, beneficiamento, classificação e embalagem do tomate de mesa no campo, reformulando o sistema tradicional existente desde a colheita até o consumidor final. O equipamento UNIMAC consta de uma plataforma móvel de 7,63 metros de comprimento por 3,60 metros de altura, autopropelida, a qual movimenta-se em campo realizando as operações de colheita, beneficiamento, classificação e embalagem (FERREIRA et al., 2007). O objetivo principal deste equipamento foi o de melhorar a situação atual onde o produto colhido é transportado para uma unidade de beneficiamento, promovendo redução significativa do tempo requerido para a colheita e beneficiamento, bem como o de diminuir o manuseio e com isso a incidência de impactos, além de promover colheitas múltiplas em condições ergonômicas de trabalho para os colhedores.

Para a cultura da laranja, a situação é diferenciada da mencionada anteriormente. O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo. A safra nacional de laranja em 2008 totalizou 18.538,084 toneladas (454,4 milhões de caixas de 40,8 kg), da qual São Paulo participa com 78,4% da produção (IBGE, 2009). O setor citrícola brasileiro, somente no Estado de São Paulo, gera mais de 500 mil empregos diretos e indiretos (AZEVÊDO, 2003). Cerca de 60,0% do suco que circula no mercado mundial são de origem brasileira, em particular de laranjas e demais cítricos cultivados em São Paulo (IBGE, 2009). A colheita manual para citros é atualmente a mais utilizada na totalidade das propriedades, e é comparativamente mais difícil de ser executada do que a de outros produtos, em razão da altura e arquitetura da planta, da desuniformidade de maturação e da exigência do mercado (MASCARIN, 2006). A escassez da mão de obra e as transformações econômicas sofridas pelo país levaram várias empresas, em especial do interior de São Paulo, a buscarem alternativas. Dessa forma, nos últimos anos, plataformas de auxílio à colheita têm sido testadas no interior do estado de São Paulo, verificando a possibilidade de uso alternativo para a colheita manual. O objetivo comum dos equipamentos testados é o de realizar a colheita da laranja em plataformas, de maneira ágil e proporcionando condições adequadas aos operadores.

A seguir, uma breve descrição dos dois sistemas mencionados.

Colheita do tomate de mesa com plataformas móveis

A Unidade Móvel de Auxílio à Colheita – UNIMAC (FERREIRA et al., 2007), foi desenvolvida com o intuito de permitir a realização de colheitas múltiplas, assim como uma prévia seleção do produto colhido e seu armazenamento. Em funcionamento, esse equipamento abrange 3 ruas de cultivo, com uma capacidade estimada de duas toneladas/hora de trabalho, baseando-se na produção média em campo para tomate de mesa. Para o desempenho dessas atividades, a UNIMAC é formada pelos seguintes componentes (Figuras 1 e 2):

- Plataforma móvel de 6,650 m de largura, 7,635 m de comprimento e 3,715 m de altura (Figuras 1 e 2);
- Sistema de controle direcional (1) – Controlado diretamente por um operador, esse sistema possibilita a realização de manobras em pequenos espaços e giros sobre o seu próprio eixo, pois possui sistema de direção nas 4 rodas (2);
- Módulo de fornecimento de energia (3) – Localizado na região central da máquina, que compreende um motogerador com capacidade de 25 kva para acionamento dos sistemas a serem realizados pela UNIMAC;

- Módulo de abastecimento de frutos (4) – Compreende 3 esteiras providas de taliscas, que conduzem os frutos até o módulo de beneficiamento e classificação;
- Módulo de beneficiamento e classificação (5) – Localizado na parte superior da máquina, é responsável pela seleção, lavagem, polimento e classificação dos frutos;
- Módulos de embalagem (6) – Três módulos, situados na parte frontal da máquina, com capacidade total para 60 caixas plásticas nas dimensões já especificadas;
- Compartimento para embalagens vazias (7) – Encontra-se na lateral do equipamento e é utilizado para armazenagem das caixas a serem utilizadas.

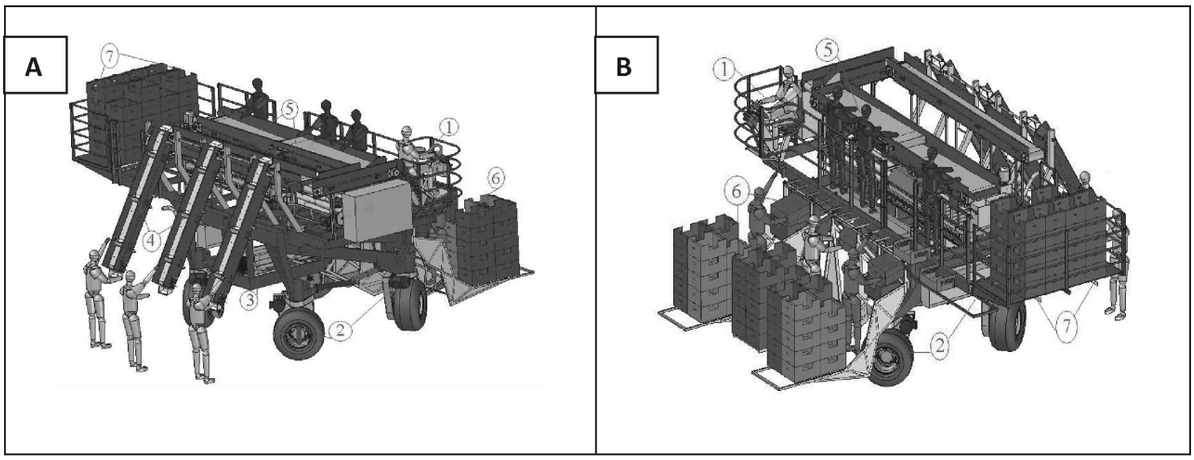


Figura 1: Vista geral do equipamento. (A) Sistema de colheita, com visão detalhada do módulo de abastecimento, incluindo três esteiras de recebimento e, neste caso, com três colhedores. (B) Vista do sistema de direção (1), (5) módulos de seleção e classificação e (6) embalagem. Total de operadores deste sistema: 10.

Figura 2: No sentido horário: visão frontal e traseira do equipamento com detalhamento das esteiras de abastecimento.

Colheita da laranja com plataformas móveis

A colheita da laranja tanto para consumo *in natura,* como para a indústria, no Brasil, é predominantemente manual, podendo ser considerada de alta complexidade, em função da altura e arquitetura da planta, da desuniformidade de maturação e das exigências do mercado consumidor (MASCARIN, 2006).

A colheita totalmente mecanizada para laranja no mercado fresco enfrenta vários desafios; entre eles, os danos ocasionados à planta e aos frutos, e a desuniformidade nos frutos colhidos. Desta forma, uma alternativa mediadora é a colheita por meio de plataformas móveis (Figura 3). Nestes equipamentos, o colhedor está mais bem posicionado ergonomicamente, podendo realizar a colheita em diferentes alturas da árvore, com menor esforço e com redução de impactos nos frutos, principalmente se comparado com a operação da derriça. No mercado já existem equipamentos comerciais, tanto nacionais como importados, em uso em lavouras no interior do estado de São Paulo.

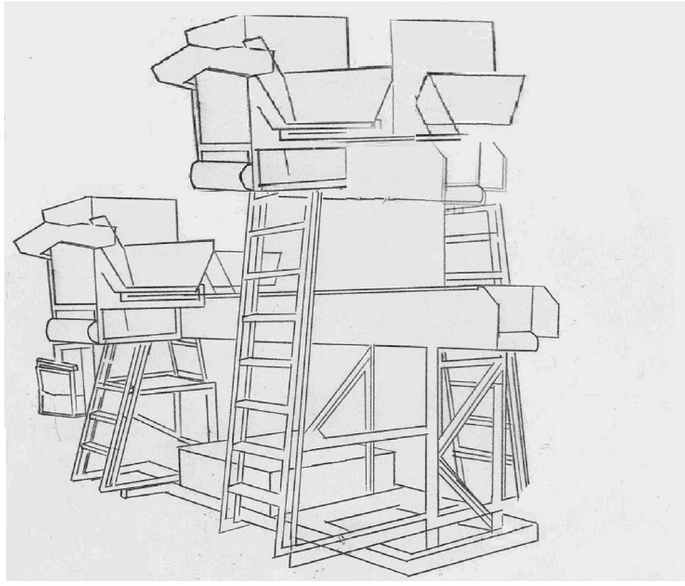


Figura 3: Modelo de plataforma móvel de auxílio à colheita, com dois níveis de altura para colheita. (Figura: Poliana Cristina Spricigo).

2.3 Colheita mecanizada

A colheita totalmente mecanizada caracteriza-se pelo baixo uso de mão de obra, sendo utilizada para produtos destinados ao processamento, como citros, tomate-indústria e morango. Apesar da redução no custo, ainda é uma alternativa não utilizada para frutas e hortaliças destinadas ao mercado fresco, pois pode proporcionar injúrias e danos físicos consideráveis ao produto, com queda na qualidade. O campo a ser colhido deve estar planejado para este tipo de colheita. Possui como vantagens a viabilização da colheita mais rápida, com melhores condições de trabalho, reduzindo os custos com mão de obra e eventuais problemas com este. Como desvantagem, é importante mencionar a possibilidade maior de causar danos físicos a frutas e hortaliças no momento da colheita (FERREIRA; MAGALHÃES, 2008).

3. Beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças

O beneficiamento de frutas e hortaliças sofreu no Brasil diversas alterações nos últimos anos com a introdução de novas máquinas de beneficiamento que permitem maior rapidez, porém muitas delas maquinários são de grande porte e custo mais elevado, não aplicáveis a pequenos e médios produtores. Outro fato importante a ser notado é que, apesar de algumas pesquisas e ações de produtores terem sido realizadas nos últimos anos para a melhoria de eficiência do sistema, em relação ao uso de recursos naturais, como a água, o problema ainda é muito sério: o seu consumo excessivo. Diversas pesquisas demonstram que, durante o beneficiamento, a quantidade de água pode ser reduzida, sem afetar a eficiência de limpeza

do processo (SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2008; DIJK et al., 2010). Ferreira (2008) estima em dez as principais etapas em um processo de beneficiamento (Figura 4). A seguir, uma breve descrição de cada etapa.

Principais etapas

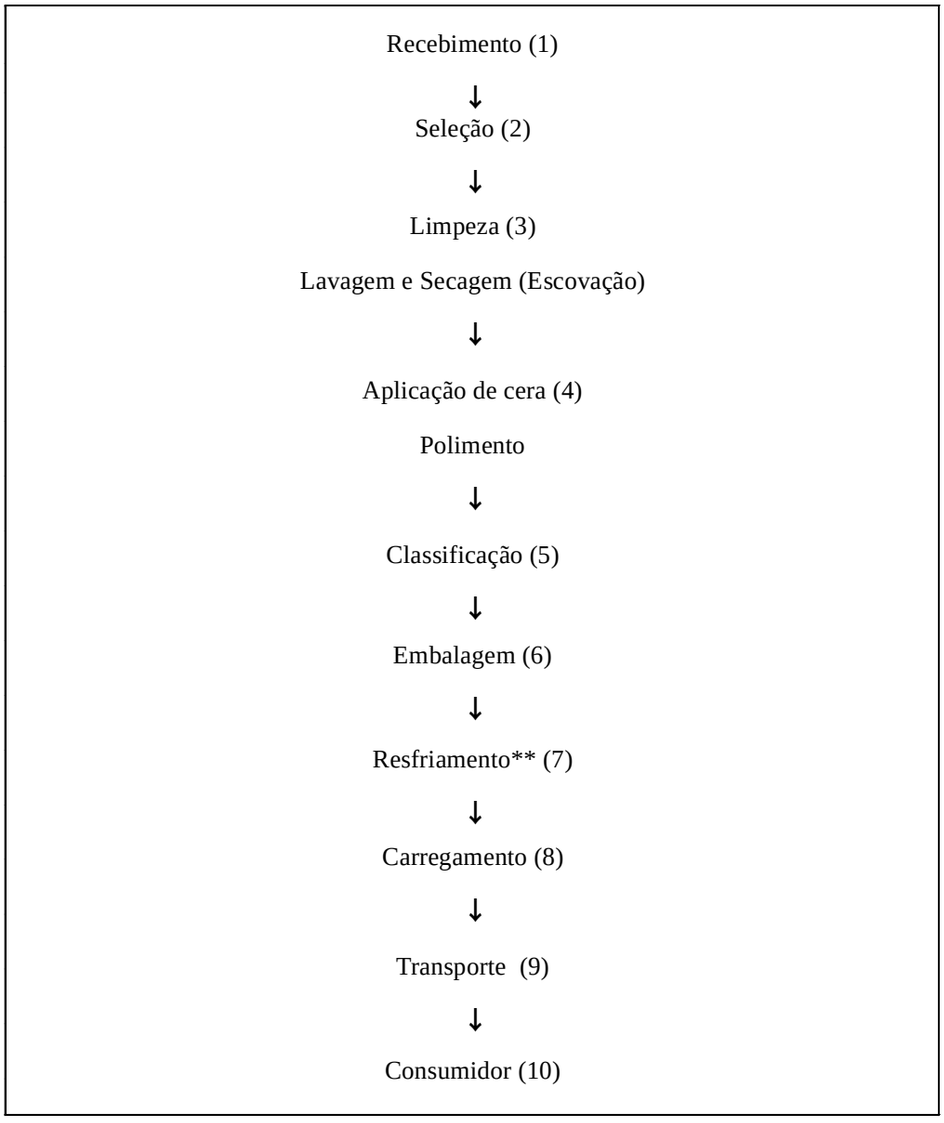


Figura 4: Fluxograma de funcionamento de um galpão de beneficiamento de frutas e hortaliças (FERREIRA, 2008).
**A etapa de resfriamento pode ocorrer antes ou depois da embalagem.

Recebimento: A etapa do recebimento é uma das mais importantes neste processo, pois é ela que fornece o ritmo do processamento, ou seja, maiores ou menores volumes ali colocados influenciarão na velocidade de entrada do produto. Nos últimos anos, tem-se observado a automação deste processo, o que auxilia na regulagem do fluxo de todo o processo. Essa etapa pode ser realizada a seco, ou em água. Na etapa realizada a seco, pode ocorrer o inconveniente de impactos, em especial, se realizada manualmente, sem nenhum tipo de controle. Por sua vez, a realizada em água pode ter o inconveniente da entrada de água no interior do produto, em especial, naqueles que possuem lóculos, como tomate e manga (FERREIRA, 2008).

Seleção: Para muitos produtos, a seleção ainda é realizada manualmente logo após o recebimento, porém, com o avanço da tecnologia por imagens, torna-se cada vez mais comum a aplicação dessa tecnologia em unidades de beneficiamento de hortifrutis. Porém, no início das linhas de beneficiamento, mesmo naquelas unidades que contam com esse sistema, ocorre, em geral, a aplicação da seleção manual para a eliminação de problemas mais grosseiros ou facilmente diagnosticáveis visualmente. Nesse caso, devem-se observar os cuidados ergonômicos com o operador, pois diversos trabalhos (BRAGA, 2007; BRAGA et al., 2008; RIBEIRO, 2007) demonstram que a fadiga visual e física, em muito, influencia na eficiência dessa etapa; também as condições de trabalho devem ser adequadas para o operador (iluminação, comprimento bancada, etc.).

Limpeza: Uma das etapas mais críticas no atual sistema de beneficiamento. Alguns produtos não aceitam contato com água após a colheita, por exemplo, a cebola e o caqui. Dessa forma, a etapa de limpeza para estes produtos é realizada somente por meio da escovação. Por sua vez, alguns produtos melhor se conservam se não molhados, mas hábitos do mercado e do consumidor acabam levando os a serem lavados, como por exemplo, a batata. No Brasil, praticamente quase a totalidade da batata comercializada é lavada, enquanto em outros países, ocorre o inverso. Este é um hábito que dificilmente será mudado, dessa forma, requer daquele setor adaptar-se a uma melhor eficiência do sistema. Para a eficiência do sistema de limpeza, considerando-se que a maioria dos produtos hortifrúti são lavados, importante considerar a interação entre os seguintes fatores: (1) rotação das escovas (e tipo de cerdas destas escovas) vs (2)quantidade-pressão da água vs (3) superfície do produto (casca, etc) vs (4) tempo de exposição vs (5) tipo de sujeira. Outro fator importante a ser considerado é a qualidade da água e, consequentemente, também outro não mencionado – a contaminação microbiológica – que neste momento não serão analisados.

(1) Rotação das escovas (e tipo de cerdas)

A variação encontrada na velocidade de rotação para diversas unidades de beneficiamento pode ser grande para diversos produtos. As recomendações para a velocidade de rotação variam muito de acordo com o produto a ser lavado, tipo de sujeira, etc. Magalhães (2007) cita que a rotação 120 rpm foi considerada a mais indicada para a etapa de limpeza. Um importante fator de interação é o tipo de cerda a ser aplicado.

> As cerdas podem ser de origem animal, vegetal, ou sintética e possuir flexibilidades diferentes. 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 variam de acordo com a espécie, cultivar, estádio de maturação, e com o equipamento utilizado (FERREIRA, 2008).

A interação tipo de cerda e rotação é um fator fundamental na eficiência da limpeza. Diversos estudos demonstram que altas rotações em cerdas menos flexíveis provocam o deslocamento em saltos do fruto ou hortaliça, sem interação com as cerdas, e a consequente queda na eficiência de limpeza do produto (MAGALHÃES, 2007). Outro ponto importante, que não é muitas vezes levado em consideração, refere-se à integridade da cerda. Escovas, após uso intensivo, apresentam cerdas danificadas, que não irão realizar com precisão o contato com o fruto, influenciando a eficiência da limpeza.

(2) Quantidade-pressão da água

Ocorre certa ilusão que quantidades de água em excesso melhoram a eficiência da eficiência de limpeza. Diversos estudos demonstram que quantidades de água menores, em alta pressão podem causar uma maior eficiência de limpeza, que altos volumes em baixa pressão. Para tanto, o uso de bicos tipo spray são recomendáveis. O uso de bicos de *spray* pode proporcionar uma economia na quantidade de água aplicada superior a 90% (SILVA et al., 2006) e também aumentar a eficiência do sistema de limpeza (SILVA et al., 2008).

(3) Superfície do produto (casca, etc)

Em superfícies lisas, como casca de tomate, adere bem menos sujeira, que em superfícies rugosas, como algumas cultivares de laranja, ou mesmo como tubérculos de batata. Desta forma, o tipo de produto a ser lavado deve ser levado em consideração.

(4) Tempo de exposição

O tempo de exposição pode variar em função do tamanho do fruto (FRANCO et al., 2004), tipo de escova, jato de água, tipo de sujeira, etc. Desta forma, não é possível recomendar um valor exato.

(5) Tipo de sujeira

O tipo de sujeira e em especial, no caso de tubérculos e raízes, o tipo de solo, seja ele arenoso ou argiloso, irá em muito influenciar o tipo de lavagem a ser realizada. Para solos de maior aderência, como os argilosos, deve-se utilizar maior pressão de água, do que para os arenosos. Muitas vezes, isso não é levado em conta, apesar de ser um item importante na economia de recursos no processo de lavagem (DIJK et al., 2010).

Aplicação de cera e polimento: A aplicação de cera é mais utilizada para cítricas, tanto para o mercado interno, como para o externo (FERREIRA, 2008). Todavia, tem se observado o aumento deste uso para outros produtos, em especial tomate (CHIUMARELLI; FERREIRA, 2007).

Classificação: A classificação de frutas e hortaliças pode ser realizada manualmente ou por meio de equipamentos, sendo esta última cada vez mais comum no país. A classificação por equipamentos pode ser dividida em dois principais tipos de sistemas: mecânico e eletrônico. Existem vários princípios mecânicos de classificação. Os equipamentos (5) mais comuns utilizados na classificação de frutas e hortaliças (FERREIRA; FERRARI, 2007; ATARASSI, 2008; FERRARI, 2006; PELEG, 1985) são apresentados a seguir: (1) Correia de Lona Furada. (2) Rolete Longitudinal. (3) Rolete Transversal. (4) Taça ou Bandeja. (5) Esteira de Grades. Os equipamentos com sistema eletrônico mais utilizados classificam por diâmetro, peso, cor e eliminação de defeitos. Neste livro consta um capítulo com uma descrição detalhada de um sistema eletrônico de classificação por imagem. A eficiência do sistema de classificação deve ser aferida; infelizmente não é prática comum, porém existem metodologias de fácil aplicação que podem ser utilizadas, em especial em modelos experimentais de avaliação (ATARASSI, 2008; ATARASSI et al., 2010). Para que o sistema obtenha uma boa eficiência de classificação por tamanho, é preciso que o fruto gire em torno de seu eixo longitudinal. Assim, a classificação será feita pelo diâmetro equatorial do fruto, que passará

através da abertura entre os cilindros. Caso contrário, a classificação será feita de acordo com uma dimensão aleatória, provocando a classificação pela altura e reduzindo a eficiência do sistema (Figura 5). Alterações podem ocorrer utilizando-se variações na força aplicada, como descrito por Atarassi (2008): a aplicação de uma força externa provoca o alinhamento perpendicular ao diâmetro do fruto, melhorando a eficiência de classificação (Figura 6).

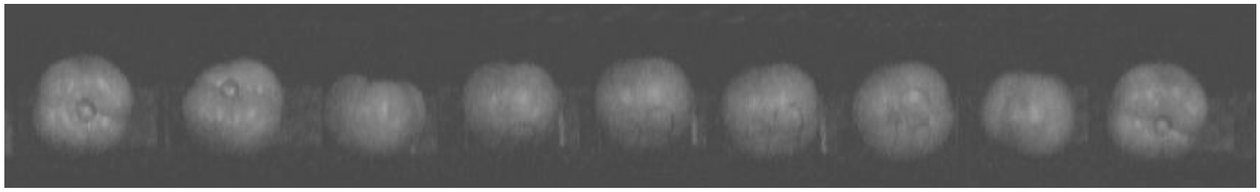


Figura 5: Exemplo de movimentação de um tomate em torno do seu eixo equatorial (Adaptado de ATARASSI, 2008).

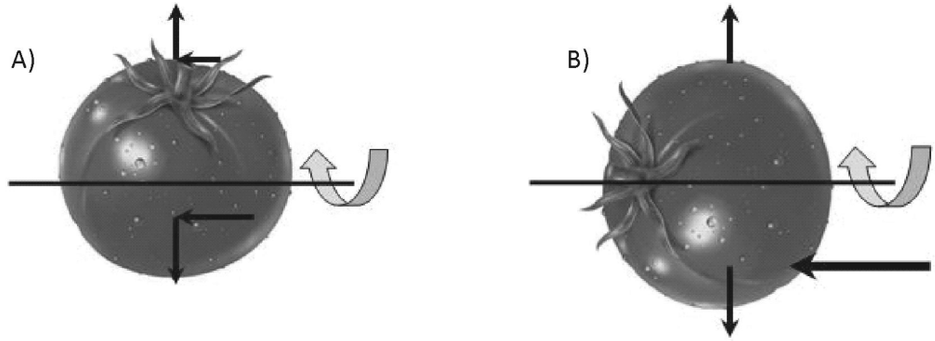


Figura 6: Exemplo de atuação de uma força externa provocando o alinhamento perpendicular ao diâmetro do fruto (A) sem força externa; (B) com força externa. (Adaptado de ATARASSI, 2008).

Embalagem; Resfriamento; Carregamento; Transporte: Estas quatro etapas são de grande importância para o sistema, e para cada uma poderia ser escrito um capítulo específico, em separado. As embalagens para frutas e hortaliças têm sido modificadas ao longo dos últimos anos, com a substituição das caixas de madeira por embalagens plásticas e de papelão. O resfriamento é fundamental na manutenção da qualidade do produto. Diversos tipos e modalidades de resfriamento podem ser aplicados, cada um com uma tecnologia específica (CORTEZ et al., 2002). A distribuição interna na unidade de beneficiamento e principalmente a logística de distribuição externa têm se mostrado como desafios visando a economia de recursos e a eficiência do processo.

Consumidor: Mudanças de hábito do consumidor e também a importância dos atributos na valoração do produto (OLIVEIRA, 2011), estão relacionadas a diversas percepções do consumidor.

Um modelo de equipamento, com módulos de beneficiamento e classificação, com as principais etapas, utilizado para demonstração e experimentação é demonstrado na Figura 7.

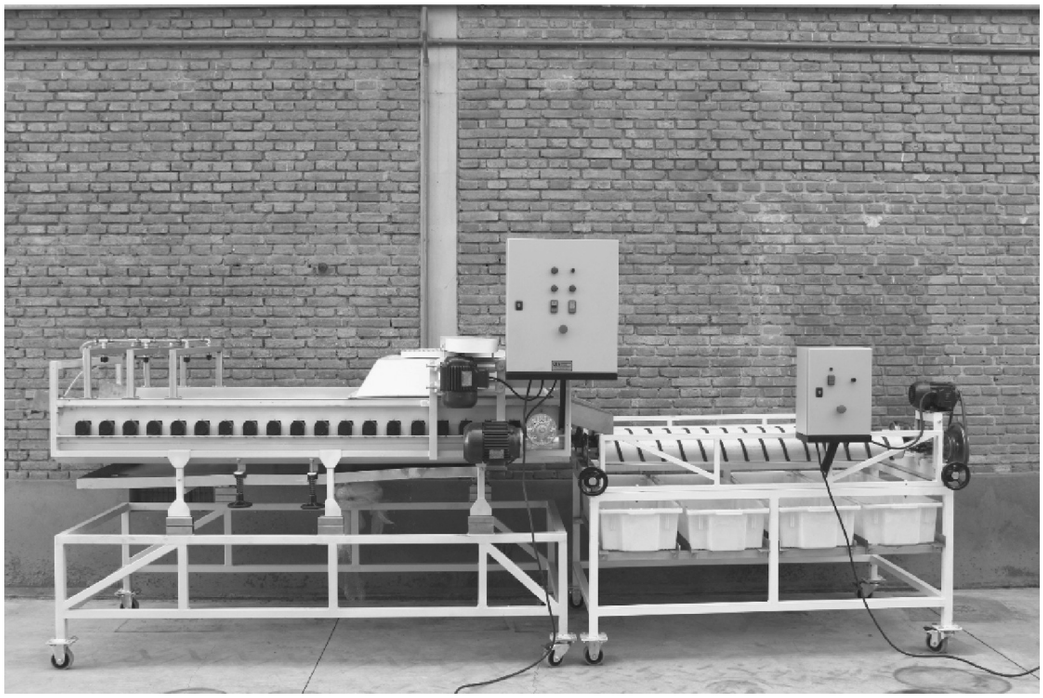


Figura 7: Vista lateral de equipamento de beneficiamento e classificação utilizado como modelo de ensaios na Embrapa Instrumentação (Foto: Pedro Campaner Hernandes).

4. Avaliação de impactos na colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças

Lacerda (2004) relata que os acelerômetros são dispositivos capazes de medir choques, vibrações, deslocamentos, velocidade, aceleração e inclinação de um corpo. Os acelerômetros estão disponíveis em uma variedade muito grande de tipos, para diferentes aplicações. Henao Roa (2009) descreve que os acelerômetros são constituídos basicamente de um sistema massa-mola. Quando esse sistema é submetido a uma aceleração, surge uma força que tende a deslocar a massa de seu ponto de equilíbrio. Essa massa será deslocada até que a força gerada pela aceleração seja igual à força de restituição da mola.

Bollen (2006) faz uma vasta revisão dos métodos e equipamentos a serem utilizados para mensuração de impactos na pós-colheita, e menciona os acelerômetros em diversas formas e aplicações, porém estes, ou possuem somente a aquisição de dados e não de temperatura, ou não possuem transmissão imediata e somente armazenam dados ou mensuram forças de alto impacto (quedas), mas não as de baixo impacto (vibração), portanto com limitação de uso. O equipamento mais utilizado para mensuração da magnitude de alto impacto em frutas e hortaliças é a esfera instrumentada (70 mm)[2], com registrador de aceleração, para a avaliação da magnitude de impactos (G, m/s²) nos pontos de transferência das linhas de beneficiamento (Figura 8). A esfera instrumentada vem sendo utilizada em avaliações de linhas de beneficiamento de batatas (FERREIRA; NETTO, 2007; HYDE et al., 1992), cebola (BAJEMA; HYDE, 1995), laranjas (FISCHER et al., 2009; FERREIRA et al., 2006; MILLER; WAGNER, 1991), maçãs (BROWN et al., 1990), tomate (FERREIRA et al., 2005; FERREIRA et al., 2009; SARGENT et al., 1992) e caqui (VALENTINI et al., 2009).

2 Techmark, Inc., Lansing, EUA.

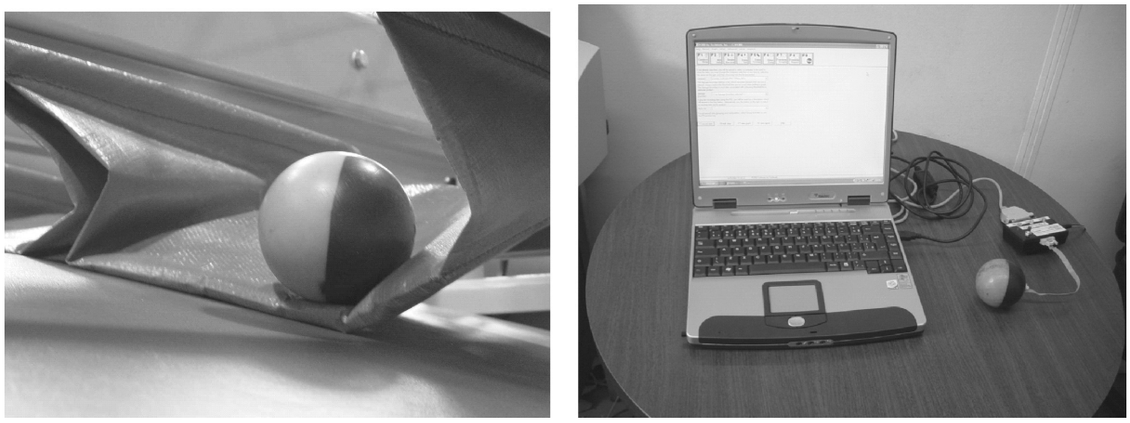


Figura 8: Esfera instrumentada utilizada para mensuração de impactos em linhas de beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças (Foto: Marcos David Ferreira).

Para mensurações de baixo impacto (vibração), os equipamentos comumente em uso não possuem capacidade para armazenamento, e muitas vezes necessitam de uma estrutura complexa para armazenamento de dados (BOLLEN, 2006). Lacerda e Ferraz (2007) relatam que, para monitoramento da incidência de impactos em figo roxo durante transporte, houve a necessidade de utilização de acelerômetros triaxiais, condicionador de sinais tipo spider e computador acoplado. Por sua vez, Henao Roa (2009) descreve o desenvolvimento de protótipo eletrônico de baixo custo, baseado no uso de sensores microeletromecânicos (MEMs - Microelectromechanical Systems) de aceleração e rotação aplicados ao monitoramento de atividades físicas em esportistas durante o treinamento de maneira não invasiva, como uma ferramenta portátil. O sistema envia as informações dos sensores via Rádio Frequência (RF) para serem processadas no computador por meio de uma programa de interface intuitivo e de fácil operação desenvolvido no LabView. Essa interface apresenta os dados em forma de gráficos em tempo real. Adicionalmente a esse trabalho, Nicolau (2009) desenvolveu uma esfera instrumentada, a seguir descrita, com maior amplitude de uso, mensurando baixos e altos impactos, de baixo custo e aplicável tanto na colheita, como no transporte, beneficiamento e recebimento pelo consumidor. A este equipamento adicionam-se a mensuração de temperatura e a localização via GPS.

Fruta eletrônica

Nicolau (2009) desenvolveu uma esfera instrumentada com maior amplitude de uso, mensurando baixos e altos impactos, de baixo custo e aplicável tanto na colheita, como no transporte, beneficiamento e recebimento no consumidor e também medindo a temperatura (Figura 9).

Seguindo-se a vasta revisão feita por Bollen (2006), existem inúmeros equipamentos aptos para serem utilizados para mensuração de impactos na pós-colheita. Mencionam-se os acelerômetros em diversas formas e aplicações, porém estes, ou possuem somente a aquisição de dados e não de temperatura, ou não possuem transmissão imediata e somente armazenam dados ou mensuram forças de alto impacto (quedas), mas não as de baixo impacto (vibração), portanto com limitação de uso. O equipamento em questão oferece inúmeras vantagens, destacando-se a precisão e a rapidez de obtenção dos resultados. Trata-se de uma esfera de plástico rígido, contendo, em seu interior, um sensor de impactos e um microprocessador, que registra o momento de ocorrência, a intensidade e a duração dos impactos durante todo o percurso na linha de beneficiamento e classificação.

Figura 9: Fruta Eletrônica (Protótipo): dotada de acelerômetros triaxiais para medir e armazenar dados de impactos, e de um sensor de temperatura (NICOLAU, 2009).

5. Conclusão

A colheita, beneficiamento e classificação de frutas e hortaliças são processos dinâmicos que constantemente passam por modificações e atualizações. Desta forma, o objetivo deste capítulo foi o de descrever os principais itens deste sistema, indicando possíveis melhorias e alterações.

Referências

ATARASSI, M. E. **Avaliação do desempenho de classificadora de cilindros divergentes em várias configurações para tomate "Carmen".** 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2008.

ATARASSI, M. E.; FERREIRA, M. D.; BRAUNBECK, O. A.; MORETTI, C. L. Avaliação de classificadora de cilindros divergentes para tomate 'Carmen'. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 334-345, 2010.

AZEVEDO, C. L. L. **Sistema de produção de citros para o nordeste.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de produção; 16). Disponível em: < http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNordeste/importancia.htm > Acesso em: 11 ago. 2010.

BAJEMA, R. W.; HYDE, G. M. Packing line bruise evaluation for Walla Walla Summer sweet onions. **Transactions of the ASAE,** St Joseph, v. 38, p. 1167-1171, 1995.

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, 2007.

BRAGA, C. O.; RIBEIRO, I. A. V.; MARTINS, M. A.; ABRAHÃO, R. F.; TERESO, M. J. A. Aspectos ergonômicos e de segurança laboral em unidades de beneficiamento de frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. (Org.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 89-105.

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.

BROWN, G. K.; SCHULTE PASON, N. L.; TIMM, E. J.; BURTON, C. L.; MARSHALL, D. E. Apple packing line impact damage reduction. **Applied Engineering in Agriculture,** St. Joseph, v. 6, n. 6, p. 759-764, 1990.

CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M. D. Conservação pós-colheita de tomate de mesa com utilização de ceras comestíveis. **Revista Brasileira de Armazenamento,** Viçosa, v. 32, n. 1, p. 23-28, 2007.

CANÇADO JÚNIOR, F. L.; CAMARGO FILHO, W. P.; ESTANISLAU, M. L. L.; PAIVA, B. M; MAZZEI, A. R.; ALVES, H. S. Tomate para mesa. **Informe agropecuário,** Belo Horizonte, v. 24, n. 219, p. 7-18, 2003.

CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; NEVES FILHO, L. C.; MORETTI, C. L. Importância do resfriamento para frutas e hortaliças no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. (Ed.). **Resfriamento de frutas e hortaliças.** Campinas: UNICAMP/EMBRAPA, 2002. p. 17-35.

DIJK, R. van; SILVA, M. D.; FERREIRA, M. D. Melhoria da eficiência de limpeza para batata de mesa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 39; CONGRESSO LATINOAMERICANO E DO CARIBE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CLIA, 9., 2010, Vitória, ES. **Anais...** Jaboticabal, SP: SBEA, 2010. v. 1. p. 1-4.

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

FERREIRA, M. D. Beneficiamento de frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. (Org.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 47-59.

FERREIRA, M. D.; BRAUNBECK, O. A.; SANCHEZ, A. C. Unidade Móvel de Auxílio à Colheita (UNIMAC) para tomate de mesa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Jaboticabal, SP: SBEA, 2007. v. 1. p. 1-4.

FERREIRA, M. D.; MAGALHÃES, P. G. Colheita. In: FERREIRA, M. D. (Org.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 13-22.

FERREIRA, M. D.; FERRARI, P. R. Qualidade da classificação do tomate de mesa em unidades de beneficiamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 579-586, 2007.

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, 1994.

FERREIRA, M. D.; FERRAZ, A. C. O.; FRANCO, A. T. O. Tomato packing lines studies with an instrumented sphere in Brazil. **Acta Horticulturae,** Leuven, v. 3, p. 1753-1755, 2005.

FERREIRA, M. D.; CAMARGO, G. G. de T.; ANDREUCCETTI, C.; MORETTI, C. L. Determinação em tempo real da magnitude de danos físicos por impacto em linhas de beneficiamento e em condições de laboratório e seus efeitos na qualidade de tomate. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 630-641, 2009.

FERREIRA, M. D.; NETTO, L. H. Avaliação de processos nas linhas de beneficiamento e classificação de

641, 2009.

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

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, v. 28, n. 3, p. 523-525, 2006.

FISCHER, I. H.; FERREIRA, M. D.; SPÓSITO, M. B.; AMORIM, L. Citrus postharvest diseases and injuries related to impact on packing lines. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 210-217, 2009.

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 - CONBEA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD-ROM.

HENAO ROA, Y. H. **Desenvolvimento de um sistema microcontrolado para monitoramento de atividades esportivas baseado em sensores microeletromecânicos de aceleração e giro.** 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Unicamp, Campinas, SP, 2009.

HYDE, G. M.; BROWN, G. K.; TIMM, E. J.; ZHANG, W. Instrumented sphere evaluation of potato packing line impacts. **Transactions of the ASAE,** St. Joseph, v. 35, n. 1, p. 65-69, 1992.

IBGE. **Valor da produção da agricultura cresce 27,3% de 2007 para 2008.** (Comunicação Social 16 out. 2009). Disponível em: <http://www.ibge. gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1479&id_pagina=1>. Acesso em: jun. 2011.

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

LACERDA, F. C. E**feitos das acelerações e freqüências durante o transporte do figo roxo de Valinhos.** 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Unicamp, Campinas, SP, 2004.

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, 2007.

MASCARIN, L. S. **Caracterização de sistemas de colheita e desenvolvimento de técnica para a obtenção de mapas de produtividade para citros.** 2006. 78 f. Dissertação (Mestre em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP, Piracicaba, 2006.

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

MITCHELL, F. G.; MAXIE, E. C.;GREATHE, A. S. **Handling strawberries for fresh market.** 1964. 16 f. University of Califórnia, Davis, 1964.

NICOLAU, M. **Esfera instrumentada de baixo custo para monitoramento de impactos e temperatura**

durante processos pós-colheita. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Unicamp, Campinas, 2009.

OLIVEIRA, S. L. **Valoração dos atributos de qualidade do tomate de mesa:** um estudo com atacadistas da CEAGESP. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Unicamp, Campinas, 2011.

PELEG, K. **Produce handling, packaging, and distribution.** Westport: The AVI Publ. Comp., 1985. 625 p.

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, 2007.

SARGENT, S. A.; BRECHT, J. K.; ZOELLNER, J. J. Instrumented sphere impact analysis of tomato and bell pepper packing lines. **Applied Engineering in Agriculture,** St. Joseph, v. 8, n. 1, p. 76-83, 1992.

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, v. 28, n. 4, p. p. 750-758, 2008.

VALENTINI, S. R. de T.; FERREIRA, M. D.; ATARASSI, M. E.; BENATO, E. A. Avaliação de linhas de beneficiamento e impactos de queda na qualidade de caqui "Rama Forte". **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 29, n. 4. p. 642-655, 2009.

Capítulo 6

Colheita Mecânica de Citros

Helton Carlos de Leão
Diogo Ferrari

1. Introdução

O Brasil já conseguiu uma boa eficiência na cadeia citrícola. Desde a produção de mudas com viveiros certificados, plantio, cultivo, produção do suco de laranja até a distribuição internacional em sistemas integrados a granel com caminhões-tanques, terminais portuários e navios dedicados que levam ao consumidor europeu, norte-americano e asiático produtos citrícolas com dezenas de especificações e *blends* para as mais variadas aplicações com uma excelência inigualável.

O PIB do setor citrícola é de US$ 6,5 bilhões (2009), sendo US$ 4,39 bilhões no mercado interno e US$ 2,15 bilhões no mercado externo.

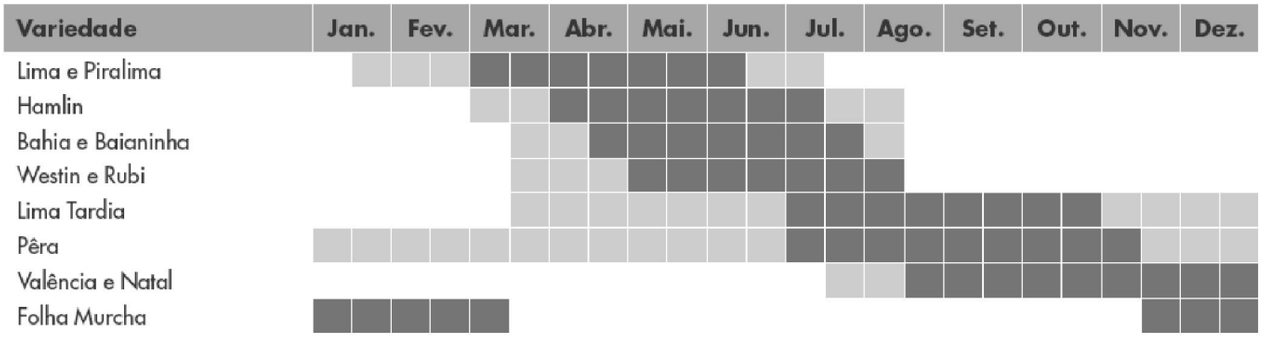
A citricultura gera, entre empregos diretos e indiretos, um contingente de 230 mil posições, e uma massa salarial anual de R$ 676 milhões. A cadeia arrecada US$ 189 milhões em impostos para o Estado brasileiro.

Dentro do gasto operacional de produção dos pomares da indústria, os custos da mão de obra tem sido crescentes, e isso, ocasiona impacto direto no custo final da caixa de laranja produzida, principalmente na operação de colheita, que no Brasil é realizada manualmente. Isso tem incentivado a busca por soluções que melhorem a eficiência da operação de colheita e, consequentemente, auxiliem na redução dos gastos dessa operação, que, em algumas propriedades agrícolas, junto com o frete, representa cerca de 50% dos custos totais da produção (FIGUEIREDO, 2008).

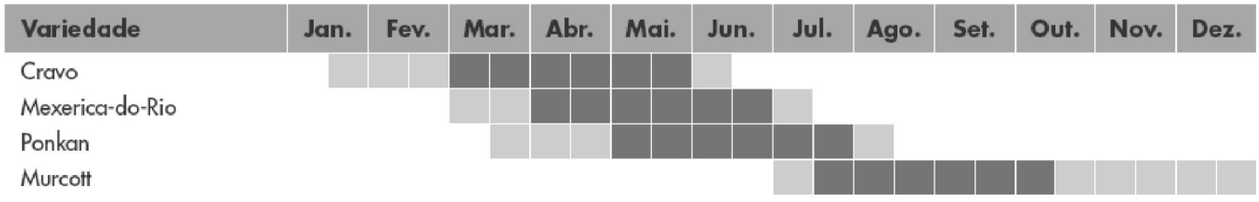
2. Épocas de colheita

As variedades comerciais apresentam diferentes ciclos de produção e, portanto, o ciclo de colheita dos pomares comerciais se estendem durante vários meses do ano. Na Tabela 1, constam quadros com a época de colheita das principais variedades cítricas no Brasil (DONADIO et al., 1995) (FIGUEIREDO, 1991).

Tabela 1: Época de colheita das principais variedades cítricas distribuídas no período de um ano.



[a] Hachurado escuro representa épocas principais de colheita; hachurado claro, épocas de colheitas menores. Informações referem a pomares não irrigados e situados nas condições médias de clima do planalto paulista



[a] Hachurado escuro representa épocas principais de colheita; hachurado claro, as épocas de colheitas menores. Informações referem a pomares não irrigados e situados nas condições médias de clima do planalto paulista

continua...

Variedade	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Siciliano												
Galego												
Tahiti												

[a] Hachurado escuro representa épocas principais de colheita; hachurado claro, as épocas de colheitas menores. Informações referem a pomares não irrigados e situados nas condições médias de clima do planalto paulista

Variedade	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Marsh Seedless												

[a] Hachurado escuro representa épocas principais de colheita; hachurado claro, as épocas de colheitas menores. Informações referem a pomares não irrigados e situados nas condições médias de clima do planalto paulista

Fonte: Mattos Junior et al. (2005).

3. 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), colhendo de forma selecionada os frutos aptos ao consumo com baixo nível de injúrias aos frutos e plantas. 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 à oferta de mão de obra.

Na colheita manual encontramos uma grande variedade na forma de colher os frutos, podendo ocorrer com o uso de escada (posição frontal ou de costas) (Figura 1), por meio da derriça e colheita em grupo com variações entre escada e derriça.

Figura 1: Colheita manual com o uso de escadas.

Neste tipo de colheita, temos verificado que itens como a baixa disponibilidade de mão de obra, redução na produtividade do colhedor e variações na taxa de câmbio têm ocasionado um aumento gradativo do custo da caixa colhida (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

4. Colheita mecanizada

4.1 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 plataformas 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, além de aumentar a segurança do trabalhador. 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 (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

4.2 Colheita mecânica

A adoção da colheita mecanizada caracteriza-se pelo baixo uso de mão de obra, situação em que a máquina desenvolve todas as atividades relativas à colheita.

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.

Em trabalhos de avaliação de logística, a simulação de colheita 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. Com base nisso, demonstra-se 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 (RIGOLIN; TERSI, 2005).

5. Avaliações dos equipamentos de colheita mecânica

5.1. Protocolo de avaliação

A avaliação técnica foi realizada adotando como base um protocolo exclusivo, elaborado com recomendações de pesquisadores da Embrapa Instrumentação, equipe técnica de produtores e fabricantes de equipamentos. Esse protocolo contemplou a avaliação dos rendimentos de colheita com registros de tempos; volume colhido e pessoal envolvido e também a avaliação da carga microbiológica das frutas colhidas.

5.2 Avaliação dos impactos sofridos pela fruta

Além disso, foi realizada, em parceria com a Embrapa Instrumentação, sob coordenação do Dr. Marcos David Ferreira, a avaliação dos impactos sofridos pela fruta durante o processo de colheita e transporte para os *bins*, sendo feita a mensuração da magnitude de impacto e danos mecânicos na pós-colheita em campo com o uso de uma esfera instrumentada, que consiste em um equipamento com envoltório plástico contendo um acelerômetro triaxial, utilizado como sensor de impacto. Essa esfera possui um registrador de aceleração e os dados armazenados nela são transferidos e analisados em computador, sendo possível a avaliação da magnitude dos impactos a que os frutos foram submetidos (FERREIRA et al., 2005), (FERREIRA et al., 2006), (MILLER; WAGNER, 1991), (MILLER; WHITNEY, 1998).

5.3 Avaliação ergonômica dos trabalhos de colheita manual vs. colheita com máquina

A atividade da colheita manual e semimecanizada foi avaliada nas implicações à saúde do trabalhador e na produtividade., tendo como objetivos específicos: a) verificar a capacidade e esforço dos operadores na colheita manual; b) comparar a eficiência produtiva entre o método de colheita manual utilizado pela empresa e a colheita mecanizada em uso; c) propor o desenvolvimento de dispositivos facilitadores para a colheita manual e semimecanizada; d) propor melhorias no processo de segurança dos colhedores (CAMAROTO; COSTA, 2010).

6. Conclusões

Os equipamentos de colheita são uma alternativa para melhorar a performance desta etapa e, conseqüentemente, reduzir os custos finais da operação. Além disso, permitem obter melhorias na qualidade final do produto, com a redução da carga microbiológica e do índice de impactos sofridos pela fruta na cadeia. Podem auxiliar no planejamento da colheita, bem como auxiliar na uniformização dos volumes colhidos, uma vez que os rendimentos diários sofrem menor oscilação quando comparados com os rendimentos da colheita manual. Um fator que se mostrou interessante nos equipamentos de auxílio foi a redução do esforço físico do colhedor, redução dos riscos de acidente e consequente melhoria na sua condição de trabalho.

As colhedoras automotrizes são de alto rendimento, porém possuem o inconveniente de não selecionar o fruto derriçado, o que limita a sua atuação aos grupos de variedades precoces que geralmente possuem safra de florada única.

Vale mencionar que essa busca junto aos produtores, universidades, institutos de pesquisa e fabricantes dos equipamentos tem proporcionado uma rápida evolução dos equipamentos existentes e certamente, em curto espaço de tempo, teremos parte da colheita de citros no Brasil realizada com algum tipo de equipamento.

Referências

CAMAROTO, J. A.; COSTA, S. E. A. **Estudo dos processos mecanizado e manual de colheita de citros.** Grupo Ergo&Ação. São Carlos: UFSCar, Departamento de Engenharia de Produção, 2010.

DONADIO, L. C.; FIGUEIREDO, J. O.; PIO, R. M. **Variedades cítricas brasileiras.** Jaboticabal: Funep, 1995. 228 p.

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, 2006.

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

FIGUEIREDO, J. O. Variedades copas. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). **Citricultura brasileira.** 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 228-257.

FIGUEIREDO, M. G. **Retorno econômico dos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na citricultura paulista.** 2008. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura ”Luiz de Queiroz,” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MATTOS JUNIOR, D. de.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros.** Campinas: IAC: Fundag, 2005. 929 p.

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.

MILLER, W. M.; WHITNEY, J. D. Development of yield monitoring systems for Florida citrus. ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1998, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1998. 12 p. (Paper, 981098).

RIGOLIN, A. T.; TERSI, F. E. A. Mecanização em citros. In: MATTOS JUNIOR, D. de.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros.** Campinas: IAC: Fundag, 2005. p. 430-447.

Capítulo 7

Uso de Sistemas de Imagem para Classificação de Frutas e Hortaliças

Lúcio André de Castro Jorge
Danilo Scavacini Gonçalves
Pedro Ivo de Castro Oyama
Marcos David Ferreira

1. Introdução

Produtos agrícolas geralmente podem ser distinguidos pela cor, forma e textura. De forma geral, pessoas treinadas possuem percepção visual capaz de determinar a qualidade dos frutos, grãos e hortaliças. Apesar do avanço tecnológico, a classificação de frutos de forma visual e manual ainda é amplamente praticada. Por outro lado, a crescente demanda pela qualidade dos alimentos por parte dos consumidores, bem como a exigência de instituições de proteção ao consumidor quanto à qualidade de produtos alimentícios, seja ele processado ou *in natura,* tem levado ao aumento do desenvolvimento de máquinas seletoras automáticas para identificar e remover todos os contaminantes: vidro, pedras, insetos, produtos estragados, matéria vegetal, etc. Além disso, a seleção ótica permite maior padronização do produto, com remoção de itens disformes.

Dentre os vários métodos disponíveis para avaliação da qualidade dos alimentos, a visão computacional tem se destacado, especialmente para a extração e quantificação de modo não destrutivo das características que têm relevância direta para a avaliação de sua qualidade e controle.

Os sistemas computadorizados de visão servem para avaliar rapidamente atributos de qualidade dos alimentos, principalmente as características externas, tais como cor, textura, forma, tamanho, superfície, etc. Também, recursos avançados de visão computacional permitem "ver" dentro de um produto e examinar atributos relevantes na qualidade normalmente indisponíveis para avaliadores humanos. Com rápidos avanços no hardware eletrônico e nas tecnologias de imagem, o custo, eficácia e velocidade de sistemas de visão computacional têm melhorado significativamente fazendo com que muitos sistemas sejam propostos na indústria de alimentos. As operações de avaliação de qualidade de alimentos com base em sistemas automáticos permitem alta produção e altas taxas de transferência de requisitos da indústria do setor.

Novos avanços em termos de detecção de defeitos com o emprego de imagens hiperespectrais tendem a desenvolver ainda mais este processo e trazer inovações adicionais aos sistemas computadorizados no processamento de alimentos; no entanto, ainda serão exigidos intensa pesquisa e trabalho de desenvolvimento de novos algoritmos e técnicas de processamento.

O tamanho, o custo e a complexidade dos sistemas de visão para classificação variam, dependendo dos frutos, da forma de separação e da complexidade do sistema ótico. Máquinas são empregadas para classificação desde pequenas sementes de mostarda, grãos de arroz até produtos vegetais frescos e congelados (ervilha, feijão verde, couve-flor, etc) e, também frutas e hortaliças, como maçãs ou batatas. As sementes são geralmente classificadas em uma única máquina, ou mesmo em um conjunto de máquinas com esteiras com capacidade, por exemplo, de 16 toneladas/h (320mil objetos/s). Entre os produtos que podem ser classificados por máquinas de classificação automática incluem-se sementes, café, arroz, cereais de pequeno porte, nozes e leguminosas; vegetais frescos, congelados e desidratados; cerejas (com e sem talos), azeitonas, tomates; camarão; biscoitos e confeitaria. Materiais como pedras, paus e matéria orgânica devem ser removidos, bem como produtos com defeitos, tais como descoloração e casca danificada, dentre outros.

2. Sistema de visão computacional

Visão computacional, também conhecida como visão da máquina ou de processamento de imagem de computador, é a ciência que desenvolve as bases teóricas e algoritmos pelos quais a informação útil sobre um objeto ou cena pode ser automaticamente extraída e analisada a partir de uma imagem observada, conjunto de imagens ou vídeos. É um ramo da inteligência artificial e simula o processo da visão humana quando olha um objeto e percebe suas características espectrais com base na luz refletida do objeto quando iluminado por luz natural ou artificial. Assim, em essência, a tarefa de um computador do sistema de visão é a de simular o processo humano de percepção visual.

Essencialmente, um sistema de visão computacional é composto de uma unidade de processamento, análoga ao cérebro humano, um sensor ou câmera, análogo ao olho humano, um sistema de iluminação que facilita a captura da imagem, um sistema de digitalização da imagem e um monitor para se observar os processamentos, como pode ser observado na Figura 1.

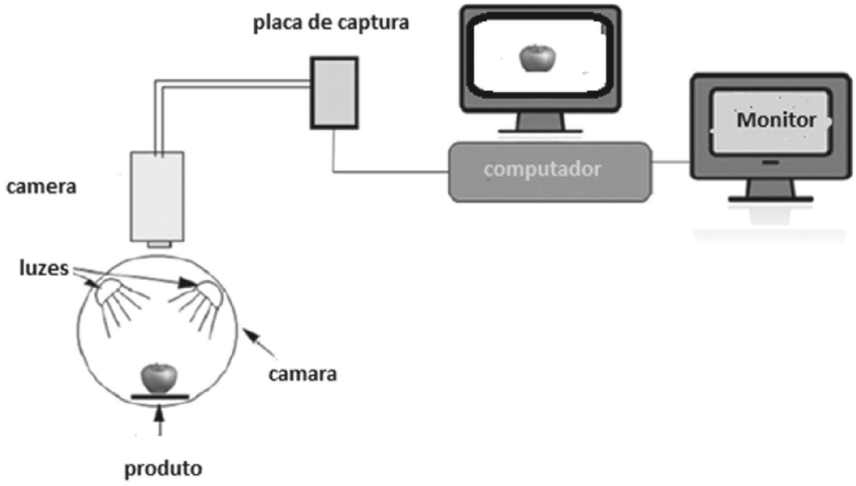


Figura 1: Sistema de Visão Computacional Padrão (adaptado de PANIGRAHI; GUNASEKARAN, 2001).

Uma máquina típica de visão aplicada na classificação de grãos e frutos pode ser observada na Figura 2. Em geral é composta de:

- um sistema alimentador;
- sistema ótico;
- processos para ejetar os rejeitos;
- sistemas de processamento de imagens.

Na Figura 3 pode ser observada uma máquina típica utilizada na classificação de grãos em uma beneficiadora e na Figura 4 pode ser observado um sistema de classificação em larga escala, em uma unidade de beneficiamento de batata. Pode-se verificar em ambas que o sistema de processamento é fechado e possui iluminação dedicada.

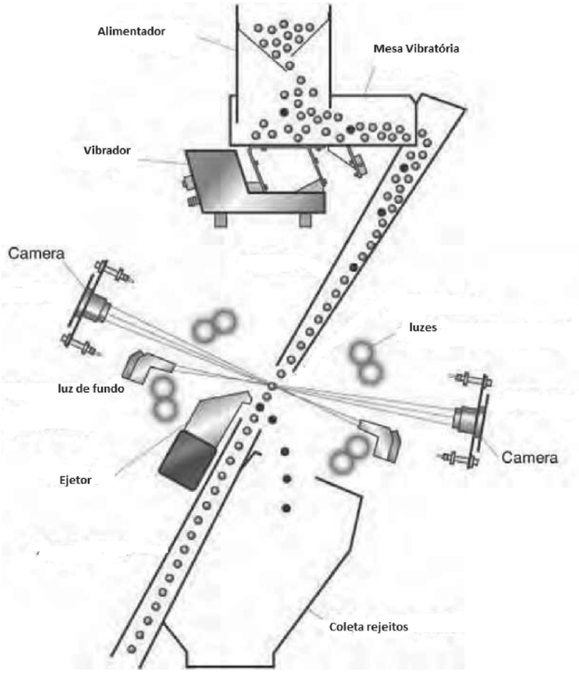


Figura 2: Sistema de Classificação por Cor (BEE; HONEYWOOD, 2002).

Figura 3: Exemplo de uma máquina classificadora de grãos (BEE; HONEYWOOD, 2002).

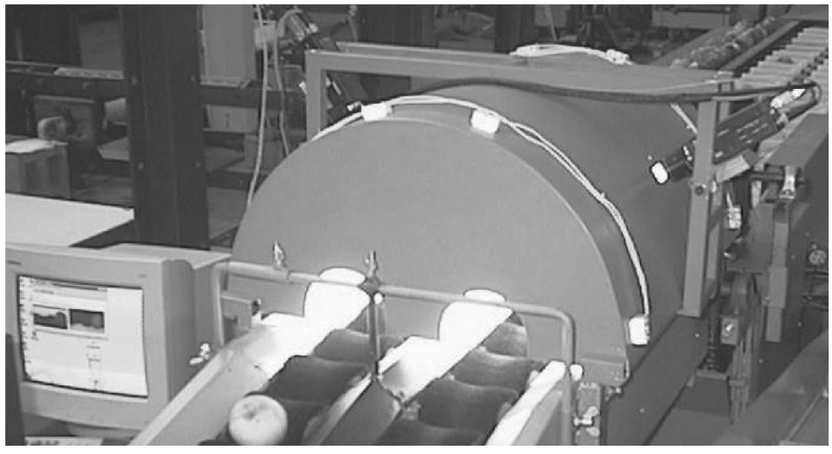


Figura 4: Exemplo de uma máquina classificadora de frutos com detalhe da câmara de iluminação (LEEMANS; KLEYNEN, 2008).

Um sistema de visão computacional envolve uma série de etapas, que podem ser agrupadas em três grupos principais:

- *aquisição de imagem,* que lida com questões como componentes de iluminação, tipos de câmeras, formas de digitalização, etc,

- *processamento de imagem,* que engloba pré-processamento, segmentação, extração de características, etc;

- *análise da imagem,* o que implica reconhecimento de imagem e interpretação.

Todas essas áreas são importantes para o sucesso de um sistema de visão por computador.

2.1 Aquisição da imagem

A aquisição de imagens é um processo extremamente importante para sistemas de classificação automática. Esta requer muito cuidado para que se consiga adquirir os padrões a serem identificados. Imagens mal adquiridas, ou com resolução baixa, mesmo que disponham de excelente técnica de processamento, não são possíveis de serem analisadas, pois a informação é adquirida na aquisição e

melhorada no processamento. Caso ela não tenha sido adquirida, por alguma falha na iluminação, na resolução ou por ruídos, não é possível ser criada no processamento. Os tipos de câmeras e de iluminação definem o sistema de visão computacional. A seguir descrição dos itens componentes para o processo de aquisição de imagem.

Imagem digital

Uma imagem, segundo Gonzalez e Woods (2010), pode ser definida como uma função bidimensional, *f(x, y),* onde *x* e *y* são as coordenadas no plano, *f* é a amplitude em um determinado ponto de *x* e *y,* que é chamado de intensidade ou nível de cinza, ou cor. O ponto é denominado de *pixel* ou *picture element.*

As imagens são geradas por processos físicos e as intensidades ou cores representam valores proporcionais aos da radiação de energia eletromagnética capturados pelo sensor utilizado. Esses valores do espectro eletromagnético são utilizados para análise dos produtos. A luz refletida pelo produto em análise é capturada pelas câmeras que armazenam os comprimentos de onda constituintes do sinal. Em geral, as imagens são digitalizadas usando-se um detector adequado e enviadas para o computador para processamento. Os sensores podem ser diferenciados dependendo da faixa do espectro eletromagnético para o qual foi projetado.

Na Figura 5, podem ser observados todo o espectro eletromagnético e as respectivas faixas de comprimento de o

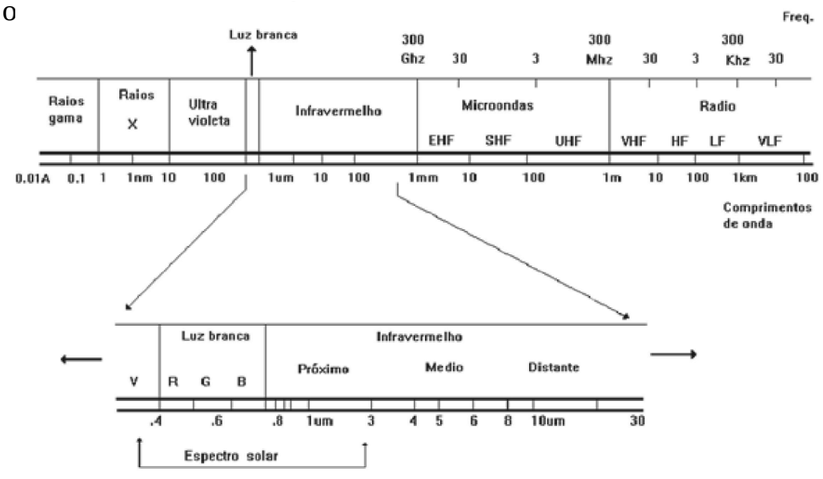


Figura 5: Espectro eletromagnético (MOREIRA, 2001).

Os sensores são classificados no espectro visível, quando são sensíveis aos comprimentos de onda de 400nm até 750nm. Nesta categoria, destacam-se as câmeras fotográficas convencionais, que registram a reflectância no espectro vísivel. No entanto, nem toda alteração de cor caracteriza um produto com defeito, pois as variações de cor são muito típicas em produtos alimentícios, como frutas ou hortaliças. Muitas vezes, os defeitos são identificados em outras faixas do espectro. Certos defeitos não visíveis (bactérias, por exemplo) podem ser observados apenas quando houver uma excitação especial, medindo-se assim a fluorescência do material e não a sua reflectância.

Reflectância espectral

A radiação solar, ao incidir sobre uma superfície, interage com ela, resultando em três frações: parte absorvida, parte transmitida e parte refletida. A parte refletida é, então, a radiação que chega até o sistema sensor. Na realidade, todos objetos e produtos refletem a radiação eletromagnética.

O termo reflectância refere-se à quantidade adimencional da energia que é refletida pelos alvos. Em outras palavras, é um termo utilizado para referir a razão da radiação eletromagnética refletida pela incidente.

Seu valor varia de zero a um e pode ser expresso em porcentagem, uma vez que é adimensional.

O comportamento espectral de plantas varia de acordo com o estádio vegetativo. Em áreas agrícolas, como soja, trigo, cevada, etc, essa variação dá-se do plantio até a fase de completo desenvolvimento vegetativo, quando o solo é quase totalmente coberto pela cultura. No caso de frutos ou produtos agrícolas, também varia o comportamento espectral em função da maturação, características do fruto, bem como outras características químicas e físicas.

Para que se entenda o processo de classificação de frutos, é necessário que se entenda o significado do comportamento espectral de diferentes alvos nas faixas do visível, infravermelho próximo e médio, e que se entenda a interação da radiação solar com a vegetação e frutos nessas regiões do espectro eletromagnético.

Uma das principais formas de análise e classificação de produtos agrícolas mede as trocas energéticas entre o alvo e o meio ambiente. Essas medidas são feitas por sensores, que são dispositivos capazes de detectar e registrar o fluxo de energia radiante, em determinadas faixas do espectro eletromagnético, que é refletido ou emitido por objetos numa forma passível de ser interpretada pelo homem (STEFFEN, 1995). Toda a teoria fundamenta-se na pressuposição de que os alvos, naturais ou artificiais, refletem ou emitem a radiação eletromagnética (REM) de modo peculiar, o que permite sua identificação. Esse fato peculiar de refletir ou emitir a REM é denominado de assinatura espectral ou comportamento espectral (STEFFEN, 1995).

Toda metodologia de análise de grãos e frutos fundamenta-se na porção refletida ou emitida da energia eletromagnética, expressas em termos de refletância e emitância.

As variações de cores em frutos são principalmente devidas a três famílias de pigmentos, clorofilas, carotenoides e antocianinas, responsáveis pelo verde, vermelho-amarelo e vermelho para azul-violeta, respectivamente. O conhecimento detalhado da composição de pigmentos de frutos permite a avaliação dos efeitos da pós-colheita, identificando tratamentos para manutenção da cor, qualidade e aumento da vida útil de frutos e vegetais e produtos derivados.

Na região visível do espectro eletromagnético (400 a 700 nm ou 0,4 a 0,7μm), a radiação solar é também conhecida por radiação fotossinteticamente ativa. Ao incidir sobre a vegetação, é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes no mesófilo foliar. Os pigmentos que ocorrem em maior parte são as clorofilas **a** e **b** e, em menor parte, os carotenoides, as xantofilas e as antocianinas. Desse modo, a reflectância apresenta um pico em torno de 0,53 μm na região do verde, e picos de absorção nas regiões do vermelho e do azul. O vermelho é um intervalo do espectro eletromagnético no qual existe uma relação inversamente proporcional entre a intensidade da radiação eletromagnética (REM) refletida e a quantidade de clorofila presente no vegetal. Isso é um fator muito importante para a distinção de estresses e avaliação de hortaliças (MOREIRA, 2001).

Em contraste, na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (700 a 1300 nm ou 0,7 a 1,3μm), verifica-se que a energia é fortemente refletida e transmitida pelas folhas, devido às descontinuidades do índice de refração na estrutura do mesófilo foliar. Nessa região do espectro, a reflectância depende da estrutura interna da folha e resulta do forte contraste entre os índices de refração do conteúdo celular (rico em água) e do espaço intercelular (rico em ar), que provoca reflexões e refrações da REM no interior da folha. Dessa forma, quanto mais denso e vigoroso o vegetal, maior a superfície de interface células/ar, o que acarreta um aumento das reflexões e refrações da REM e, consequentemente, maior reflectância nesta porção do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2001).

No infravermelho médio (1300 a 2500 nm ou 1,3 a 2,5μm), as propriedades ópticas da folha e de frutos são muito afetadas pelo seu conteúdo de água, ou seja, a água presente no interior promove alta absorção nesse comprimento de onda (MOREIRA, 2001). Todos esses efeitos da reflectância espectral

nesses comprimentos de onda mencionados acima podem ser observados na Figura 6.

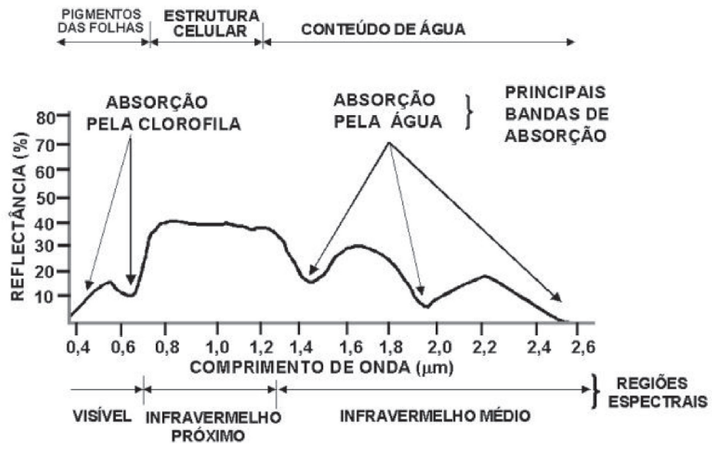


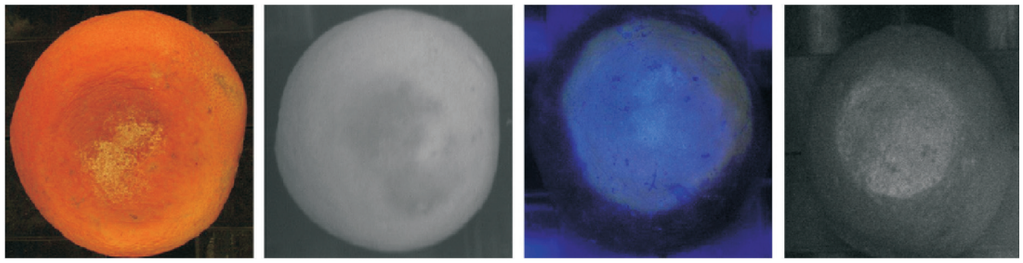
Figura 6: Curva de reflectância de uma planta e fruto (MOREIRA, 2001).

São diversos os fatores que podem influenciar o comportamento espectral. Em geral, mudanças nesse comportamento são mais influenciadas por um fator dominante. Entretanto, numa análise mais criteriosa, pode-se perceber que, além do fator dominante, há outros fatores interferindo.

As propriedades ópticas das folhas e frutos também mudam de acordo com a sua fase de desenvolvimento, ou seja, de acordo com a idade e maturação. Assim sendo, na maturação, ocorre um decréscimo da reflectância na região do visível e um aumento na região do infravermelho próximo, devido à existência de um maior número de espaços aéreos intercelulares no mesófilo das folhas maduras. No início da senescência, e em razão da degradação das clorofilas, ocorre uma menor absorção da radiação solar e, consequentemente, aumento da reflectância na região do visível; posteriormente, com o avanço gradativo da senescência, observa-se a degradação dos carotenos e morte das células. Nessa fase, ocorre um aumento dos espaços aéreos intercelulares das folhas e, consequentemente, aumento da reflectância no infravermelho próximo. Durante o crescimento das plantas, a reflectância no visível e no infravermelho médio decresce e a reflectância no infravermelho próximo aumenta. Durante a senescência, o contrário desse fenômeno é observado (MOREIRA, 2001).

O espectro infravermelho é sensível aos constituintes químicos, proteínas, umidade, óleo de produtos alimentícios, podendo ser vista a distribuição de constituintes do alimento.

Aspectos, como espécies, variedades, incidência de pragas e doenças, afetam a energia refletida. A escolha adequada de sensores pode registrar essas alterações. Um exemplo típico de diferentes respostas espectrais pode ser observado na Figura 7: em (a), o fruto pode ser visualizado na região do visível, em (b) na região do infravermelho, em (c) com fluorescência e em (d) com ultravioleta. Percebe-se que todas as imagens evidenciam diferentes padrões, o que pode auxiliar na identificação da classificação de injúrias.



(a) (b) (c) (d)

Figura 7: Citrus (a) visível, (b) infravermelho, (c) fluorescência e (d) ultravioleta (BLASCO et al., 2007).

Iluminação

Na espectrofotometria convencional, é ralizada a medição espectral das superfícies sob condições controladas de iluminação. No entanto, na prática industrial, muitas vezes, adequar as máquinas de classificação a condições ideais de iluminação não é uma tarefa simples. Iluminação difusa esférica é a mais adequada para iluminar uniformemente o item em análise.

Não obstante os progressos na análise e no processamento de imagens, o tipo de câmera e sistema de iluminação pode afetar a qualidade dos resultados da aplicação de sistemas de visão computacional. Com iluminação adequada, a discriminação de características será mais bem efetuada reduzindo o tempo de processamento e os requisitos especiais de hardware.

Portanto, é quase sempre mais barato melhorar a iluminação do que melhorar os algoritmos de processamento de imagem. Produtos alimentícios são heterogêneos, orientados aleatoriamente, e podem apresentar muitas variações de reflexão. Por isso, é necessário analisar individualmente os frutos na câmara de luz controlada evitando-se que os frutos se toquem, se sobreponham, que não haja oclusão e sombras durante a aquisição da imagem.

Seleção de fontes de luz e configurações adequadas para as fontes de luz são requisitos básicos num sistema de visão computacional. A geometria do sistema de imagem deve ser bem conhecida, especialmente, para as medições de dimensão dos frutos.

A opção de iluminação frontal é mais adequada para a obtenção de características da superfície de um produto, enquanto a iluminação traseira é melhor para identificar danos.

A luz utilizada para iluminar os produtos a serem classificados é fundamental para uma correta avaliação. Muitos tipos de iluminação, com diferentes intensidades, podem ser encontrados. Fontes de luz e níveis adequados são essenciais para as condições de obtenção de resultados confiáveis da avaliação. Uma iluminação uniforme, livre de sombras é fundamental para o tipo de análise realizada nas classificadoras, inclusive permitindo perceber superfícies texturizadas. Para a avaliação de cor, a reflexão especular da fonte deve ser minimizada. Isso pode ser garantido com uma fonte de luz posicionada verticalmente, distribuída de forma difusa. Sistemas de regulagem do fluxo luminoso devem permitir operar entre 750 e 1200 lux, faixa típica para produtos alimentícios. Uma intensidade de 807 a 1614 lux é recomendada para a avaliação de produtos frescos. A correção da cor segundo alguns padrões de iluminação garante a temperatura de cor[1] adequada para cada caso, sendo a temperatura de cor 6500K recomendada pela norma British Standard (BS950) para substituir a luz do dia para tarefas visuais de avaliação e de correspondência de cores. No entanto, a luz artificial *Daylight*, que inclui um componente ultravioleta, e a *Northlight*, que não contém tal componente, são atualmente consideradas os padrões mais próximos adequados para as máquinas classificadoras. Esses padrões são amplamente utilizados em indústrias onde a avaliação da cor é fundamental. A qualidade espectral da luz deve aproximar à luz do dia sob um céu moderadamente nublado, à temperatura de cor de 6770 K, equivalente ao iluminante C, ou 6500 K, equivalente a D65; a luz solar direta deve ser evitada (MACDOUGALL, 2002).

Fluorescência

Muitos produtos, quando irradiados com luz ultravioleta (350 nm), ou mesmo outros comprimentos de onda, possuem a propriedade de emitir uma luz denominada de fluorescência, que pode ser usada na classificação (Figura 7c). Essa técnica foi originalmente utlizada para a remoção de grãos de café verde, variedade arábica, que apresentavam defeito tipo “ardido”, bem como na classificação de amendoins e

[1] Temperatura de cor. Expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz, utilizando Kelvin (K) como unidade de medida. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz. Por exemplo, luz quente ou fria não está relacionada ao calor físico da lâmpada, mas sim, à tonalidade de cor que ela apresenta ao ambiente.

amêndoas. No entanto, os efeitos de fluorescência ocorrem em tempos muito curtos e dependem das circunstâncias e do tempo decorrido desde a colheita do produto.

A fluorescência da clorofila em hortaliças se tornou um parâmetro importante de análise em virtude de que qualquer variação na planta decorrente de doenças, pragas ou qualquer adversidade provoca alterações em seu teor. As moléculas de clorofila absorvem a energia luminosa (fótons) e alteram temporariamente as suas configurações eletrônicas. Esses pigmentos passam do estado fundamental singleto para um estado excitado singleto com tempo de vida característico da ordem de 10^{-8}s. Após esse período, esta energia pode ser dissipada através de três processos:

- Dissipação fotoquímica: onde a energia luminosa é utilizada para os processos fotoquímicos da fotossíntese;
- Fluorescência: onde ocorre a emissão de radiação na região do visível;
- Dissipação não fotoquímica: onde ocorre a produção de calor na forma de radiação infravermelha.

A fluorescência da clorofila se tornou um parâmetro importante de análise em virtude de que qualquer variação na planta decorrente de doenças, pragas ou qualquer adversidade provoca alterações em seu teor.

Além das clorofilas, as plantas superiores possuem uma série de compostos orgânicos que apresentam a propriedade de fluorescer quando excitados com luz ultravioleta ou visível, por exemplo, carotenoides e xantofilas. Dessa forma, a emissão de fluorescência das hortaliças é um espectro rico em informações de vários compostos químicos.

Por ser uma técnica altamente sensível e rápida, ela é uma ferramenta interessante no estudo de processos químicos, físicos e orgânicos que ocorram nas plantas e frutos.

Imagem hiperespectral

Imagem hiperespectral combina as técnicas de imagens com a espectroscopia para simultaneamente adquirir ambas, informação espectral e espacial de um objeto. Assim, um sistema típico pode ser visualizado na Figura 8. Cada pixel numa imagem representa em vez de uma imagem de cor RGB - sistema de cores aditivas RGB sendo as siglas referentes às abreviaturas de *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul) - um espectro de bandas espectrais.

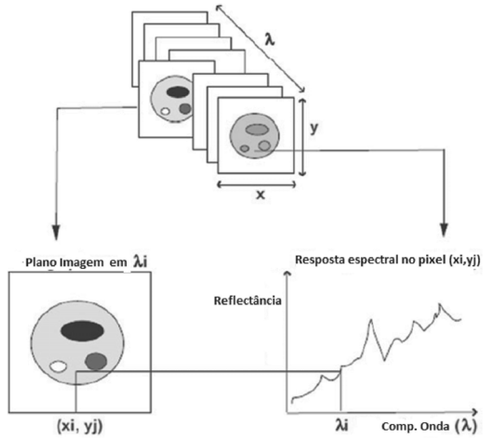


Figura 8: Formação de uma imagem hiperespectral (GOWEN et al., 2007).

A imagem hiperespectral é o grande avanço do momento em termos de sensor; permite varrer o espec-tro eletromagnético desde o visível até o infravermelho, com até 300 bandas de 3nm de resolução espectral.

2.2 Processamento da imagem

O avanço no processamento de imagens, com novos algoritmos sendo disponibilizados a cada dia, tem viabilizado diversas aplicações.

As etapas básicas do processamento podem ser resumidas em: pré-processamento, segmentação e extração de características. O pré-processamento é responsável por realçar as qualidades da imagem adquirida, eliminação de ruídos e distorções. As correções podem ser efetivadas nas tonalidades ou cores da imagem e são em geral dependentes do contexto. A segmentação de imagens refere-se à divisão da imagem em partes constituintes, que podem ser regiões com características similares, por exemplo, mesma cor, ou delimitadas por alguma borda. Trata-se de uma parte fundamental nos sistemas de visão computacional e é totalmente dependente da condição de iluminação que foi utilizada na aquisição. Em geral, numa aplicação, a segmentação manual é mais fácil de ser implementada, enquanto que a automática depende fortemente da qualidade da aquisição da imagem. Uma imagem segmentada apresenta separação de regiões nitidamente identificadas, por exemplo, regiões com alteração do fruto, com colorações atípicas etc. A extração de atributos é realizada em cada região ou objeto segmentado na imagem. Por exemplo, as medidas de comprimento e largura do frutos identificados ou segmentados na imagem. Essa extração de atributos é utilizada para classificar os produtos nos sistemas de visão computacional.

Uma das características mais usadas nos sistemas de classificação é a segmentação por cores, sendo necessário conhecer as formas de representar e trata-las. Sendo assim, neste capítulo serão apresentados os dois modelos de cor mais utilizados em classificação de alimentos.

Modelos de cor

O modelo RGB é um sistema de cores aditivas. Esse é provavelmente o modelo de cores mais conhecido, sendo muito usado para captura e impressão de imagem em meio digital, como monitores, escâneres, TVs, câmeras digitais, etc. O modelo RGB parte do princípio de que preto é ausência de cor, e branco é a presença de todas as cores. Para representar as diversas cores, adiciona-se uma quantidade de vermelho, verde e azul ao preto, e sempre que os valores forem iguais, o resultado será uma cor em escala de cinza. De acordo com Gonzalez e Woods (2010), todas as cores desse modelo são representadas por um cubo, onde as oito extremidades são a representação das cores vermelha, amarela, verde, ciano, azul, magenta, branca e preta. A diagonal que parte da origem (branco) até a extremidade mais distante do cubo (preto) forma uma escala de cinza, como mostra a Figura 9.

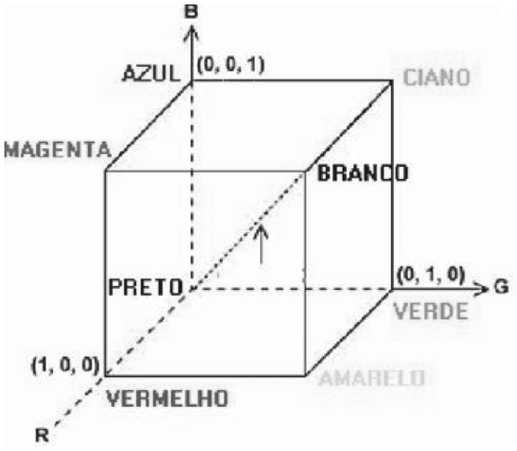


Figura 9: Cubo RGB (GONZALEZ; WOODS, 2010).

O modelo mais utilizado por técnicos que trabalham com cores de frutos e hortaliças é o CIELab. Também conhecido por CIE L a* b*, as cores podem ser representadas pelo gráfico tridimensional da Figura 10. A cor da amostra é determinada pela sua posição espacial no gráfico expresso em LAB. Esse sistema separa a cor por três variáveis: L, que representa a iluminação (brilho) da imagem; a*, que é a variação de verde até vermelho; e b*, que representa a variação de amarelo para azul. O valor de L varia de 0 que é o preto até 100, que é o branco, enquanto a* e b* variam de -120 até 120. Como o valor de uma cor varia aumentando a sua tonalidade do centro para as bordas, é possível notar que a saturação será maior ao longo de seu contorno. Logo, nota-se que o modelo CIELab consegue definir claramente todas a cores.

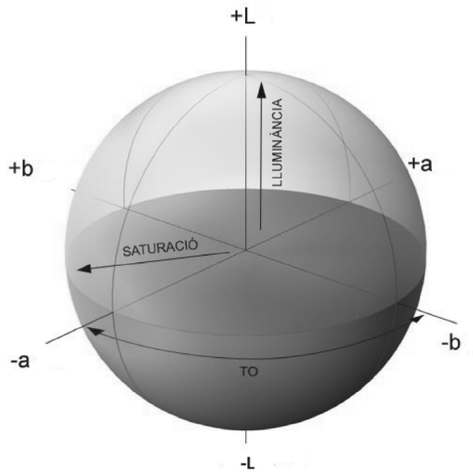


Figura 10: CIELab representação tridimensional (GONZALEZ; WOODS, 2010).

O modelo RGB é o padrão de aquisição das imagens. Outros modelos deverão ser obtidos por conversão. Para converter de RGB para CIELab, é necessário passar pela transformação para CIE XYZ. Sendo assim, inicialmente é realizada a seguinte conversão:

X = 0.412453.R + 0.357580.G + 0.180423.B
Y = 0.212671.R + 0.715160.G + 0.072169.B
Z = 0.019334.R + 0.119193.G + 0.950227.B

E então utilizando-se esses valores, é possível converter para CIELab.

$$L = 116.f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a = 500.\left|f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right| \qquad b = 200.\left|f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{X}{X_n}\right)\right|$$

O cálculo do componente f(q) tem dependência direta com o valor de q. Para q maior que 0.008856, $f(q) = q^{\frac{1}{3}}$. Para os demais valores de q, a fórmula será expressa da seguinte forma: $f(q) = 7.787 \,.\, q + 0.137931$.

Todas essas conversões devem ser calculadas dependendo do iluminante considerado. Neste caso, é o D65.

Extrator de características

Para que uma máquina possa entender o que é um objeto contido em uma imagem, é necessário

extrair características do objeto contido na imagem para servir de padrão. As principais características que são extraídas da imagem são: cor, forma e textura. Para a descrição da cor, são utilizados vários padrões, como os já citados neste trabalho: RGB e CIELab.

Para extrair características de forma, são utilizadas técnicas como: descritores de forma e momentos da imagem. As técnicas de momentos de Hu, Assinatura e Descritores de Fourier são as mais utilizadas para caracterizar a forma de objetos. A seguir, descrição dessas técnicas.

Momentos

Momentos é uma técnica para descrição de forma em imagens 2D baseada nos momentos estatísticos. Para sua aplicação, é necessário inicialmente realizar a binarização da imagem, separando a imagem do seu fundo. Para binarizar a imagem, pode ser utilizada qualquer técnica que faça a segmentação dos objetos a serem medidos.

Para descrição da imagem, os momentos mais utilizados são os momentos regulares, que são descritos pela seguinte formula:

$$M_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x,y)\, dxdy$$

M_{00} representa a área do objeto na imagem. Para imagem digital, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$m_{pq} = \sum_{i=0}^{n_x} \sum_{j=0}^{n_y} i^p j^q f(i,j)$$

Esse momento é o mais usado, todavia é dependente de escala, posição e orientação. Para evitar que o resultado dependa desses fatores, existem modificações que são realizadas antes de chegar ao momento final, por exemplo, o uso dos momentos centrais, que torna o resultado invariante quanto à posição. Esse cálculo é feito usando a seguinte formula:

$$\mu_{pq} = \sum_{i=0}^{n_x} \sum_{j=0}^{n_y} (i - x_c)^2 (j - y_c)^2 f(i,j)$$

Onde xc e yc representam o pixel central do objeto na figura, e são calculados com as seguintes fórmulas:

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \qquad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Tornando invariante a escala, tem-se:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^y}$$

A teoria da invariância algébrica e as combinações relativas e absolutas de momentos que são invariantes à posição (translação), à orientação (rotação) e ao tamanho (escala), foram alterados por HU (1962), chegando a sete momentos que são invariantes aos fatores citados, ou seja, têm os mesmos resultados

para a imagem original e para as imagens que sofreram rotação, translação e alteração na escala. Esses momentos são conhecidos com momentos de Hu:

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} - \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{12})^2] + (3\eta_{31} - \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} - \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2] + (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} - \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

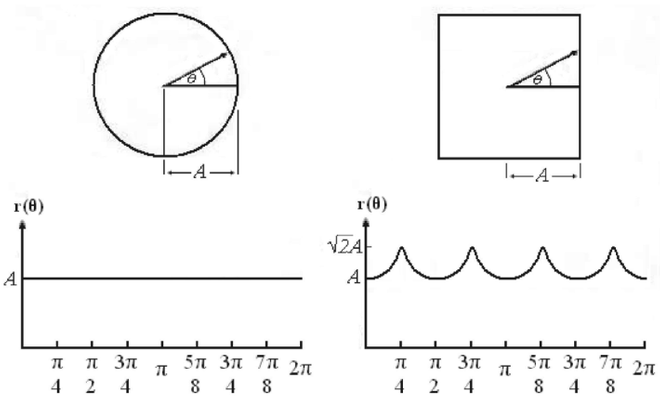
Esses sete valores são utilizados para caracterizar os objetos medidos.

Assinatura

Gonzalez e Woods (2010) descrevem assinatura como sendo uma descrição 1D da borda de uma imagem 2D. Essa representação pode ser feita criando-se um gráfico que representa a distância entre o centroide de uma figura e os pontos da borda de forma sequencial.

Todavia utilizando-se essa técnica, o resultado será invariável quanto à posição, mas pode variar de acordo com a orientação e a escala. Para resolver o problema de orientação, pode-se escolher um ponto inicial a partir de uma referência, como o ponto mais próximo do centroide, ou o ponto mais longe dele. Essa técnica exige um processamento computacional mais intenso, mas retorna um resultado mais adequado.

Na Figura 11, são apresentadas as assinaturas para um círculo e um quadrado.



(a) (b)

Figura 11: Assinatura (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Descritores de Fourier

Um dos mais populares métodos para representação de forma de imagens é o dos Descritores de Fourier (FD), utilizado para aplicações de visão computacional e reconhecimento de padrões (GONZALEZ; WOODS, 2010). Sua principal vantagem é a invariância em relação à translação, rotação e escala do objeto observado. Em outras palavras, esses valores são independentes da distância entre a câmera e o objeto, do tamanho do objeto, a posição onde o objeto está localizado na imagem e a rotação em torno do eixo óptico.

A ideia básica desta abordagem consiste na representação da forma, em termos de um sinal 1D ou 2D, calculando os FDs utilizados na transformada de Fourier. Os descritores FDs devem ser obtidos por:

• Um sinal unidimensional a partir da imagem, como: $f(\mathrm{t}) = x(\mathrm{t}) + jy(\mathrm{t})$ com x(t) e y(t) sendo os valores das coordenadas (x, y) no ponto t e j o número de colunas;

• Um vetor contendo apenas os pontos que delimitam a borda da imagem de forma ordenada;

• E, por último, aplica-se:

$$F(u) = \frac{1}{N}\sum_{\mathrm{t}=0}^{N-1} f(t)\, e^{\frac{-2\mathrm{i}\pi ux}{N}}$$

Onde N representa o número de pontos utilizados para representar o decorrer da borda da imagem, f(t) é a função unidimensional utilizada para representar a imagem. F(u) irá representar os FDs onde u pode variar de 1 até N.

Descritores de textura

Textura é uma das principais características utilizadas na classificação e reconhecimento de padrões contidos em imagens nos sistemas de classificação. Ela é caracterizada pelo padrão de variação dos tons de cinza dos pixels ao longo da imagem, que se repetem de maneira regular ou aleatória. Assim, é possível segmentar uma imagem com um padrão, e com isso identificar outros tipos de objetos em uma imagem.

As texturas definem uniformidade, densidade, aspereza, regularidade, intensidade, além de outras características da imagem.

2.3 Análise da imagem

Existem várias técnicas na literatura para detecção automática de hortaliças e frutas, lesões presentes, áreas superficiais e volume, baseadas na análise de cor e forma. A seguir, a descrição de algumas dessas técnicas.

Pazoti et al. (2005) descrevem técnicas de análise de curvatura por processamento de imagens para identificar esporos do fungo *Guignardia citricarpa,* ou pinta preta, em produção de citros comercialmente. A avaliação 3D de forma e tamanho de citrus é descritos por Ding et al. (2000). Em Lana et al. (2006), foram medidas alterações de cor devido à maturação de tomates. Assim, também, em outros produtos a cor recebe especial atenção (MENDOZA et al., 2006). Vários frutos têm sido avaliados com diferentes algoritmos de análise de imagens e apresentam resultados bastante animadores na utilização desta técnica para a determinação de danos causados por diferentes agentes (RIQUELME et al., 2008).

A análise morfológica de fungos aparece também em vários trabalhos (DIEGUEZ-URIBEONDO et al., 2004) mostrando a grande utilidade de técnicas de processamento de imagens na identificação de alterações em frutos. Alguns trabalhos aparecem também usando imagens multiespectrais ou hiperespectrais, como no caso de estudo de defeitos comuns em citros (BLASCO et al., 2007; GÓMEZ-SANCHIS et al., 2008), em morangos (ELMASRY et al., 2007) e em maçãs (ARIANA, 2006). Um sistema usando infravermelho próximo para seleção de tâmaras numa esteira industrial é descrita por Lee et al. (2008).

Em estudos com batata, o processamento de imagens começa desde a colheita no campo, como mostra Nieuwenhuizen et al. (2007), no qual se usam sistemas inteligentes para separação de plantas invasoras da batata.

Inspeção automática para seleção de classes de batata por máquinas de visão computacional utilizando-se tamanho, forma e cor têm sido reportada (PUN, 1991; HEINEMANN et al., 1996; PATHARE et al., 1993; TAO et al., 1990; TAO et al., 1995). Em batata-doce, Mummert (2004) desenvolveu um sistema de visão para a classificação por forma e tamanho. Lefebvre et al. (1994) desenvolveram um sistema de visão completo para classificação de batatas.

Um sistema de visão de alta velocidade para a inspeção de batatas foi desenvolvido por Noordam et al. (2000). O sistema classifica batatas por tamanho, forma e defeitos externos, tais como danos mecânicos, esverdeamento, dentre outros. Para isso, usa um uma câmera colorida de 3-CCD. Em vez de usar mais câmeras para visualizar o tubérculo em todos os ângulos, usa espelhos para obter uma vista de 360 graus da batata. Esse equipamento possui capacidade de 12 ton/h, usando um sistema de processamento de imagens capaz de processar 50 batatas/s. Para segmentação das imagens, esse sistema utiliza a Análise do Discriminante Linear em combinação com um classificador pela distância de Mahalanobis (GONZALEZ; WOODS, 2010). A classificação de forma usa os descritores de Fourier. Atributos como a área, excentricidade e momentos centrais são usados para discriminar os defeitos por cor similares.

A segmentação por cor, através de uma rede neural multicamadas e classificadores clássicos para inspeção de cor, foram comparados por Deck et al. (1995) e por Zhou et al. (1998). Os sistemas são capazes de classificar por tamanho, peso, diâmetro transversal, forma e cor. A discriminação por cor separa batatas boas e verdes apenas. Até mesmo batata frita tem sido estudada com imagens, como mostra Noordam et al. (2004).

3. Exemplos de sistemas de classificação de frutos e hortaliças

A Embrapa Instrumentação tem desenvolvido sistemas de classificação para uso em unidades de beneficiamento ou mesmo para pesquisa.

Destacam-se a máquina de classificar café QUALICAFÉ e a máquina de classificar batatas MACARENA - Máquina de Classificação e Análise por Redes Neurais Artificiais -apresentadas a seguir.

3.1 Máquina para classificação automática de grãos de café - QUALICAFÉ

Está sendo desenvolvida uma máquina para a classificação automática de grãos de café, denominada QUALICAFÉ, que utiliza um sistema de visão computacional para amostras de grãos de café para laboratório, com base nos atributos de cor e forma.

Exemplos de padrões de grãos a serem classificados

Na Figura 12 são apresentados os padrões mais comuns presentes nas amostras de grãos de café a serem classificados em laboratório. Destacam-se os grãos ardidos, brocados, presença de paus, pedras, grãos quebrados, cascas, películas etc, conforme Figura 12(a) a (s).

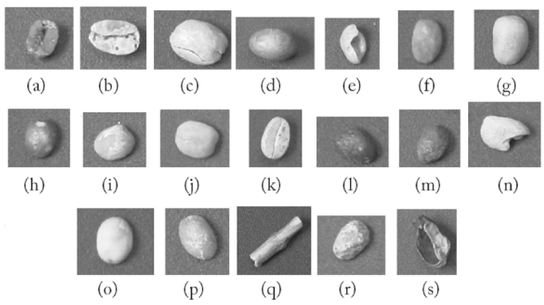
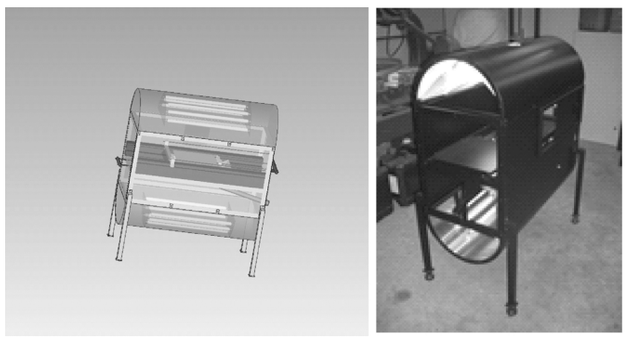


Figura 12: Classes de grãos e impurezas. (a) ardido, (b) brocado, (c) cabeça, (d) coco, (e) concha, (f) fava escura, (g) marago, (h) melado, (i) película, (j) perfeito, (k) pergaminho, (l) preto, (m) preto-verde, (n) quebrado, (o) secador, (p) verde, (q) paus, (r) pedras e (s) cascas.

Estes padrões estão sendo desenvolvidos em parceria com a Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé Ltda. - COOXUPÉ - com a experiência de especialistas da cooperativa.

Aquisição de imagens

Para a aquisição de imagens das amostras de grãos de café com iluminação padrão, foi desenvolvida uma máquina de classificação (Figura 13), composta de uma bandeja de vidro – onde são depositados os grãos sob condições controladas de luz. A bandeja é iluminada por duas lâmpadas fluorescentes de 20W por cima e duas por baixo, duas câmeras de vídeo posicionadas cerca de 60cm da amostra. A câmera de vídeo utilizada é do tipo IP e é conectada ao computador, que executa o software através de uma interface Gigabit Ethernet. As imagens são capturadas diretamente pelo software e são salvas no formato JPG com resolução de 1280x1024 pixels.



(a) (b)

Figura 13: (a) Diagrama da máquina de classificar café e (b) Foto da primeira versão construída.

Na Figura 14, pode ser observada a tela de captura da imagem, onde são possíveis ajustes de brilho, contraste e iluminação da amostra.

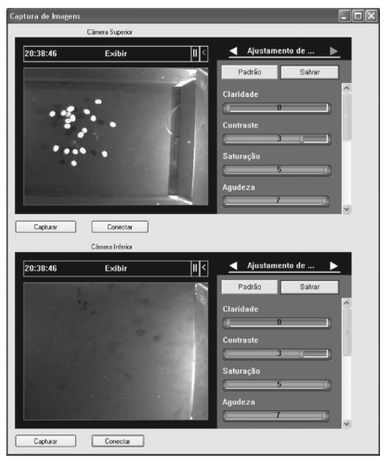


Figura 14: Interface de controle de aquisição.

Processamento das imagens

O Qualicafé foi dividido em módulos: pré-processamento, classificação por cor, por forma e por tipo de grão, conforme descrito no diagrama da Figura 15.

Todos os processos de classificação se baseiam numa rede neural do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP), sendo utilizados algoritmos de aprendizado de máquina implementados em Java.

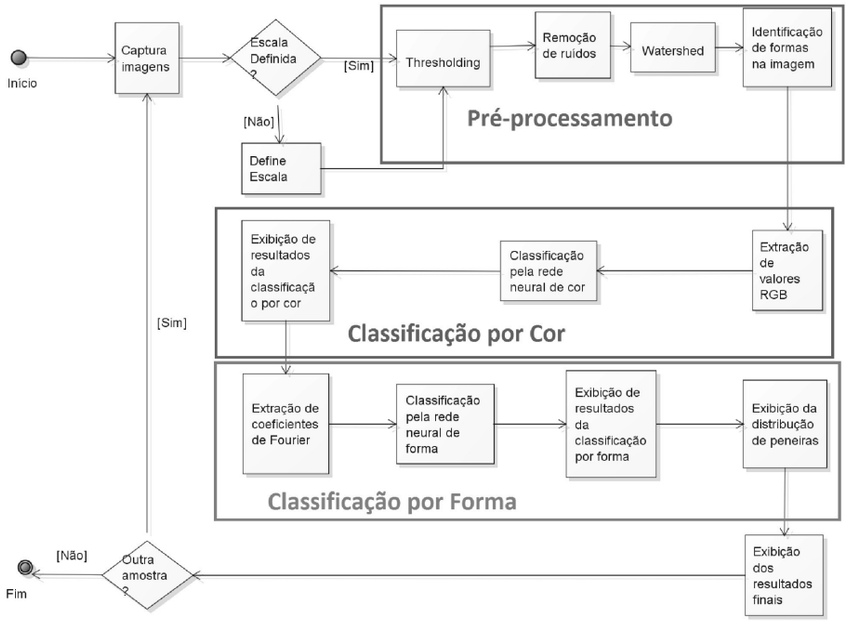


Figura 15: Diagrama de blocos do Software de análise do Qualicafé.

Pré-processamento

A primeira etapa de processamento é a identificação de grãos e impurezas presentes na amostra. Esta identificação é feita através do contorno de cada objeto encontrado na imagem. Para a identificação dos contornos, primeiramente é feita a segmentação da imagem pela aplicação de um simples *Thresholding*, algoritmo que classifica cada pixel da imagem como fundo ou objeto, através da comparação do valor do pixel em escala de cinza com um valor adotado como limiar - o *threshold.* Com a separação do fundo dos objetos, a imagem é então binarizada. Utilizam-se os processos morfológicos de erosão e dilatação, a fim de se eliminar possíveis ruídos. Visando separar grãos que estejam encostados um no outro, podendo gerar problemas na contagem de grãos, é executado o algoritmo de *watershed.* Para cada pixel 'objeto' da imagem, é calculada a sua distância ao pixel 'fundo' mais próximo. Então, são definidos os pontos com as distâncias máximas locais e cada um desses pontos é dilatado até que se chegue à borda do objeto ou à borda da região de outro ponto que está sendo dilatado. Dessa forma, cada uma das regiões provenientes de um ponto dilatado define um objeto diferente. A partir da imagem binarizada, é finalmente executado um algoritmo para identificar as diferentes formas e se extrair os pixels de seus contornos.

Na Figura 16, pode ser visualizada uma imagem de saída do processo de identificação de grãos. Nesta imagem, os contornos dos grãos são pintados de verde e numerados sequencialmente. A rotulação é armazenada juntamente com os pixels localizados nos seu interior.

Para se trabalhar com as dimensões reais dos objetos durante a análise por forma, foi desenvolvida uma ferramenta para a indicação da escala da imagem, através da qual se desenha uma linha sobre a imagem e informa-se a distância real que ela representa.

Figura 16: Objetos identificados e rotulados.

Classificação por cor

A análise de cor dos grãos de café é feita para se distinguir grãos bons de grãos com certos tipos de defeito, como: grãos verdes, pretos, pretos-verdes, ardidos, etc. Essa análise se baseia no reconhecimento de padrões de cor presentes nos grãos, visto que certos defeitos são identificados por uma cor característica do grão, ou de uma parte dele, como, o tom mais esverdeado, que é comum nos grãos-verdes e manchas marrons nos grãos melados. Da mesma forma, as sementes perfeitas também têm uma coloração característica que as definem.

Sendo assim, cada um dos defeitos passíveis de serem identificados pela análise de cor foi associado a uma classe, que, juntamente com a classe de grão perfeito formam o conjunto de padrões a serem reconhecidos pela rede neural. As classes são: ardido, brocado, casca, coco, fava escura, melado, pau, pedra, película, perfeito, pergaminho, preto, preto-verde, secador e verde. A MLP foi definida com três atributos de entrada: as componentes de cor R, G e B.

Para cada uma das classes, foram capturadas imagens de amostras contendo grãos da classe em questão para a execução do treinamento da rede. Foram utilizadas janelas selecionadas manualmente sobre a imagem, cujas áreas apresentavam a coloração característica do defeito do grão (Figura 17), ou um padrão de saudável. Para cada um dos pixels que compõem essas áreas, foi determinado o valor médio de R,G e B, com base nos pixels vizinhos. Esses valores foram então utilizados como entrada para a MLP no seu treinamento. Para cada classe foram coletados cerca de 8.000 pixels.

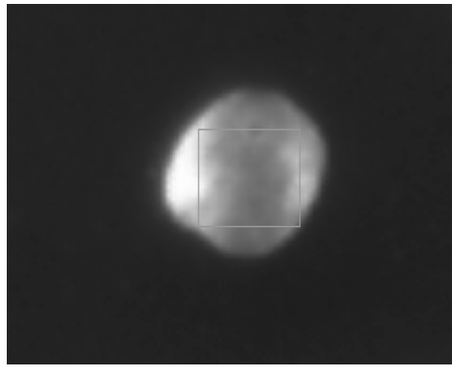


Figura 17: Seleção de amostra em um grão para treinamento da MLP.

A classificação dos grãos de uma amostra é feita passando-se, como entrada para a MLP treinada, os valores médios de R, G e B de cada um dos *pixels* do grão com seus vizinhos. Conforme os *pixels* são

classificados, eles são pintados na imagem da amostra com uma cor diferente para cada classe, de modo que os padrões de cor que constituem o grão sejam facilmente identificados, como exibido na Figura 18. Quando todos os *pixels* de um grão tiverem sido classificados, a classe atribuída ao maior número de *pixels* é definida como a classe do grão.

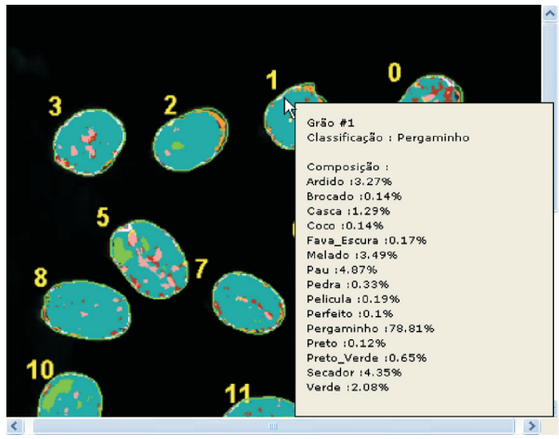


Figura 18: Resultado de uma classificação por cor.

Descritores de forma utilizados

Para que a MLP possa realizar o reconhecimento de padrões de forma, foram utilizados alguns descritores de forma:

Assinaturas: a distância de um ponto da borda até o seu centro de massa. Os valores foram normalizados pelo maior valor, de forma que cada um variasse entre 0 e 1. Foram utilizados 36 valores, separados entre si de 10°. Juntamente com as assinaturas, também foram utilizados o comprimento e a largura da forma, em milímetros.

Descritores de Fourier: Descritores de Fourier representam a borda de uma região como uma função periódica que pode ser expandida em uma série de Fourier. Uma característica típica dos descritores de Fourier é que, geralmente, a forma geral da figura é relativamente bem definida a partir de alguns dos termos de menor ordem da expansão. Para este projeto, optou-se por usar os 40 primeiros coeficientes para se definir as formas.

Na Figura 19 podem ser observados exemplos de assinatura e descritores de Fourier para cada tipo de contorno estudado.

A comparação dos modelos consistiu no treinamento de duas MLPs para o reconhecimento de grãos perfeitos, grãos quebrados, paus e pedras, cada uma utilizando-se de um dos modelos. Então, as MLPs foram utilizadas na classificação de amostras com grãos conhecidos, para que finalmente pudessem ser calculadas suas taxas de acerto.

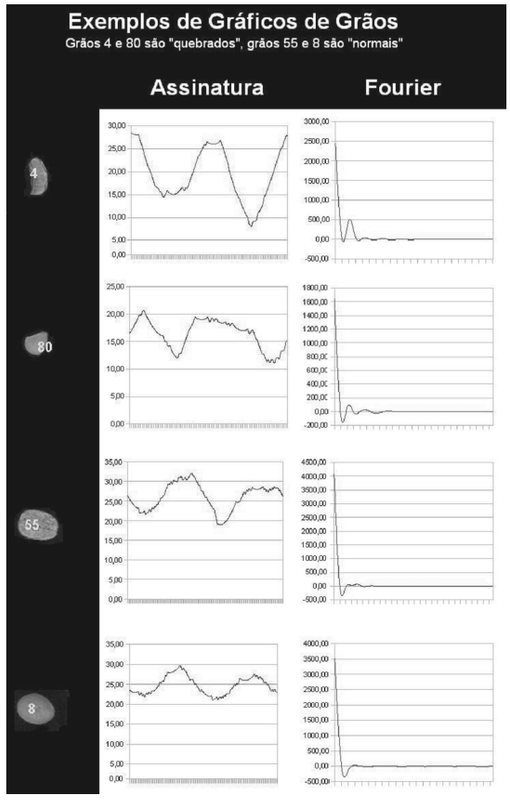


Figura 19: Assinatura e Descritor de Fourier.

A MLP treinada com assinaturas, largura e comprimento teve uma taxa de acerto de cerca de 80%, enquanto que na treinada com descritores de Fourier, a taxa foi de cerca de 60%. Portanto, o primeiro modelo foi o adotado.

Classificação por forma

As impurezas de uma amostra de grãos de café podem ser facilmente reconhecidas através de suas formas, que estão fora do padrão que as sementes apresentam. Como exemplo, podem-se citar os paus, que apresentam um contorno fino e comprido, ou as pedras, que são pequenas e têm um contorno irregular. A análise de forma também é capaz de indicar grãos com defeitos, como os quebrados, que naturalmente são menores e não possuem o característico formato arredondado de uma semente perfeita. Seguindo essas premissas, foi utilizada uma MLP para reconhecer os padrões de forma dos objetos presentes na imagem de uma amostra e indicar de qual classe de grão ou impureza esses padrões são característicos.

Essa MLP foi configurada com 38 atributos, dos quais 36 são assinaturas, uma é a largura e a outra, o comprimento (ambos em milímetros) do grão a ser classificado, e 10 classes: cabeça, casca, coco, concha, marago, pau, pedra, perfeito, pergaminho e quebrado. Analogamente ao treinamento da MLP de cor, o da de forma foi feito capturando-se imagens contendo grãos ou impurezas de uma classe específica e, então, extraindo-se seus contornos para serem utilizados no cálculo das assinaturas, dos comprimentos e das larguras. Foi coletado um conjunto de cerca de 60 formas para cada uma das classes.

Além de indicar os padrões de forma presentes, também é gerado um histograma com a distribuição dos grãos por peneira, uma classificação utilizada pelas cooperativas de café. Em geral, essa classificação é feita por um jogo de peneiras, que separa os grãos pela forma e pelo tamanho. As peneiras têm crivos com diversas medidas e dois formatos diferentes: podem ser oblongos, para separar os cafés mocas, ou circulares,

para separar os cafés chatos. As medidas dos crivos das peneiras são dadas em frações de 1/64 de polegada e o número da peneira corresponde ao numerador da fração. Por exemplo: peneira 19 = 19/64 de polegada.

Com as MLPs devidamente treinadas, foram utilizados conjuntos de grãos fornecidos pela Cooxupé em diversos testes, com o intuito de se validar os métodos desenvolvidos.

Identificação dos objetos

Constatou-se que o processo de reconhecimento de formas na imagem apresenta algumas falhas, como ilustrado na Figura 20. A mais perceptível acontece na presença de objetos com coloração muito escura, visto que uma porção deles é rotulada como parte do fundo no processo de segmentação, resultando na extração de formas diferentes das reais. Outro problema ocorre na execução do algoritmo de *watershed,* que, algumas vezes, divide a forma de um único objeto em várias (o que ocorre com frequência com os paus) e em certas ocasiões, traça erroneamente a fronteira entre dois objetos que se encostam. Essas falhas se devem principalmente ao sistema de iluminação da amostra, que não distribui a luz homogeneamente e ao fato de a superfície sobre a qual a amostra é depositada ter uma tonalidade de cor próxima a de certos objetos de interesse.

Apesar das falhas, de modo geral o algoritmo de reconhecimento de objetos se mostrou muito eficiente. Posicionando-se a amostra na faixa da bandeja onde a iluminação é mais homogênea e são gerados menos reflexos, são detectados praticamente todos os objetos (com exceção das formas muito escuras - defeito que pode ser corrigido alterando-se a cor do fundo usado).

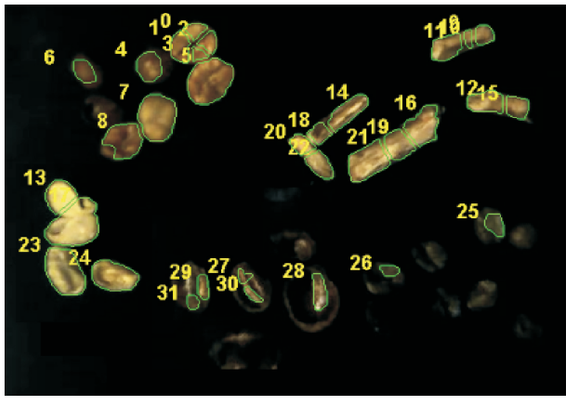


Figura 20: Deficiências na identificação de objetos.

Foram conduzidos testes para a obtenção da distribuição por peneira em três amostras de grãos, cada uma proveniente de um processo de separação por peneira com crivos diferentes. As peneiras em questão eram 15, 17 e 19. Nos três casos pôde-se perceber uma maior concentração em torno da furação utilizada na separação, a qual também apresentou em todos os casos o maior número de ocorrências. A Figura 21 mostra o histograma obtido da amostra da peneira 19.

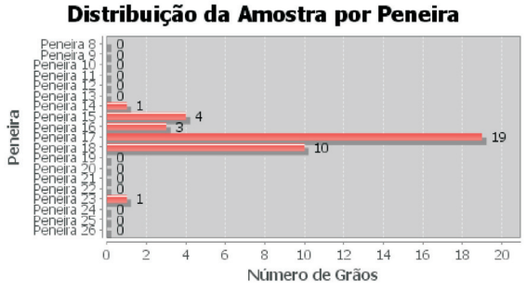


Figura 21: Distribuição por peneira de uma amostra de peneira 17.

Comparando-se as classificações geradas pelo *software* com as reais classes presentes nas amostras, observou-se que foi possível distinguir entre impurezas – paus e pedras – e grãos, sejam eles com defeitos ou não, com uma acurácia satisfatória. Dado que a presença de impurezas na amostra exerce uma depreciação no café muito maior que os grãos defeituosos, essa característica indica um importante resultado. Na Figura 22, é mostrado um exemplo de classificação, na qual essa distinção é notada. Em verde, estão os objetos corretamente classificados (como paus, pedras ou grãos) em pelo menos uma das duas análises, de cor e de forma; e, em vermelho, aqueles cujas classificações não foram corretas em nenhuma delas.

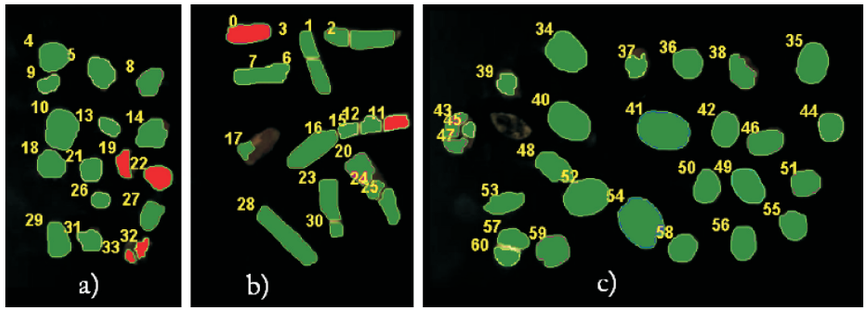


Figura 22: Acertos de classificação de grãos e impurezas a) pedras b) paus c) grãos.

A interface implementada no Qualicafé mostra a classificação do grão, tomado por cima e por baixo, como pode ser observado na Figura 23.

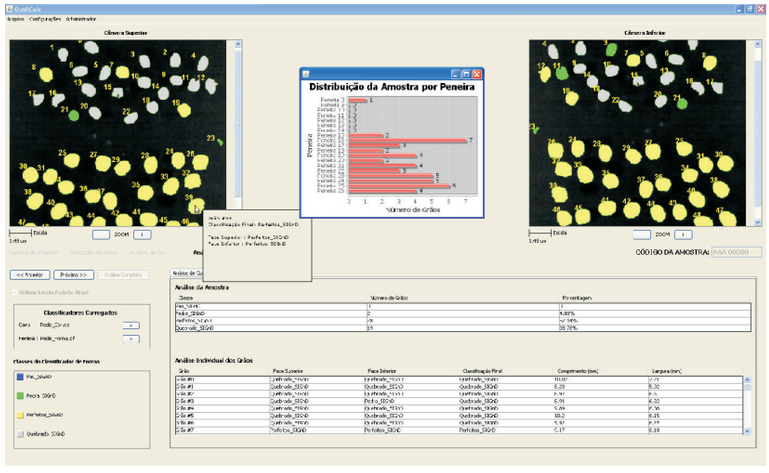


Figura 23: Tela de Resultados por análise.

Este trabalho buscou desenvolver um software que substituísse o atual processo manual de classificação de grãos de café por um método automático, mais eficiente e confiável. Os resultados obtidos mostraram que as atuais técnicas de processamento de imagem são capazes de extrair da imagem de um grão informações suficientes para definir sua forma e coloração, alguns dos atributos utilizados por especialistas humanos para classificar os grãos. Também se pode concluir que, com as classificações geradas pelas redes neurais é possível fazer o reconhecimento de padrões de forma satisfatória.

Mesmo com as dificuldades geradas pela iluminação não adequada, que acarreta grandes limitações em ambos os processos classificatórios, foi possível se obter bons resultados preliminares – distinguir grãos de impurezas e identificar certas classes com um acerto significativo – sugerindo que uma melhora no sistema de iluminação ampliará o substancialmente o potencial do método. O sistema de iluminação está sendo redesenhado.

3.2 Máquina de classificação e análise por redes neurais artificiais - MACARENA

A MACARENA é um sistema de visão computacional para a inspeção de batatas, visando à classificação por cor, tamanho, forma e volume identificando os defeitos mais comuns, buscando melhoria da eficiência do sistema de comercialização já existente. Possui classificação por cor, tamanho e forma possibilitando uniformidade e agregação de valor, identificação e eliminação de defeitos e produtos fora do padrão comercial.

Exemplos de padrões de defeitos e formas a serem classificados

A batata pode conter defeitos que alteram sua cor e forma, podendo ser divididos em graves e leves. Esses defeitos podem ser causados por diferentes problemas, tendo como principais: doenças, pragas, distúrbios fisiológicos e danos mecânicos (Figura 24).

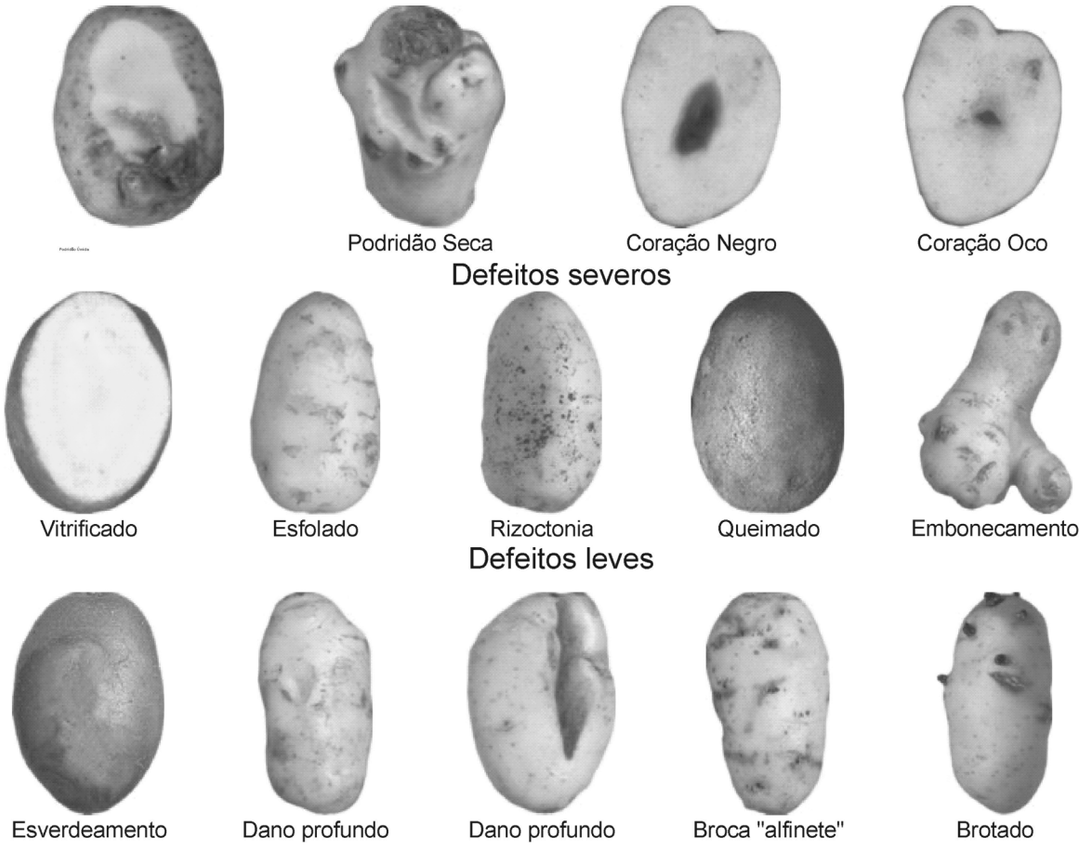


Figura 24: Defeitos severos, leves e variáveis (CEAGESP, 2001).

De acordo com o tamanho do tubérculo são padronizadas classes com base no diâmetro transversal em milímetros (mm) (CEAGESP, 2001), conforme Figura 25.

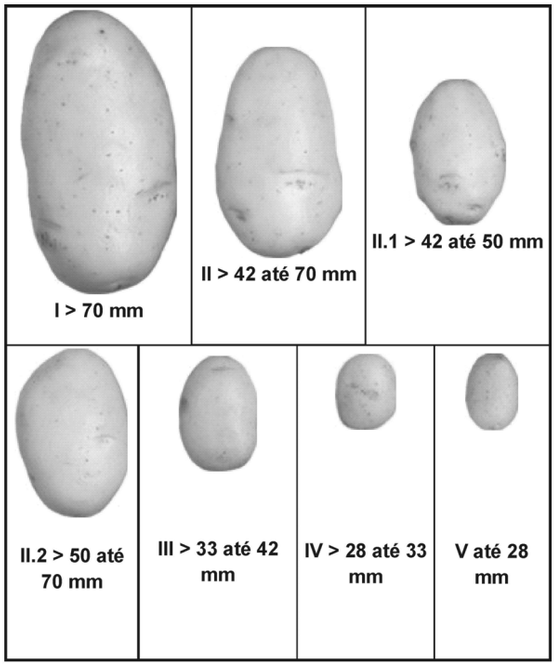


Figura 25: Classificação de batatas segundo o tamanho (CEAGESP, 2001).

Aquisição de imagens e protótipo implementado

O sistema de inspeção proposto consiste de uma unidade de alimentação do tubérculo através de uma esteira, a unidade de visão, onde foi desenvolvido um sistema de iluminação e visão proporcionando obtenção de imagens e além disso uma unidade de rejeição para separação do tubérculo não classificado, conforme Figura 26.

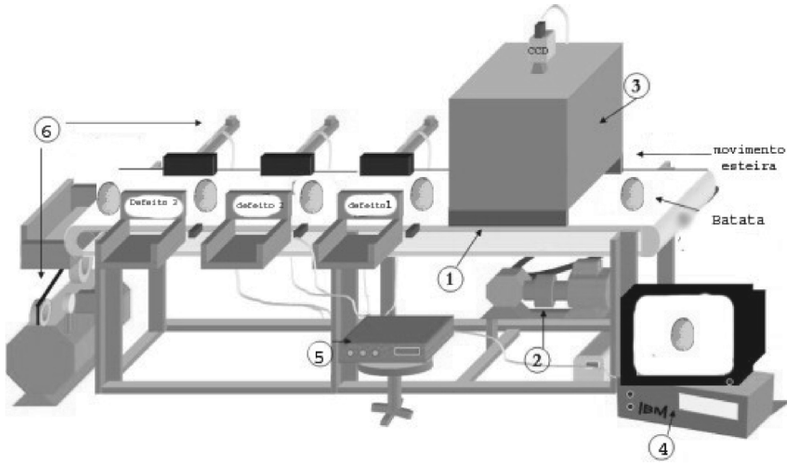


Figura 26: Diagrama do protótipo para aquisição e análise das imagens, sendo (1) esteira; (2) motor movimentação esteira; (3) câmara fechada com controle de iluminação; (4) computador; (5) controlador de eliminação de defeitos e (6) motor para controlar ejeção de defeitos.

O sistema desenvolvido para aquisição e testes de classificação é apresentado na Figura 27.

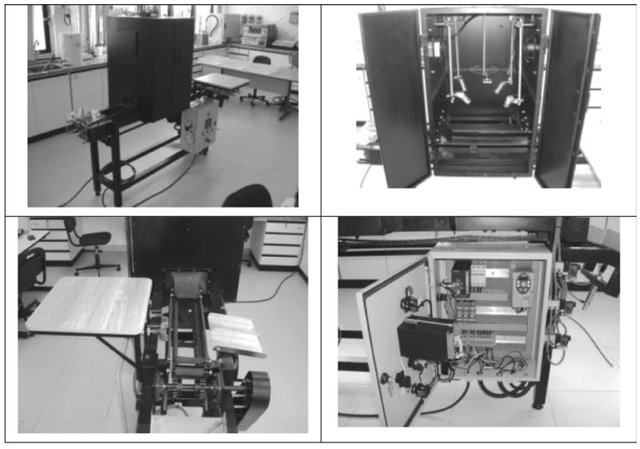


Figura 27: Protótipo (Máquina de Classificação e Análise por Redes Neurais – MACARENA) construído para classificação – Visão Geral do Sistema. No sentido horário: Equipamento com detalhe do painel elétrico; Câmara interna para captura de imagens; Detalhe da esteira; Painel elétrico em detalhe.

Na Figura 28, podem ser observadas tomadas da máquina em operação para classificação de batata consumo por tamanho e defeitos.

O software foi desenvolvido com uma janela principal para visualização e acompanhamento do funcionamento da máquina, e uma janela especial para treinamento da rede neural.

A preparação para o treinamento consiste na escolha de partes boas e ruins da imagem. Das áreas selecionadas são extraídas as características assinaladas, que então são passadas para o vetor de treinamento da rede neural.

Figura 28: Classificação de batata no protótipo de classificação - Máquina de Classificação e Análise por Redes Neurais – MACARENA. Em sentido horário: Visão geral do equipamento; Equipamento em detalhe de classificação; Batata em classifica-ção; Batata em

classificação para defeitos.

Com as amostras escolhidas, devem-se verificar as opções de treinamento, como taxa de aprendizado e número de ciclos. Após "treinada" a rede neural, é permitido gravá-la em um arquivo e usá-la posteriormente. Na Figura 29, pode ser vista a tela de treinamento do software desenvolvido.

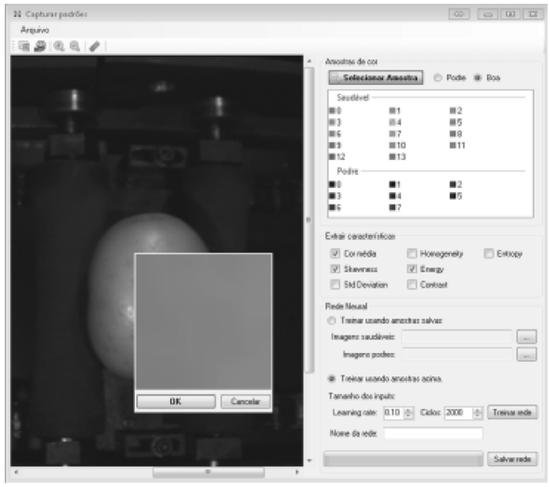


Figura 29: Janela de treinamento e seleção de partes boas e partes ruins na imagem.

A janela principal contém controles que visualizam os frames originais e processados, permitindo o acompanhamento da batata na máquina e seu processamento. Através dessa janela, são escolhidas opções como: câmera e rede neural utilizadas, quantidade de pontos de amostra e porcentagem de aceitação.

Conforme a batata é processada, informações sobre seu processamento, quantidade de batatas, forma e quantidade de pontos ruins são mostradas na janela para acompanhamento (Figura 30).

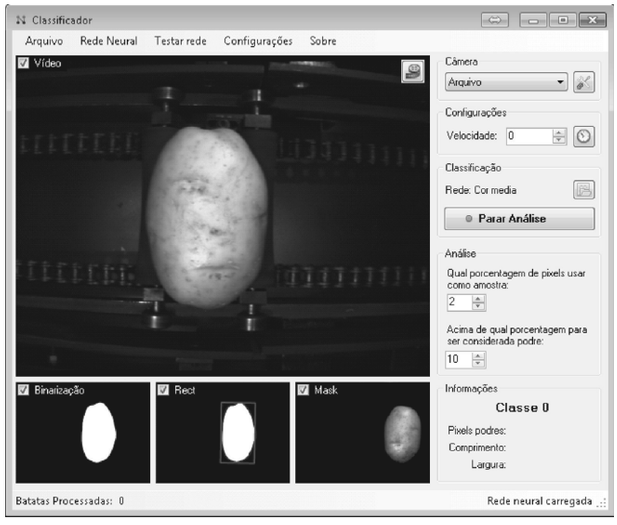


Figura 30: Janela principal de acompanhamento.

Para a seleção da rede neural há uma janela específica que permite o carregamento de diversas redes simultaneamente. Nesta janela, observam-se as características para as quais a rede foi treinada, a quantidade de amostras, topologia e gráfico do erro, podendo ser exportados para um arquivo .csv os valores que

compõem este último (Figura 31).

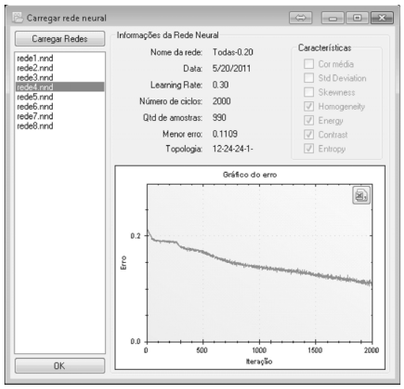


Figura 31: Informações para escolha da rede neural.

A escolha da câmera e suas configurações é realizada por uma interface acessível na janela principal do software. Essa interface provê opções para a escolha dos limites inferior e superior das componentes H,S e V, que auxiliam no isolamento da batata na imagem. O usuário pode carregar uma imagem, ou capturar um frame, para aplicar os limites escolhidos e verificar a imagem resultante (Figura 32).

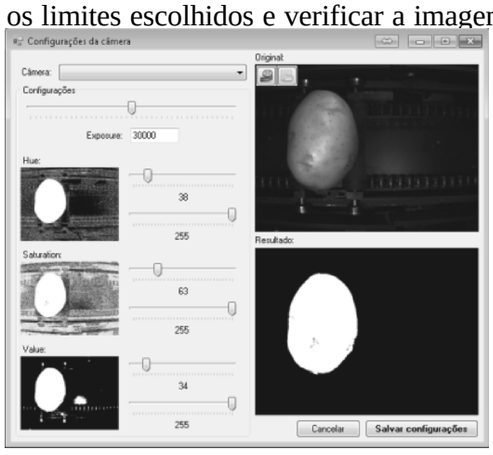


Figura 32: Escolha dos limites para as componentes HSV e imagem resultante.

Ao começar a análise na janela principal, o software inicia a captura dos frames e verificação da existência da batata. Assim que a batata é detectada, o software é programado para capturar três frames em determinados intervalos de tempo, visando capturar toda a extensão da batata. Esses três frames são analisados individualmente, e os resultados são unidos para a classificação (Figura 33).

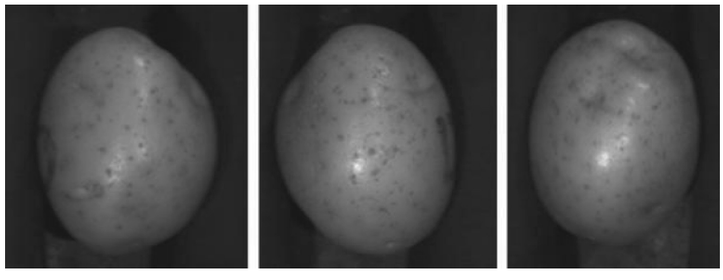


Figura 33: Três capturas da mesma batata em diferentes posições.

Após o processamento de todos os frames e classificação da batata, o software envia sinais para o CLP da máquina através do cabo serial, os quais definem qual pistão será ativado. O fluxograma do sistema pode ser observado na Figura 34.

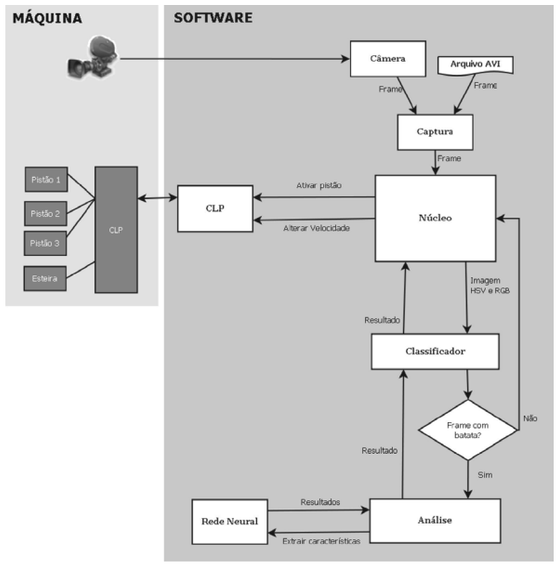


Figura 34: Fluxograma do sistema.

Extração de características utilizadas

As características de cor, ou momentos de cor, são representações que descrevem uma imagem; grande parte da distribuição de cores em uma imagem é capturada pelos momentos de cor. Neste trabalho, a imagem é analisada por pequenas janelas com 9 pixels de largura e altura. O primeiro momento é a cor média, que representa a média dos valores de R,G e B dos pixels na janela escolhida. O segundo momento é o cálculo do desvio padrão, e o terceiro é o cálculo da assimetria. Suas fórmulas para um canal de cor são as seguintes:

$$u = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_{ij} \quad \text{(Cor média)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}(x_{ij} - u)^2} \quad \text{(Desvio padrão)}$$

$$s = \sqrt[3]{\frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}(x_{ij} - u)^3} \quad \text{(Assimetria)}$$

Onde x é o valor do componente de cor no pixel da coluna i e linha j. N é o tamanho da largura da imagem; e M o tamanho de sua altura. Neste trabalho, utilizou-se o espaço de cor RGB, o que implica obter três valores para cada momento, nove no total.

Textura

A análise de textura desempenha um papel importante na identificação e classificação de imagens. Através dela, é possível identificar características espaciais e padrões que se repetem ao longo de regiões da imagem. Foi utilizada a matriz de co-ocorrência de níveis de cinza, que representa a ocorrência de cada nível de cinza em diferentes posições e direções (GONZALEZ; WOODS, 2010). Para o cálculo dessa

matriz, são considerados dois pixels: um de referência e um vizinho. Esses pixels são separados por uma distância d, que pode ser valor um, dois, ou qualquer outro valor. Neste trabalho foi utilizada a distância um (Figura 35). A posição do pixel vizinho não depende apenas da distância, mas também de uma direção è, sendo necessário definir qual a direção que será utilizada para o cálculo das ocorrências. As direções podem ser laterais ou diagonais. Para este trabalho, usou-se a direção è com valor 0.

135º	90º	45º
180º	Pr	0º
225º	270º	315º

Figura 35: Pixel de referência Pr e possíveis direções do pixel vizinho.

A imagem original é dividida de acordo com seus componentes de cor, que neste caso são três (R, G e B), cada componente gerando uma imagem em nível de cinza. A matriz é calculada a partir dessas imagens, gerando uma matriz de coocorrência para cada componente.

Com a matriz coocorrência, é possível extrair características que permitem identificar texturas e regiões da imagem. Neste trabalho, foram utilizadas as características de homogeneidade, energia, contraste e entropia; as fórmulas para seus cálculos são as seguintes:

$$\text{Homogeneidade} = \sum_{i=1}^{G}\sum_{j=1}^{G}\frac{p(i,j)}{1+|i-j|}$$

$$\text{Energia} = \sum_{i=1}^{G}\sum_{j=1}^{G}p(i,j)^2$$

$$\text{Contraste} = \sum_{i=1}^{G}\sum_{j=1}^{G}|i-j|^2 p(i,j)^2$$

$$\text{Entropia} = \sum_{i=1}^{G}\sum_{j=1}^{G}p(i,j)\log(p(i,j))$$

Onde p(i,j) é o valor da matriz de coocorrência na posição ij, e G é a dimensão da matriz, que é igual à quantidade de níveis de cinza das imagens utilizadas. Considerando-se uma imagem R,G e B, são geradas três matrizes de coocorrência, das quais extraem-se quatro características, resultando em um total doze características de textura por imagem.

4. Conclusão

Neste capítulo constam informações necessárias para o entendimento de um sistema de classificação por imagem de frutos e hortaliças. Procurou-se descrever em detalhe este sistema, finalizando com aplicações práticas, e exemplos para café e batata.

Referências

BEE, S. C.; HONEYWOOD, M. J. Colour sorting for the bulk food industry. In: MACDOUGALL, D. B.

Colour in food: improving quality. Cambridge: Woodhead publishing, 2002. p. 115-142.

BLASCO, J.; ALEIXOS, N.; MOLTO, E. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm. **Journal of Food Engineering,** Essex, v. 81, p. 535–543, 2007.

CEAGESP (São Paulo). **Classificação da Batata "in natura".** Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros, São Paulo, 2001. 4 p.

DIEGUEZ-URIBEONDO, J.; GIERZ, G.; BARTNICKI-GARC, S. Image analysis of hyphal morphogenesis in Saprolegniaceae (Oomycetes). **Fungal Genetics and Biology,** Orlando, v. 41, p. 293–307, 2004.

DING, W.; NESUMI, H.; TAKANO, Y.; UKAI, Y. Quantitative evaluation of the three-dimensional fruit shape and size of Citrus species based on spherical harmonic descriptors. **Euphytica,** Wageningen, v. 114, p. 103–115, 2000.

DECK, S. H.; MORROW, C. T.; HEINEMANN, P. H.; SOMMER, J. Comparison of a neural network and traditional classifier for machine vision inspection of potatoes". **Applied engineering in agriculture,** St Joseph, v. 11, p. 319-326, 1995.

ELMASRY, G.; WANG, N.; ELSAYED, A.; NGADI, M. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. **Journal of Food Engineering,** Essex, v. 81, p. 98–107, 2007.

GOWEN, A. A.; O'DONNELL, C. P.; CULLEN, P. J.; DOWNEY, G.; FRIAS, J. M. Hyperspectral imaging: an emerging process analytical tool for food quality and safety control. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v.18, n. 12, p. 590–598, 2007.

GOMEZ-SANCHIS, J.; MOLTO, E.; CAMPS-VALLS, G.; GOMEZ-CHOVA, L.; ALEIXOS, N.; BLASCO, J. Automatic correction of the effects of the light source on spherical objects. An application to the analysis of hyperspectral images of citrus fruits. **Journal of Food Engineering,** Essex, v. 85, p. 191–200, 2008.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens.** 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 624 p.

HEINEMANN, P. H.; PATHARE, N. P.; MORROW, C. T. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes. **Machine vision and Applications,** New York, v. 9, p. 14-19, 1996.

HU, M. K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. **IRE Transactions on Information Theory,** New York, v. 8, p. 179–187, 1962.

LANA, M. M.; TIJSKENS, L. M. M.; THEIJE, A.; HOGENKAMP, M.; VAN KOOTEN, O. Assessment of changes in optical properties of fresh-cut tomato using video image analysis. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 41, p. 296–306, 2006.

LEE, D. J.; SCHOENBERGER, R.; ARCHIBALD, J.; McCOLLUM, S. Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging. **Journal of Food Engineering,** Essex, v. 86, n. 3, p. 388-398, 2008.

LEEMANS, V.; KLEYNEN, O. Quality Evaluation of Apples. In: SUN, D-W. **Computer Vision Technology for Food Quality Evalutaion.** [S. l.]: Elsevier: Academic press, 2008. 583 p.

LEFEBVRE, M.; ZIMMERMAN, T.; BAUR, C.; GUGERLI, P.; PUN, T. Potato Operation: automatic detection of potato diseases. In: MEYER, G. E.; DESHAZER, J. A. (Ed.). **Optics in agriculture, forestry, and biological processing.** Boston, Massachusetts: SPIE, 1994. (Proc. SPIE 2345).

MACDOUGALL, D. B. **Colour in food:** Improving quality. Cambridge: Woodhead publishing, 2002. p. 115-142.

MENDOZA, F.; DEJMEK, P.; AGUILERA, J. M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 41, p. 285–295, 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** São José dos Campos: INPE, 2001. 208 p.

MUMMERT, C. N. **The development of a machine vision system to measure the shape of a sweetpotato root.** 2004. Thesis (Master of Science) - Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2004.

NIEUWENHUIZEN, A. T. ; TANG, L. ; HOFSTEE, J. W.; MULLER, J.; VAN HENTEN, E. J. Colour based detection of volunteer potatoes as weeds in sugar beet fields using machine vision. **Precision Agriculture,** Dordrecht, v. 8, p. 267–278, 2007.

NOORDAM, J. C.; TIMMERMANS, A. J. M.; OTTEN, G. W.; ZWOL, B. H. van. **A Colour Vision System for high speed Sorting of Potatoes.** Warwick: Agrotechnological Research Institute, 2000.

NOORDAM, J. C.; BROEK, V. D.; BUYDENS, L. M. C. Perspective of inline control of latent defects and diseases on French Fries with multispectral imaging. In: BENNEDSEN, B. S. (Ed.). **Monitoring food safety, agriculture, and plant health.** Bellingham: SPIE, 2004. (Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering).

PANIGRAHI, S.; GUNASEKARAN, S. Computer vision. In: GUNASEKARAN, S. (Ed.). **Nondesctructive food evaluation:** techniques to analyze proeprties and quality. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 39–98.

PATHARE, N. P.; HEINEMANN, P. H.; MORROW, C. T.; DECK, S. Automated inspection station for grading of potatoes. In: INTERNATIONAL SUMMER MEETING OF THE ASAE, Spokane, Washington, 1993. [**Proceeedings…** S. l.: s. n.], 1993.

PAZOTI, M. A.; GARCIA, R. E.; PESSOA, J. D. C.; BRUNO, O. M. C. **Electronic Journal of Biotechnology,** [S. l.], v. 8, n. 3, 2005. DOI: 10.2225/vol8-issue3-fulltext-1.

PUN, T; LEFEBVRE, M.; GIL, S.; BRUNET, D.; DESSIMOZ, J. D.; GUGERLI, P. The Potato Operation: Computer vision for agricultural robotics. In: SPIE CONF. ON ADVANCES IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEMS, 1991, Boston, **Proceedings…** [S. l.: s. n.], 1991.

RIQUELME, M. T.; BARREIRO, P.; RUIZ-ALTISENT, M.; VALERO, C. Olive classification according to external damage using image analysis. **Journal of Food Engineering,** Essex, v. 87, p. 371–379, 2008.

STEFFEN, C. A. **Reflectância.** São José dos Campos: INPE, 1995. (INPE 5638. PUD/070).

TAO, Y.; MORROW, C. T.; HEINEMANN, P. H.; SOMMER, H. J. Automated machine vision inspection of potatoes. In: INTERNATIONAL WINTER MEETING OF THE ASAE, 1990, Chicago, Illinois. [**Proceedings…** S. l.: s. n.], 1990.

TAO, Y.; HEINEMANN, P. H.; VARGHESE, Z.; MORROW, C. T.; SOMMER, H. J. Machine vision for colour inspection of potatoes and apples. **Transactions of the ASAE,** St. Joseph, v. 38, p. 1551-1561, 1995.

ZHOU, L.; CHALANA, V.; KIM, Y. PC-based machine vision system for real-time computer-aided potato inspection. **International journal of imaging systems and technology,** [S. l.], v. 9, p. 423-433, 1998.

Capítulo 8

Valoração na Comercialização das Frutas e Hortaliças Frescas

Anita de Souza Dias Gutierrez
Lisandro Michel Barreiros
Paulo Roberto Ferrari
Sabrina Leite Oliveira

1. Introdução

A cadeia de valoração das frutas e hortaliças frescas apresenta características muito especiais quando a comparamos com a de outros alimentos vegetais, destinados para a indústria.

As frutas e hortaliças frescas possuem alto conteúdo de água, alta perecibilidade, baixo potencial de armazenagem, baixo tempo de prateleira e rápida queda de valor com a perda de frescor, turgidez, brilho, aparência. A qualidade não pode ser melhorada na pós-colheita - a comercialização uma corrida contra o tempo. A produção de frutas e hortaliças frescas é fragmentada na produção e na origem: milhares de produtores, áreas pequenas, diferentes regiões produtoras com diferentes épocas de colheita. O varejo e o serviço de alimentação precisam de grande diversidade de frutas e hortaliças todos os dias na quantidade suficiente para a sua demanda do momento.

As centrais atacadistas, conhecidas como ceasas, são estruturas de recebimento e distribuição, criadas para garantir o escoamento da produção e o abastecimento da população urbana. O Entreposto Terminal de São Paulo - ETSP, a ceasa paulistana da CEAGESP, é o local de comercialização de 12% da produção nacional de frutas e hortaliças frescas, um dos maiores entrepostos de frutas e hortaliças frescas do mundo. Nos últimos três anos, horticultores de 2.500 dos 5.560 municípios brasileiros, 25 dos 27 estados brasileiros e doze países enviaram produtos para serem comercializados na Ceasa de São Paulo. Ela concentra 38% das frutas e 30% das hortaliças comercializadas nas principais ceasas brasileiras (PROHORT, 2011). Os principais destinos das frutas e hortaliças frescas comercializadas no ETSP são, em ordem de volume: a Região Metropolitana de São Paulo (56%), outros estados brasileiros (22%), o interior paulista (21%) e outros países (menos de 1%).

Existe grande diferenciação de valor na venda do atacado para o varejo por época, variedade, tamanho, qualidade, embalagem e marca. O registro e a avaliação das causas da diferenciação de valor podem subsidiar as decisões dos agentes de produção e de comercialização na busca de maior rentabilidade e oportunidades de mercado.

2. Diferenciação de valor por época - Sazonalidade

O Brasil é grande em área, população, diversidade, complexidade. Cento e noventa milhões de habitantes, concentrados em grandes aglomerações urbanas, ocupam 850 milhões de hectares, situados entre as latitudes +5º16'20" N e -33º44'32" S e as longitudes -34º45'54"L e -73º59'32" e altitudes que variam entre 0 e 2.994 metros. A diversidade geográfica do Brasil garante, para muitas frutas e hortaliças, a existência de diferentes origens de produção em diferentes épocas do ano.

Uma boa produção agrícola exige uma grande parceria com a Natureza. O crescimento das plantas é o resultado da 'mágica' da fotossíntese que transforma luz, água e gás carbônico em alimento e oxigênio. Uma boa parceria com a Natureza exige o conhecimento do comportamento de cada planta e o da melhor região de sua produção e época de plantio (luz, temperatura, fertilidade do solo, altitude, relevo). O plantio na melhor época e região permite maior produção por área (produtividade), melhor qualidade, menor custo de produção, menor ocorrência de pragas e doenças e menor aplicação de insumos como defensivos, menor custo e melhor qualidade do produto para o consumidor. O conhecimento do tempo certo para cada fruta e hortaliça, em cada região, permite o planejamento da produção e da compra na época de melhor custo-benefício.

A sazonalidade das frutas e hortaliças foi calculada a partir dos preços e volumes mensais no período de 1999 a 2009, coletados diariamente pelo SIEM – Sistema de Informação e Estatística de Mercado e pelo Serviço de Cotação de Preços (praticados do atacado para o varejo), da Seção de Economia e Desenvolvimento da CEAGESP de São Paulo. O método de cálculo da sazonalidade foi desenvolvido pelo Centro de Qualidade em Horticultura da CEAGESP e segue as seguintes etapas:

1. Cálculo da variação percentual do preço e do volume em relação à média de cada ano, para cada mês ou semana, em cada ano;

2. Cálculo do CV – coeficiente de variação para cada mês ou semana, em todos os anos estudados, da variação percentual de preço e de volume;
3. Cálculo da média da variação percentual de preço e de volume de cada mês ou semana em todos os anos estudados;
4. Estabelecimento do período de melhor custo-benefício para a compra, de acordo com os seguintes critérios:

   1º O volume do produto no mês ou semana deve ser 05% superior ao seu volume médio mensal;
   2º A variação percentual de preço deve ser 10% abaixo do preço médio mensal ou semanal do ano;
   3º O coeficiente de variação deve ser igual ou inferior a 20;
   4º O comportamento deve ser estável por mais de um mês ou quatro semanas.

A Tabela 1 mostra as situações possíveis de variação percentual em relação às médias anuais de volume e de preço, de acordo com os critérios estabelecidos para a compra.

Tabela 1: Variação percentual em relação as média de volume e preço na compra

Situação	Volume	Preço
Pior compra	Menor que -5%	Maior que +10%
Compra regular	Entre - 5% e + 5%	Entre + 10% e -10%
Melhor compra	Maior que + 5%	Menor que - 10%

5. Estabelecimento do período de melhor custo-benefício para a produção (oferta), de acordo com os seguintes critérios:

   1º O volume do produto no mês ou semana deve ser 05% inferior ao seu volume médio mensal;
   2º A variação percentual de preço deve ser 10% acima do preço médio mensal ou semanal do ano;
   3º O coeficiente de variação deve ser igual ou inferior a 20;
   4º O comportamento deve ser estável por mais de um mês.

A Tabela 2 mostra as situações possíveis de variação percentual em relação às médias de volume e de preço, de acordo com os critérios estabelecidos para a oferta.

Tabela 2: Variação percentual em relação às média de volume e preço na oferta

Situação	Volume	Preço
Pior oferta	Maior que + 5%	Menor que +10%
Oferta regular	Entre - 5% e + 5%	Entre -10% e + 10%
Melhor oferta	Menor que + 5%	Maior que + 10%

As Figuras 1, 2 e 3 mostram a % de variação do preço e do volume mensais em relação ao preço e volume médios do ano, entre 1999 a 2009, da laranja Bahia e dos abacaxis Havaí e Pérola.

A melhor época de compra da laranja Bahia (Figura 1) são os meses de junho a agosto, quando o preço é inferior a 22% do preço médio anual, chegando a 34% em junho e o volume de oferta é superior a 15% do volume médio anual, chegando a 42% em agosto. A melhor época de oferta são os meses de janeiro e fevereiro, com preços 86 e 82% superiores ao preço médio do ano, e o volume de oferta inferior a 30% do volume médio anual. O coeficiente de variação dos preços em cada mês ao longo dos anos é pequeno, mostrando estabilidade de comportamento.

A melhor época de compra de abacaxi Havaí (Figura 2) acontece no mês de dezembro, com volume 83% superior ao volume médio do ano e preços 6% abaixo do preço médio anual. A melhor época de oferta acontece nos meses de janeiro a março, com preços mais que 15% superiores ao preço médio do ano. O coeficiente de variação dos preços em cada mês ao longo dos anos é pequeno, mostrando estabilidade de comportamento.

A melhor época de compra do abacaxi Pérola (Figura 3) acontece nos meses de janeiro e fevereiro, quando o preço é mais que 23% inferior ao preço médio do ano e o volume de oferta é 15% superior ao volume médio mensal. A melhor época de oferta acontece nos meses de outubro a dezembro, quando os preços são mais que 15% superiores ao preço médio do ano e os volumes mais que 6% superiores ao volume médio do ano. O coeficiente de variação dos preços de cada mês ao longo dos anos é pequeno, mostrando estabilidade de comportamento.

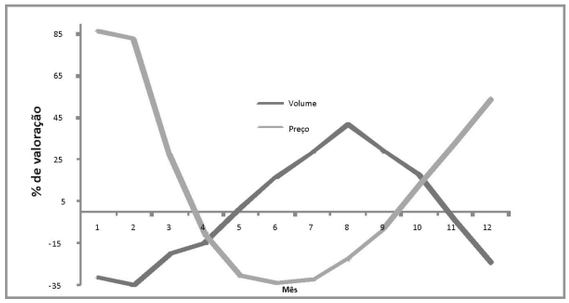


Figura 1: Variação % do preço e do volume mensais da laranja Bahia, em relação ao preço e volume anuais – 1999 e 2009.

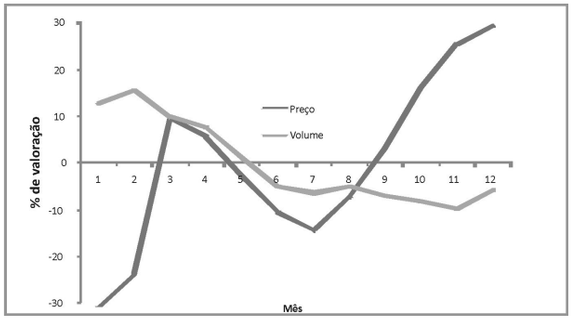


Figura 2: Variação % do preço e do volume mensais do abacaxi Havaí em relação ao preço e volume anuais – 1999 a 2009.

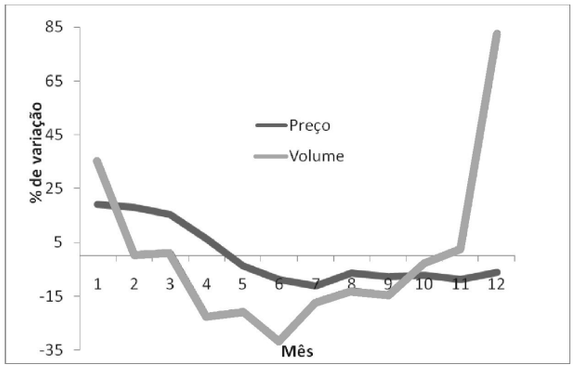


Figura 3: Variação % do preço e do volume mensais do abacaxi Pérola, em relação ao preço e volume anuais – 1999 a 2009.

3. Diferenciação de valor por classificação

A grande diferença de valor, do mesmo produto e variedade, praticada no mesmo dia, em função do tamanho e da qualidade, exige a sua caracterização na comercialização e uma linguagem de denominação das classificações de cada produto. Neste texto, o termo classificação é sinônimo de homogeneidade de tamanho. Diferentes classificações ou tamanhos podem ter o mesmo valor na comercialização, formando grupos de valoração, compostos por classificações de valor semelhante.

Diferentes denominações de classificação podem ser utilizadas para o mesmo produto, pelos agentes de produção, de comercialização e de informação. O serviço de "Cotação de Preços" da CEAGESP levanta os preços diários, praticados do atacado para o varejo, de classificações de valores diferentes de 74 frutas e 95 hortaliças e suas variedades. A denominação utilizada pela CEAGESP pode não corresponder exatamente à denominação utilizada pela maioria dos atacadistas da CEAGESP. É possível estabelecer a equivalência entre as denominações da "Cotação de Preços" da CEAGESP, a dos atacadistas e as características mensuráveis utilizadas nas normas de classificação do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura.

O Programa HortiEscolha, desenvolvido pelo Centro de Qualidade em Horticultura - CQH - da CEAGESP, desenvolveu uma ferramenta de escolha entre classificações do mesmo produto, para ser utilizada pelo Serviço de Alimentação Escolar. O Índice de Escolha é o indicador da classificação de melhor custo-benefício para cada produto. O Índice de Escolha é o resultado da divisão do Índice de Aproveitamento pelo Índice de Valoração. O Índice de Valoração utiliza os dados da "Cotação de Preços" da CEAGESP e é a média das relações, entre os preços diários das classificações mais valorizadas com o da classificação menos valorizada, ao longo de vários anos. O Coeficiente de Variação do Índice de Valoração é baixo, mostrando estabilidade de comportamento.

A Tabela 3 mostra os índices de valoração das diferentes classificações (grupos de valoração) de alguns produtos, calculados a partir dos dados diários da "Cotação de Preços" da CEAGESP, de 2005 a 2009. Podemos ver, por exemplo, que a beterraba de classificação mais valorizada é 95% mais cara que a menos valorizada, e a de valor médio vale 46% mais que a menos valorizada. O chuchu verde-escuro, conhecido como chuchu preto, da classificação mais valorizada vale mais que o dobro da classificação menos valorizada, e o da classificação de preço médio vale 53% mais que o da classificação menos valorizada.

Tabela 3: Índice de valoração de algumas frutas e hortaliças frescas

Produto	Grupos de valoração			
	I	II	III	IV
Abacaxi Havaí	1,66	1,32	1,00	
Abacaxi Pérola	1,49	1,24	1,00	
Laranja Baia	1,47	1,24	1,00	
Laranja Lima e Pera	1,43	1,23	1,00	
Tangerina Ponkan	1,50	1,25	1,00	
Melão Amarelo	1,42	1,39	1,20	1,00
Alho	1,58	1,39	1,18	1,00
Batata	1,75	1,00	1,00	
Batata Doce	1,62	1,08	1,00	
Beterraba	1,95	1,46	1,00	
Cebola	1,23	1,22	1,00	
Cenoura	1,64	1,29	1,00	
Chuchu verde-claro	1,96	1,44	1,00	
Chuchu verde-escuro	2,06	1,53	1,00	

As Figuras 4, 5, 6 e 7 mostram as diferenças de valor entre as classificações de tomate, abobrinha, mandioquinha salsa e manga.

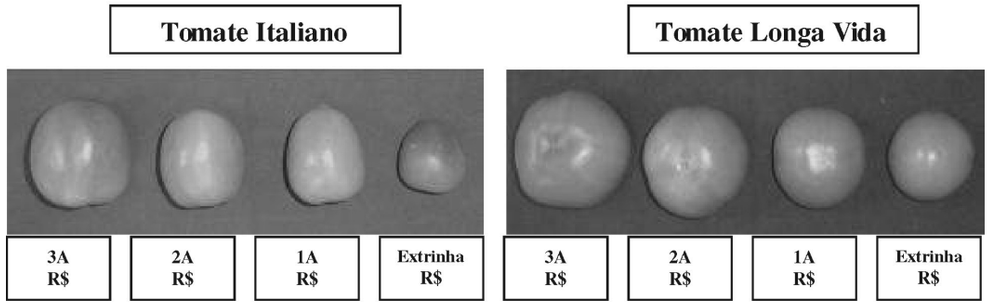


Figura 4: Valor em R$ das diferentes classificações de tomate tipo italiano e longa vida, por caixa de 20 Kg, em 29/06/2011.

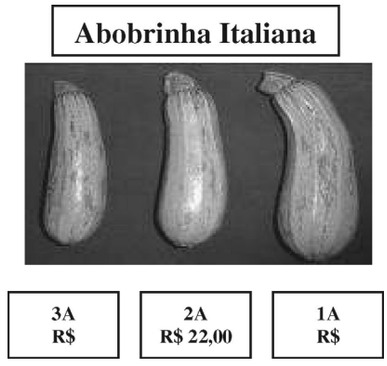


Figura 5: Valor em R$ das diferentes classificações de abobrinha , por caixa de 20 Kg, em 29/06/2011.

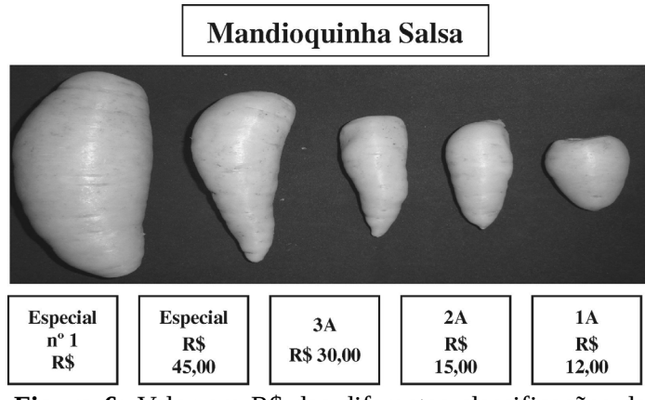


Figura 6: Valor em R$ das diferentes classificações da mandioquinha salsa, por caixa de 20 Kg, em 29/06/2011.

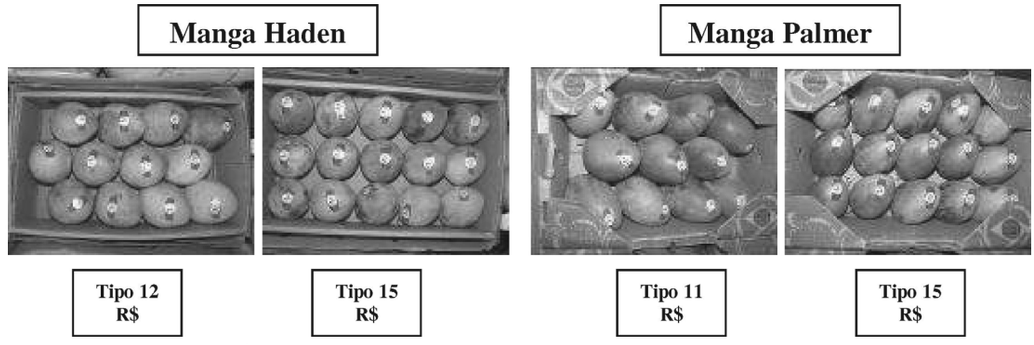


Figura 7: Valor em R$ das diferentes classificações das variedades de mangas Haden e Palmer, por caixa de 6 kg, em 15/06/2011.

A equivalência entre as diferentes denominações de classificação e as características mensuráveis de tamanho estabelecidas pelas normas de classificação do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura está sendo determinada para cada produto pelo Centro de Qualidade em Horticultura da CEAGESP, pela medição das características das diferentes classificações de cada produto e pelo estabelecimento dos grupos de valoração (agrupamento de classificações com o mesmo valor de mercado).

A Tabela 4 mostra a equivalência entre os grupos de valoração e as denominações da "Cotação de Preços" da CEAGESP. Podemos ver na tabela que as três classificações da laranja Bahia – A, B e C levantadas pela "Cotação de Preços" da CEAGESP, correspondem às classes de valor I, II e III.

A Tabela 5 apresenta as características mensuráveis de tamanho e suas unidades de medida para algumas frutas e hortaliças frescas. O maior diâmetro equatorial em mm é a medida de tamanho da laranja Bahia e de outros frutos cítricos.

A Tabela 6 mostra a equivalência entre os grupos de valoração e as características mensuráveis de tamanho.

A laranja Bahia do grupo de classificações mais valorizada tem diâmetro superior a 90 mm (denominada "A" na Cotação de Preços" da CEAGESP) e valor 47% superior à laranja Bahia menos valorizada (denominada "C" na Cotação de Preços" da CEAGESP).

Tabela 4: As denominações de classificação dadas aos grupos de valoração pela "Cotação de Preços" da CEAGESP

Produto	**Grupos de valoração**			
	I	**II**	**III**	**IV**
Abacaxi Havaí	Graúdo	Médio	Miúdo	
Abacaxi Pérola	Graúdo	Médio	Miúdo	
Laranja Bahia	A	B	C	
Laranjas Lima e Pera	A	B	C	
Tangerina Ponkan	A	B	C	
Melão amarelo	9 e 10	6 e 7	5 e 8	11 e 12
Alho	7	6	5	4
Batata	Especial	Especialzinha	Primeirinha/Segundinha	
Batata-doce amarela	Extra AA	Extra A	Extra	
Batata doce rosada	Extra AA	Extra A	Extra	
Beterraba	Extra AA	Extra A	Extra	
Cebola	Graúda	Média	Miúda	
Cebola roxa	Graúda	Média	Miúda	
Cebola importada	Graúda	Média	Miúda	
Cenoura	Extra AA	Extra A	Extra	
Chuchu	Extra AA	Extra A	Extra	

Tabela 5: Características e unidades utilizadas para a mensuração de tamanho das classificações

Produto	Característica	Unidade
Abacaxi Havaí	Peso	kg
Abacaxi Pérola	Peso	kg
Laranja Bahia	Diâmetro	mm
Laranjas Lima e Pera	Diâmetro	mm
Tangerina Ponkan	Diâmetro	mm
Melão Amarelo	Fruto na caixa de 13 kg*	Unidade
Alho	Diâmetro	mm
Batata	Diâmetro	mm
Batata-doce amarela	Peso	gramas
Batata-doce rosada	Peso	gramas
Beterraba	Diâmetro	mm
Cebola	Diâmetro	mm
Cenoura	Comprimento	mm
Chuchu	Peso	gramas

*A variação de peso entre fruto de maior e de menor tamanho pode ser no máximo de 40%

Tabela 6: A medida de tamanho de cada grupo de valoração

Produto	Grupo de valoração			
	I	II	III	IV
Abacaxi Havaí	Maior que 1,80	1,50 a 1,80	1,20 a 1,50	
Abacaxi Pérola	Maior que 1,50	1,20 a 1,50	0,90 a 1,20	
Laranja Bahia	Maior que 90	80 a 90	Menor que 80	
Laranjas Lima e Pera	Maior que 72	72 a 65	Menor que 65	
Tangerina Ponkan	Maior que 82 até 92	70 a 82	62 a 69	
Melão amarelo	9 a 10	6 a 7	5 a 8	11 a 12
Alho	Maior que 70	60 a 69	50 a 59	40 a 49
Batata	42 a 70	33 a 41	28 a 32	Maior que 450
Batata-doce amarela	150 a 450	Maior que 450	70 a 149	
Batata-doce rosada	150 a 300	Maior que 300	70 a 149	
Beterraba	90 a 120	50 a 90	Menor que 50	
Cebola	75 a 90	60 a 74	45 a 59	
Cenoura	220 a 260	180 a 219	140 a 179	
Chuchu	Menor que 250	250 a 450	Maior que 450	

4. Diferenciação de valor por qualidade

Existe grande diferenciação de valor por qualidade entre produtos de mesmo tamanho, de mesma variedade, no mesmo dia. O Centro de Qualidade em Horticultura da CEAGESP desenvolveu uma metodologia de determinação dos atributos responsáveis pela valoração do produto e a importância de cada atributo na diferenciação de valor, que obedece às seguintes etapas:

1ª Levantamento dos atributos determinantes do valor do produto junto aos principais atacadistas do ETSP;

2ª Construção e validação, junto aos atacadistas, de um gabarito com três níveis de avaliação visual por atributo, com notas estabelecidas para cada um dos níveis;

3ª Levantamento no ETSP de lotes de mesma classificação de tamanho que apresentem os maiores e menores preços (máximo e mínimo) em cada dia;

4ª Avaliação dos atributos dos lotes, de preços máximo e mínimo, conferindo nota a cada atributo de acordo com o gabarito, utilizando as notas estabelecidas para cada nível e entre os níveis;

5ª Construção do qualigrama - representação gráfica comparando a avaliação dos atributos dos produtos de preço máximo com os de preço mínimo;

6ª Determinação da participação e da importância do atributo na diferenciação de valor do produto, através da relação, entre as notas por atributo, do produto de preço máximo e o de preço mínimo. O atributo é importante na valoração, se a relação for maior que um;

7ª A diferença percentual de valor entre os preços máximo e mínimo a cada dia é a medida da diferenciação de valor praticada.

O Programa Garantia de Sabor, fruto da parceria entre a Bayer CropScience, a CEAGESP e a HortiBrasil, desenvolveu, como parte do sistema de informação de apoio à tomada de decisão do produtor parceiro do Programa, a avaliação da qualidade, duas vezes por semana de melão amarelo, abacaxi e uva dos lotes de preços máximos e mínimos, em comercialização no Entreposto Terminal de São Paulo.

Os gabaritos de melão, abacaxi e uva foram desenvolvidos, e os atributos dos produtos de preços máximo e mínimo foram avaliados duas vezes por semana, durante todo o ano de 2008. A Figura 8 mostra os gabaritos de melão amarelo e de abacaxi Pérola, e a Figura 9 um exemplo do qualigrama e da tabela de avaliação.

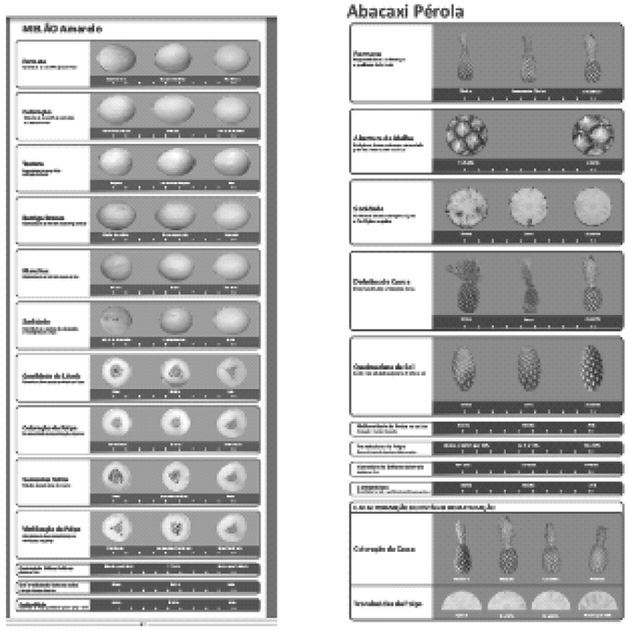
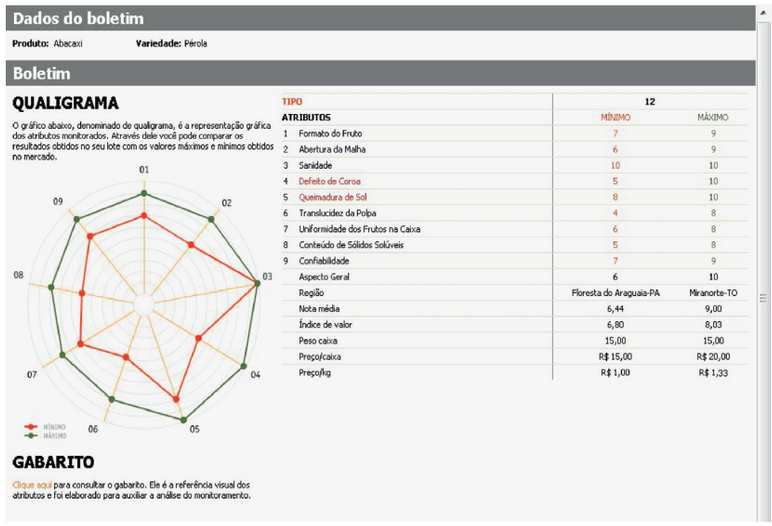


Figura 8: Gabaritos de melão amarelo e abacaxi Pérola



TIPO		12	
	ATRIBUTOS	MÍNIMO	MÁXIMO
1	Formato do Fruto	7	9
2	Abertura da Malha	6	9
3	Sanidade	10	10
4	Defeito de Coroa	5	10
5	Queimadura de Sol	8	10
6	Translucidez da Polpa	4	8
7	Uniformidade dos Frutos na Caixa	6	8
8	Conteúdo de Sólidos Solúveis	5	8
9	Confiabilidade	7	9
	Aspecto Geral	6	10
	Região	Floresta do Araguaia-PA	Miranorte-TO
	Nota média	6,44	9,00
	Índice de valor	6,80	8,03
	Peso caixa	15,00	15,00
	Preço/caixa	R$ 15,00	R$ 20,00
	Preço/kg	R$ 1,00	R$ 1,33

Figura 9: Qualigrama e tabela de avaliação do abacaxi pérola

Os resultados no ano de 2008 para o melão amarelo mostram uma diferença média de valor, entre os preços máximo e mínimo, de 85%, dos lotes de mesma classificação de tamanho. Foram avaliados 13 atributos: formato, coloração, textura, barriga branca, manchas, sanidade, qualidade do lóculo, coloração da polpa, sementes soltas, vitrificação da polpa, conteúdo de sólidos solúveis, uniformidade de frutos na caixa. Cinco atributos são mais importantes na diferenciação do valor, medida pela relação entre as notas dos produtos, de preços máximo e mínimo de cada avaliação: formato (1,49), coloração (1,50), barriga branca (2,09) e manchas (1,31), conteúdo de sólidos solúveis (1,49).

Os resultados no ano de 2008 para o abacaxi Pérola mostram uma diferença média de valor, entre o preço máximo e mínimo, de 48%, de lotes de mesma classificação de tamanho. Foram avaliados 9 atributos, com diferentes contribuições para a diferenciação de valor, medida pela relação entre as notas de preços máximo e mínimo de cada avaliação: formato do fruto (1,52), abertura da malha (1,62), defeito de coroa (1,10), sanidade (1,06), queimadura de sol (1,07), uniformidade dos frutos na caixa (1,15), translucidez da polpa (1,41), conteúdo de sólidos solúveis (1,38).

O trabalho de dissertação da engenheira-agrônoma Sabrina Leite de Oliveira, orientada pelo Dr. Marcos David Ferreira, "Valoração dos atributos do tomate de mesa: um estudo com atacadistas da CEAGESP" na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em janeiro de 2011, introduziu, na metodologia proposta pelo Centro de Qualidade em Horticultura da CEAGESP, além da intensidade do atributo, a sua freqüência de ocorrência. Uma amostra de cada lote é avaliada, os frutos, separados em grupos de qualidade por atributo, contados e as notas de avaliação são dadas para cada grupo de qualidade na amostra. A nota de cada grupo de qualidade é o resultado da multiplicação da nota pela participação dos frutos daquele grupo na amostra total. A nota final é o resultado da soma das notas de todos os grupos. Vamos tomar como exemplo o "dano superficial", um atributo que desvaloriza o tomate. Foram retiradas 30 frutas de cada caixa e separadas em grupos de diferentes notas de avaliação, seguindo o gabarito de avaliação. A relação entre o número de frutos que recebeu nota 3 com o número de frutos na amostra é multiplicada pela nota 3 e assim sucessivamente. A soma dos resultados dos vários grupos é a nota final do lote para o dano superficial. No período do trabalho, a diferença média de valor entre os tomates de mesma classificação foi de 196% para o tomate miúdo, de 106% para o tomate de tamanho médio e de 44% para o tomate graúdo. Os atributos mais importantes na diferenciação de valor por qualidade foram: ausência de danos superficiais de casca e utilização de embalagem com proteção adequada contra danos mecânicos.

A grande diferenciação de valor por qualidade praticada no mesmo dia, para o mesmo produto, da mesma variedade e classificação por tamanho, é a base do trabalho desenvolvido, que identifica as causas da diferenciação de valor e a importância de cada uma.

Alguns pontos da metodologia ainda precisam ser desenvolvidos:

1. A medida e a aferição da nota para a confiabilidade do produto e para a força da marca do produto;
2. A variação da diferença de valor entre os preços máximo e mínimo oscila com a época do ano, com a oferta e a demanda e deve ser ponderada na avaliação da importância do atributo na valoração do produto;
3. A ocorrência de podridões no mercado atacadista, na maioria dos produtos, é rara e, quando acontece, leva à extrema desvalorização do produto e à sua comercialização como um produto de segunda, não avaliado pelo trabalho. Este fato pode levar o atributo "Sanidade" e outros descartados na lavoura a não serem considerados como determinantes no valor;
4. O gabarito visual está restrito a três notas de avaliação. O avaliador pode dar notas nos intervalos do gabarito, sem parâmetro visual.

O conhecimento dos atributos e da sua importância na diferenciação de valor é uma ferramenta poderosa para a melhoria da competitividade e da rentabilidade do produtor de frutas e hortaliças frescas, e pode orientar as linhas de pesquisa e extensão na pós-colheita das frutas e hortaliças frescas e alavancar a modernização dos sistemas de produção e de pós-colheita pelo "bolso". A perspectiva de lucro, de melhoria de vida é o melhor impulso de mudança.

Referência

PROHORT - Programa de Modernização do Mercado Hortigranjeiro. **Relatórios 2011.** Disponível em: <http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Prohort>. Acesso em: 20 jun. 2011.

Novas Tecnologias

Capítulo 9

Análise da Qualidade de Frutas por Ressonância Magnética Nuclear

Lucimara Aparecida Forato
Luiz Alberto Colnago
Rubens Bernardes Filho

1. Introdução

A ressonância magnética nuclear (RMN) é uma das principais técnicas analíticas e vem sendo aplicada na análise de sustâncias em solução, no estado sólido e até mesmo em imagens de seres humanos. As principais vantagens da RMN em relação aos métodos tradicionais são: técnica não invasiva, não destrutiva e não usa radiação ionizante como as técnicas raios X.

As aplicações da RMN podem ser divididas em aplicações espectroscópicas e de imagens. Nas aplicações espectroscópicas, a RMN vem sendo usada para determinação de estrutura e dinâmica molecular, concentração dos componentes em uma amostra heterogênea, de processo de difusão e fluxo e muitas outras aplicações. As aplicações de imagens por RMN (IRM) são usadas principalmente para a análise da distribuição espacial da água ou de outros componentes de alta mobilidade molecular, como os óleos e gorduras.

Na área de fruticultura, a RMN vem sendo usada para estudos fisiológicos, de injúrias mecânicas e por pragas e doenças, e também de atributos relacionados com o paladar, como sólidos solúveis (^{0}Brix), textura entre outras aplicações (ANDAUR et al., 2004; BISCEGLI et al., 2000; RIBEIRO et al., 2010).

2. Fundamentos da RMN

A RMN é observada em núcleos de alguns isótopos que possuem momento angular intrínseco (L) ou spin ($I \neq 0$), como os ^{1}H, ^{13}C, ^{15}N, ^{17}O, entre outros (GIL; GERALDES, 1987). Quando esses isótopos são submetidos a um campo magnético estático denominado B_0, eles se orientam num movimento de precessão em relação ao eixo B_0 (convencionado como eixo z).

O fenômeno de RMN pode ser descrito classicamente com os momentos magnéticos, precessionando em torno do campo magnético B_0 com velocidade angular igual a $\omega_0 = \gamma B_0$, onde γ = razão magnetogírica e ω_0 = velocidade angular de precessão (rad/s).

No modelo vetorial, amplamente utilizado em RMN, os momentos magnéticos individuais (μ) estão distribuídos aleatoriamente no plano xy, como ilustra a Figura 1a. Devido à diferença de energia entre os níveis, há sempre um excesso de população no nível relativo aos μ alinhados a favor de B_0 (á), na condição de equilíbrio térmico. Os μ alinhados contra B_0 (β) são os de maior energia. O vetor resultante do somatório dos vetores individuais μ em relação ao eixo +z é chamado de magnetização resultante ou M_0, a Figura 1b ilustra esse caso.

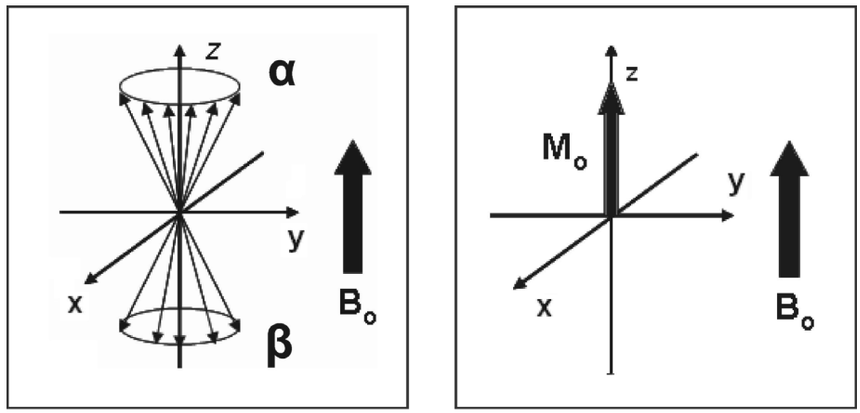


Figura 1: Representação do cone de precessão (a) e do vetor magnetização resultante (M_0) no estado de equilíbrio térmico (b).

Para observar os sinais de RMN, é necessário perturbar a condição de equilíbrio térmico. Tal perturbação é obtida quando um campo magnético oscilante, B_1, na frequência de precessão é aplicado na amostra por meio de uma bobina. No modelo de coordenada girante, o campo B_1 gera um torque sobre a magnetização resultante (M_0) fazendo com que ela se desloque para o plano xy, conforme a Figura 2.

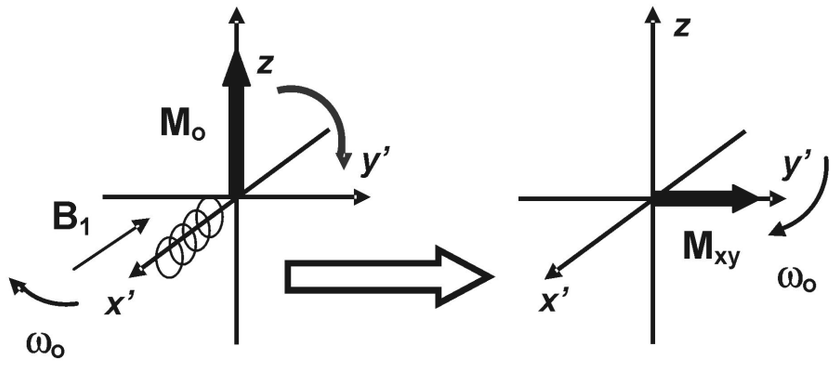
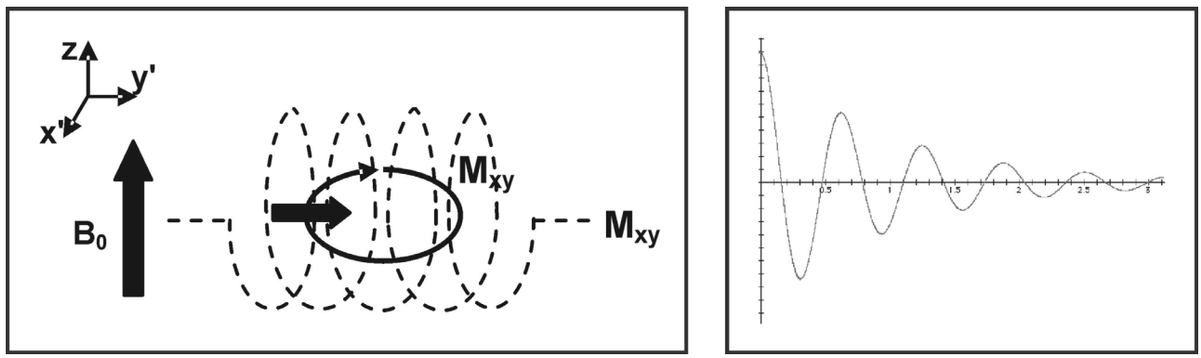


Figura 2: Efeito da aplicação de B1 em M_0 no referencial rotativo.

O ângulo do deslocamento da magnetização (θ) depende de γ, da intensidade de B_1 e do tempo de duração do pulso (τ), onde $\theta = \gamma B_1 \tau$. Logo após o campo B_1 ser desligado, inicia-se o restabelecimento do equilíbrio térmico. Esse fenômeno é conhecido como relaxação. É, também, durante a relaxação que se faz a aquisição do sinal de RMN.

A Figura 3a mostra a rotação da magnetização no plano x'y' (M_{xy}), que induz uma voltagem oscilante na bobina de recepção, cuja frequência é igual à frequência de precessão, (Figura 3b). A voltagem induzida gera um sinal analógico, denominado FID (Free Induction Decay).



(a) (b)

Figura 3: Rotação de M_{xy} na bobina de recepção (a) sinal induzido (FID) (b).

O FID é o sinal de RMN no domínio do tempo e corresponde à somatória de todas as frequências observáveis na amostra. A aplicação da Transformada de Fourier no FID resulta em um espectro no domínio da frequência, usualmente utilizado em RMN de alta resolução.

Após a perturbação do sistema, a magnetização retorna ao estado de equilíbrio térmico, onde $M_{xy} = 0$ e $M_z = M_0$. Esse processo é conhecido como relaxação longitudinal ou spin-rede (GIL; GERALDES, 1987), e é descrito por uma constante de tempo T_1. Além disso, a coerência da magnetização pode desaparecer no plano xy, através da relaxação spin-spin ou transversal, com uma constante de tempo T_2. Esses dois processos são muitos usados para separação dos componentes de uma amostra heterogênea em experimentos de RMN. Também são usados para o contraste de imagens por RMN.

O mecanismo de relaxação responsável por tornar $M_z = M_0$ está intimamente relacionado com o restabelecimento da distribuição de população dos níveis de energia de spin nuclear, envolvendo transferência do excesso de energia potencial magnética do estado excitado para a vizinhança, denominada rede, sob a forma de energia cinética molecular (GIL; GERALDES, 1987).

Esta transferência de energia não é um fenômeno de emissão espontânea, e, sim, o resultado da existência de campos magnéticos flutuantes, que, oscilando com frequências apropriadas em torno da frequência de precessão, tornam a rede capaz de absorver esta energia. Esse processo de transferência é conhecido como relaxação spin-rede ou relaxação longitudinal e é responsável pela recuperação exponencial da magnetização ao longo do eixo z, de acordo com a equação:

$$M_z(t)=M_0[1-\exp(-t/T_1)] \quad (1)$$

onde T_1 = tempo de relaxação spin-rede.

O tempo de relaxação T_1 tem um efeito prático marcante. Se for longo, o tempo total de uma análise de RMN se estende muito, uma vez que cada sequência de pulsos deverá ser precedida por um tempo da ordem de $5T_1$, para que a magnetização recupere 99% de sua intensidade no equilíbrio térmico, evitando a saturação do sinal. O valor de T_1 depende principalmente da mobilidade da substância, do meio, da temperatura da amostra, entre outros fatores.

Ao contrário do que ocorre no processo de relaxação longitudinal, o retorno da magnetização à condição inicial de equilíbrio, $M_{xy}=0$, independe da transferência de energia para o meio. Para que suas componentes no plano xy se anulem, basta que elas percam a coerência de fase, inicialmente criada por B_1, e comecem a precessionar ao redor de B_0 de forma aleatória. Esta perda de coerência é atribuída a interações diretas entre os momentos magnéticos individuais, sem que haja modificação da energia total do sistema, causando um processo de relaxação conhecido como spin-spin ou relaxação transversal (GIL; GERALDES, 1987).

Na presença de um campo magnético estático ideal, $B_0 = 0$, a relaxação transversal é responsável pelo decaimento exponencial da intensidade da magnetização M, obedecendo à seguinte equação:

$$M_{xy}(t)=M_0\exp(-t/T_2) \quad (2)$$

onde T_2= tempo de relaxação spin-spin.

No entanto, a não homogeneidade de campo (ΔB_0) acelera o processo de perda de coerência e normalmente o sinal decai com o T_2 aparente ou T_2*. De um modo geral, o T_2 é curto para substâncias rígidas, principalmente no estado sólido, e longo para moléculas com alta mobilidade, líquidas ou em solução.

2.1 Medida de T_1

O principal método para medida de T_1 é o método denominado de inversão-recuperação (IR) (Figura 4). Este método consiste na aplicação de um pulso de radiofrequência (rf) de 180^0, o que conduz a magnetização ao eixo -z, seguido de um tempo τ e de um pulso de 90^0, antes da aquisição do sinal de RMN. O valor de T_1 é, então, calculado a partir da intensidade do sinal de RMN em função do intervalo de tempo τ (Figura 5). O intervalo de tempo τ precisa ser suficientemente longo, maior que $5T_1$, para que o sinal não sature.

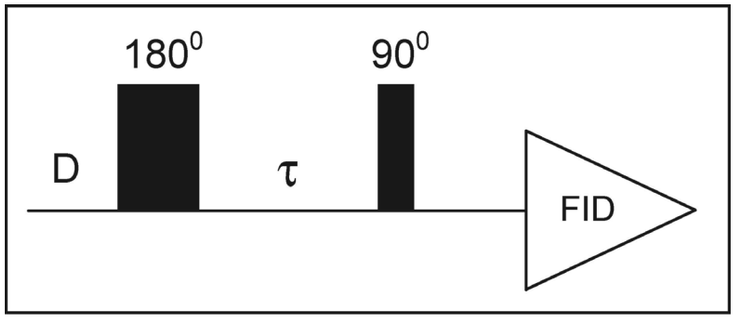


Figura 4: Representação da sequência inversão-recuperação.

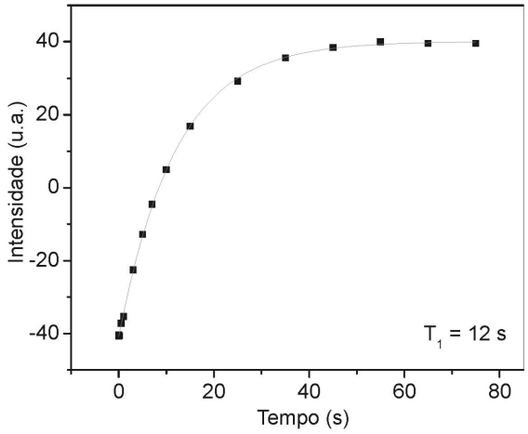


Figura 5: Variação do sinal de RMN usando a sequência de pulso IR.

2.2 Medida de T_2

O método mais usado para a medida de T_2 é conhecido como CPMG (Figura 6), que traz as iniciais de seus autores: Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CARR; PURCELL, 1954; MEIBOOM; GILL, 1958). As sequências de eco como a CPMG recuperam o sinal de RMN na forma de eco de spin, independentemente da não homogeneidade do campo. A sequência CPMG consiste em um pulso de rf de 90^0, aplicado no eixo x', seguido de um intervalo de tempo τ e de um trem de pulsos de 180^0, aplicado no eixo y'. A intensidade do sinal de RMN da sequência CPMG (eco), obtida em função de τ, decai exponencialmente com uma constante de tempo T_2 (Figura 7).

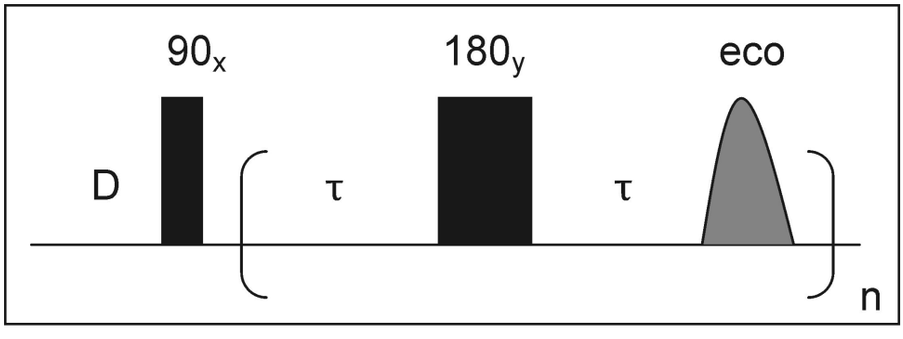


Figura 6: Representação da sequência de pulsos CPMG.

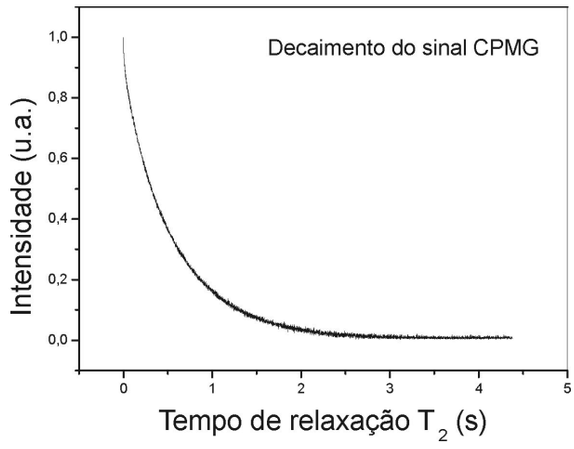


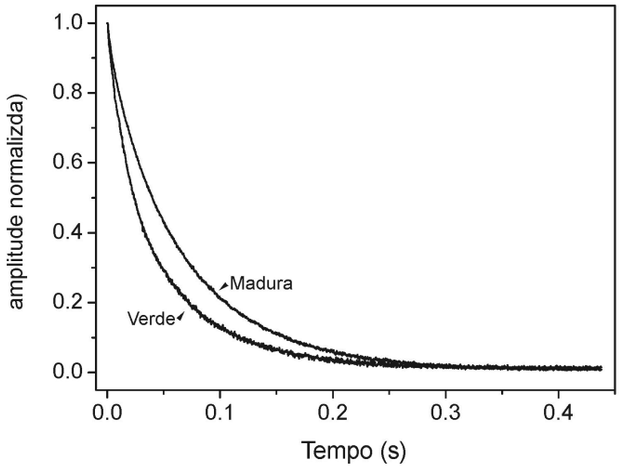
Figura 7: Decaimento exponencial do sinal CPMG.

3. Aplicações da RMN em frutas

3.1 Aplicações da RMN no domínio do Tempo (RMN-DT)

A RMN no domínio do tempo também é conhecida como RMN em baixa resolução ou por RMN em baixo campo. Até a metade da década de noventa, a RMN no domínio do tempo (RMN-DT) era usada principalmente em medidas quantitativas, como medida do teor de óleo em sementes, umidade em alimentos e produtos químicos entre outras. Mais recentemente, com o uso de métodos quimiométricos (PRESTES et al., 2007) e de análise de relaxação multiexponencial (RIBEIRO et al., 2010), tornou-se possível analisar todo o sinal de RMN em baixa resolução (FID, decaimento CPMG, entre outros) e obter outras informações sobre as propriedades físico-químicas das amostras.

Na Figura 8, estão os sinais obtido com a técnica CPMG para uma banana em dois estádios de maturação (RIBEIRO et al., 2010).



(a)

(b)

Figura 8: (a) Sinal CPMG para as bananas amarela e verde (b).

Na banana esses sinais de RMN também são muito sensíveis a danos mecânicos, e o T_2 monoexponencial aumenta com o grau de injúria. Além da banana, tem-se usado a RMN-DT para determinar o conteúdo de açúcar e correlacionar com sólidos solúveis (ºBrix) em frutas, como em uvas Itália. A grande vantagem desse método é que pode ser facilmente automatizado, com potencial para uso em unidades de beneficiamento de frutas.

3.2 Análise por Imagens por RMN (IRM)

A principal característica das análises por imagens por RMN (IRM) é a necessidade de uso de gradientes de campo para codificar as frequências de ressonância com distribuição espacial da água.

Para se realizar os experimentos de IRM, é necessário o uso de três bobinas de gradiente em posições x, y e z. A sequência de pulsos conhecida como spin-eco (SE) com pulsos de gradientes é muito utilizada na aquisição de imagens. Na Figura 9, está um diagrama da sequência eventos da SE para imagens. As linhas superiores têm os pulsos seletivos de rf e os pulsos de gradiente (GS) para selecionar o plano de análise. Este gradiente faz com que os spins comecem a se espalhar mesmo antes de alcançarem o plano transversal. Isso é corrigido com a aplicação de um segundo gradiente (GS), chamado gradiente de refocalização, invertido em relação ao primeiro. Nesta condição, os spins estão em máxima coerência de fase. Aplicam-se, então, os gradientes de codificação de fase (GP) e frequência (GR) que fazem a magnetização evoluir. Em seguida, o pulso de rf (pulso de inversão) inverte as componentes da magnetização. Finalmente, sob a presença do gradiente de leitura, é feita a aquisição do sinal. A sequência SE apresenta dois tempos que, basicamente, a caracterizam, que são os tempos entre a excitação e o centro do eco de spins, chamado de tempo ao eco (TE), e entre duas excitações consecutivas, chamado de tempo de repetição (TR). Esses tempos são importantes, principalmente, no que se refere ao contraste das imagens obtidas quando se utiliza essa sequência (PAIVA, 2004).

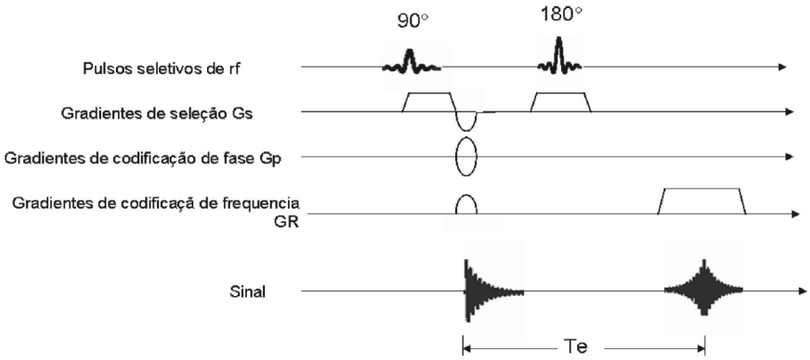


Figura 9: Representação da sequência de pulsos spin-eco (adaptado de PAIVA, 2004). Onde TE: tempo de eco, rf: pulso de rádio frequência, Gs: gradiente de seleção, GP: gradiente de fase e GR, gradiente de codificação de frequência.

A imagem obtida por RMN não tem o mesmo significado do que a de uma fotografia. Ela representa um mapa das intensidades dos sinais de RMN. A imagem é obtida segundo as propriedades da RMN do material em cada posição. Cada voxel (elemento de volume) no objeto contém uma vasta gama de substâncias. Cada substância dá alguma intensidade de sinal resultante, dependendo da natureza da sequência de pulsos e da variação dos parâmetros de tempo. As imagens obtidas por RMN são mapas bidimensionais das intensidades dos volumes discretos dentro da amostra. Os elementos dos mapas são chamados pixels, e a intensidade de cada pixel é influenciada pela densidade de spins, pelo tempo de relaxação spin-rede, T_1, e tempo de relaxação spin-spin, T_2, pelo movimento molecular, efeitos de suscetibilidade e diferenças nos deslocamentos químicos. Os efeitos desses parâmetros na imagem podem ser suprimidos ou realçados num experimento específico, pela seleção de parâmetros realizada pelo operador, tais como o tempo de repetição TR e o tempo de eco TE. Assim, esses parâmetros podem ser usados para contrastar as imagens por densidade de prótons (DP) e por T_1 ou T_2.

As imagens podem ser obtidas com contraste em T_2 pelo aumento do tempo de eco (TE) e fazendo com que TR seja maior do que $5T_1$. Neste caso, o tempo de eco deve ser da ordem de T_2, fazendo com que regiões com T_2 mais longos apresentem ecos mais intensos do que aquelas com T_2 mais curtos. Assim, as regiões com T_2 mais longos serão mais brilhantes, pois apresentam ecos mais intensos. Por outro lado, para se obter imagens ponderadas em T_1, deve-se utilizar o tempo de eco o mais curto possível e diminuir o tempo de repetição (TR). Assim, é possível medir as diferenças de T_1 na amostra, pois regiões com T_1 longos não poderão retornar totalmente à magnetização, visto que o TR é curto. Além disso, elimina-se a influência de T_2, uma vez que usamos um TE curto. Desta forma as regiões, com T_1 curto serão mais brilhantes e apresentarão amplitudes de ecos superiores às de regiões com T_1 longos.

Além da ponderação em T_1 e T_2, é muito comum se utilizar a ponderação em densidade de prótons (PD). Neste tipo de imagem, quanto maior for a densidade de núcleos de hidrogênios local maior será o brilho da imagem. Para se obter tal tipo de imagem, deve-se utilizar um TR longo o suficiente para permitir o retorno da magnetização à condição de equilíbrio. Assim, minimizamos a influência de T_1 e, para eliminar a de T_2, usamos um tempo de eco curto (menor do que T2) (ARAÚJO, 2002; HILLS, 1998).

Na Figura 10a, é apresentada a imagem obtida para uma pera. Com a técnica de spin eco ponderada em PD e 10b ponderada em T_1 (Te = 20 ms e TR = 0,7 s), pode-se ver que praticamente não há diferenças entre as duas imagens, indicando que não foi possível se obter contraste em T_1. Já na Figura 10c, imagem ponderada em T_2 (= 100 ms e TR = 2,0 s), o padrão de contraste é completamente diferente, onde se vê predominância de regiões de menos brilho, com poucas regiões mais brilhantes, sendo estas últimas atribuídas a T_2 mais longos.

Assim, nesta breve descrição, apresentaram-se duas das principais técnicas de RMN que podem ser usadas para a avaliação da qualidade interna de frutas: a RMN no domínio do tempo, que tem potencial para uso em unidades de beneficiamento de frutas e hortaliças; e a IRM, que tem maior uso em pesquisas de laboratório devido ao longo tempo de medida e alto custo dos equipamentos.

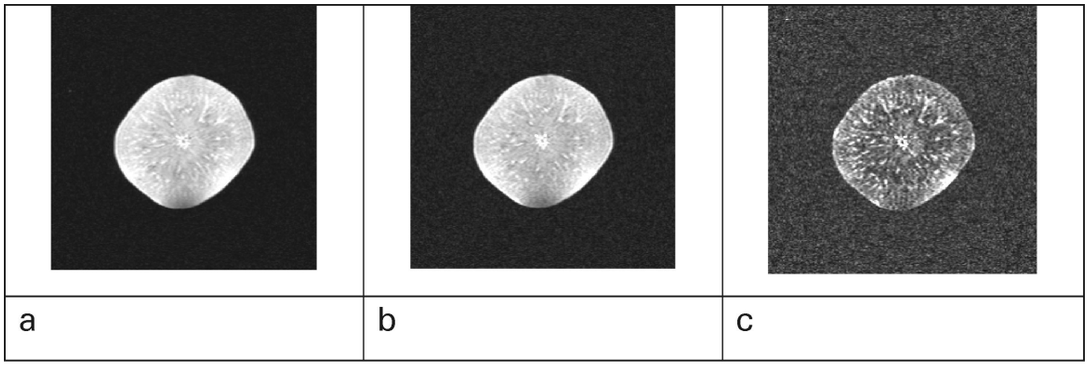


Figura 10: IRM transversais de peras com imagens ponderadas por PD (a); T_1 (b) e T_2 (c).

Referências

ANDAUR, J. E.; GUESALAGA, A. R.; AGOSIN, E. E.; GUARINI, M. W.; IRARRÁZAVAL, P. Magnetic Resonance Imaging for Nondestructive Analysis of Wine Grapes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** Easton, v. 52, p. 165-170, 2004.

ARAÚJO, D. B. **Sobre neuroimagens funcionais por magnetocefalografia e ressonância magnética:** novos métodos e aplicações. 2002. 172 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002.

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; 35).

CARR, H. Y.; PURCELL, E. M. Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments. **Physical Review,** [S. l.], v. 94, p. 630-638, 1954.

GIL, V. M. S.; GERALDES, C. F. G. C. **Ressonância Magnética Nuclear:** fundamentos, métodos e aplicações. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987.

HILLS, B. **Magnetic Resonance Imaging In Food Science.** New York: John Willey & Sons, 1998.

MEIBOOM, S.; GILL, D. Modified spin-echo method for measuring nuclear relaxation times. **Review of Scientific Instruments,** New York, v. 29, p. 688-691, 1958.

PAIVA, F. F. **Metodologias de Imagem de NMR que utiliza um único pulso adiabático de inversão.** 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.

PRESTES, R. A.; COLNAGO, L. A.; FORATO, L. A.; VIZZOTTO, L.; NOVOTNY, E. H.; CARRILHO, E. A rapid and automated low resolution NMR method to select intact oilseeds with a modified fatty acid profile. **Analytica Chimica Acta,** Amsterdam, v. 596, p. 325-329, 2007.

RIBEIRO, Z. F.; MARCONCINI, L. V.; TOLEDO, I. B.; AZEREDO, R. B.V.; BARBOSA, L. L.; COLNAGO, L. A. Nuclear magnetic resonance water relaxation time changes in bananas during ripening: a new mechanism. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** London, v. 90, p. 2052–2057, 2010.

Capítulo 10

Rede de Sensores sem Fio e Computação Ubíqua na Agropecuária

André Torre Neto

1. Introdução

Como ilustrado na Figura 1, a coleta automática de dados no campo agrícola pouco evoluiu, se comparada com a automação nas áreas urbana e industrial. Se no ambiente rural prevalecem as Estações Climatológicas com arquitetura centralizada e alguns poucos sensores individualmente conectados a entradas específicas e sem padronização, no ambiente urbano e industrial é predominante o emprego de sensores inteligentes interligados por barramentos digitais que propiciam o uso de múltiplos sensores ou atuadores interligados por cabeamento único e com padronização. Para citar alguns, tem-se o ProfiBus, LonWorks, DeviceNet, ControlNet, entre outros (FIELD Buses, c2011). O protocolo SDI-12 (SDI-12... [2009]), proposto para coleta de dados ambientais, é o mais importante barramento adotado por fabricantes de equipamentos e sensores para o campo. Entretanto, esse padrão apresenta deficiências, entre elas a taxa de comunicação limitada a 1200 bauds (bits/seg) e o comprimento do barramento limitado a 60 metros. Também deve ser lembrado que, no caso de máquinas e implementos agrícolas, encontra-se o ISOBus (ISOBUS, 2010), uma especificação baseada no CAN - *Controller Area Network* - criada principalmente para atender a agricultura de precisão.

O que deve revolucionar a coleta de dados ambientais e os sistemas de monitoramento e controle no campo agrícola são as redes de sensores sem fio (RSSF) e a computação ubíqua. As RSSF são o resultado da rápida convergência de três tecnologias-chave: os circuitos digitais, a comunicação sem fio e os microssistemas eletromecânicos (MEMS – *Micro Electro-Mechanical Systems)*. Os recentes avanços na engenharia de projetos de circuitos integrados levaram a uma significativa redução no tamanho, consumo de energia e custo da microeletrônica. Surgiram, assim, dispositivos autônomos (os Nós das RSSF), cada um contendo um ou mais sensores e com capacidade computacional e de comunicação que os capacitam a formar redes. A concepção da computação ubíqua é a fusão dos computadores com o ambiente, a ponto de tornarem-se invisíveis para os usuários. A ideia é que se tenham objetos do dia a dia com sua aparência e funcionalidade originais, porém agregando a capacidade computacional e a de comunicação inerentes das RSSF. A miniaturização já permite a implementação de muitos artefatos assim; entretanto, as fontes de energia não evoluíram com a mesma eficiência. A otimização do consumo de energia é o que permite que a vida útil dos Nós das RSSF esteja em torno de alguns anos. De qualquer forma, o estado da arte e os componentes oferecidos no mercado já possibilitam inúmeras aplicações.

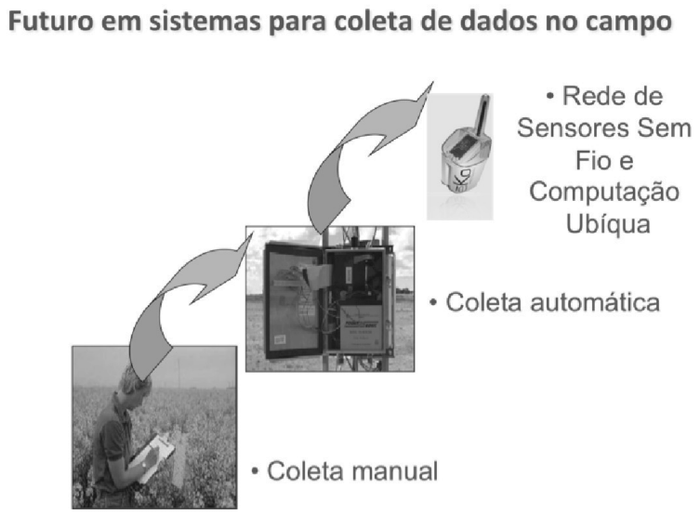


Figura 1: Os sistemas de coleta automática de dados no campo são majoritariamente convencionais, representados principalmente pelas Estações Agrometeorológicas que usam sensores individualmente conectados a coletores de dados com arquitetura centralizada, sem padronização. As redes de sensores sem fio e os sistemas ubíquos devem revolucionar esse quadro.

2. Aplicações das RSSF na agropecuária

A elevação dos custos de produção, principalmente com as altas dos agroquímicos, as exigências dos mercados por alimentos mais seguros, a preocupação crescente com a contaminação ambiental e as mudanças climáticas são fatores que têm contribuído para intensificar a presença dos grandes avanços da microeletrônica nos campos agrícolas. Atualmente, é comum embarcar nas cabines dos tratores e máquinas, terminais eletrônicos ligados a receptores GPS e conectados a uma ampla rede de sensores e atuadores distribuídos no motor, nas rodas e, especialmente, nos implementos, para a prática da agricultura de precisão (SRINIVASAN, 2007). Seguindo a tendência da indústria automobilística, essa rede de instrumentos tem sido estabelecida com o protocolo *Control Area Network*, CAN, sobre um barramento, o ISOBus, que circula entre as diversas partes de interesse (MUNACK; SPECKMANN, 2001). A produção animal é outro exemplo a ser considerado. A substituição dos antigos sistemas de marcas por identificadores eletrônicos, inicialmente na forma de brincos com códigos de barra, e mais recentemente com os dispositivos conhecidos por *Radio Frequency Identification*, RFID, é uma realidade que permite não somente a identificação, como também a rastreabilidade nessa cadeia produtiva (SAHIN et al., 2002).

Se, por um lado, existem soluções consagradas como os exemplos acima citados, por outro, o recente desenvolvimento das redes de sensores sem fio poderá ampliar ainda mais a presença da tecnologia eletrônica no agronegócio. O uso de instrumentos transmitindo dados via rádio ou via infravermelho no ambiente agrícola requer uma revolução e padronização. A vantagem óbvia é a grande facilidade de instalação e manutenção de sistemas operando sem fio no campo. Entretanto, diante das possibilidades de aplicações da computação ubíqua, através da rede de sensores sem fio, a ser estabelecida no campo e atravessando as porteiras, os benefícios serão ainda maiores (WANG et al., 2006). Imagine-se a potencial economia de insumos e a menor contaminação ambiental que poderia trazer uma extensão da eletrônica embarcada no controle de processos como a pulverização ou a quimigação realimentados por informações da variabilidade espacial de parâmetros em tempo real obtidos por uma rede de sensores monitorando as plantas e o solo. Na produção animal, com a substituição dos RFIDs por dispositivos sensores que ampliem as funcionalidades de identificação para o monitoramento em tempo real do comportamento e saúde animal, rapidamente, indivíduo por indivíduo, o produtor diagnosticaria problemas antes de se tornarem endêmicos. Fora da porteira, o monitoramento em tempo real, caixa por caixa de frutas e hortaliças, das condições de armazenamento, transporte e distribuição de produtos perecíveis, garantiria informações precisas sobre o tempo de prateleira.

Diante dessas inúmeras demandas, foram selecionadas seis linhas de aplicações a serem detalhadas a seguir: a) pulverização de precisão, b) irrigação de precisão, c) monitoramento da fertilidade no solo d) monitoramento e rastreamento animal, e) monitoramento vegetal e f) mudanças climáticas e problemas fitossanitários.

2.1 Pulverização de precisão

A pulverização de agroquímicos é um processo frequente em culturas perenes e que pode representar até 60% dos custos da produção, como é o caso da citricultura. Entretanto, como mostra a Figura 2, ocorrem perdas significativas de produtos pelos excessos praticados devido ao receio do recobrimento falho. Na tentativa de minimizar as perdas e otimizar a aplicação, são usados papéis sensíveis e a coleta de resíduos para a regulagem dos bicos de pulverização.

Figura 2: O uso de papel sensível e coleta de resíduos para o controle de perdas no processo de pulverização. Imagens obtidas na Fazenda Entre Rios de propriedade da Fischer Agropecuária em oportunidade de realização de um dia de campo sobre pulverização.

Nesta atividade, um conceito de controle baseado na comunicação máquina com máquina (*Machine to Machine based process control*, M2M) pode ser aplicado no estabelecimento do controle da pulverização de agroquímicos em pomares. Para a concretização dessa idéia, prevê-se o desenvolvimento de sensores, possivelmente baseados em microssistemas eletromecânicos (MEMS), mimetizando a forma e a textura de folhas para a medida do padrão de molhamento foliar e escorrimento. Ligados a uma rede sem fio, tais sensores realimentarão a eletrônica embarcada dos pulverizadores para o estabelecimento da pressão e velocidade ideais para se conseguir a máxima cobertura das folhas, nas posições de interesse e, ao mesmo tempo, mínimas perdas para o ambiente.

2.2 Irrigação de precisão

Em projeto PIPE FAPESP (Programa de Inovação em Pequenas Empresas da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo), contando ainda com o apoio do projeto em rede NAMITEC financiado pelo CNPq (Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica do Conselho Nacional de Pesquisa), uma rede de sensores sem fio e todo o suporte de software com banco de dados espaçotemporal e programa gerenciador com funcionalidades de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) foram desenvolvidos para o controle da irrigação espacialmente diferenciada por zonas de manejo (Figura 3). A especificação foi feita em conjunto com a Embrapa, que implementou a versão do sistema baseada em componentes discretos, enquanto que no NAMITEC foram desenvolvidos os principais circuitos que comporão a versão SOC (System On Chip) dos Nós do mesmo sistema. A próxima etapa consiste em finalizar este SOC no atual INCT NAMITEC (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Nano e Microeletrônica) e realizar a avaliação econômico-ambiental do sistema, ou seja, determinar qual é a economia de água e energia possível através da irrigação de precisão. Tal avaliação está prevista em pomares de citricultura no Estado de São Paulo, região de Araraquara, e vitivinicultura no Estado de Pernambuco, vale do rio São Francisco, região de Petrolina.

Figura 3: A Plataforma Tecnológica para Irrigação de Precisão desenvolvida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária é composta de diversos componentes de hardware e software, a saber: Nós sensores de umidade e temperatura no solo; Estações de Campo para retransmissão de longa distância; Válvulas solenóides "Latching" adaptadas como Nós da rede; Computador de mão com programas que facilitam a instalação e manutenção da rede de sensores; e Programa Gerenciador com funcionalidades de sistema de informações geográficas, SIG, operando junto à base de dados espaçotemporal. Um Laboratório Móvel foi montado para a instalação e manutenção de unidades-piloto de demonstração.

2.3 Monitoramento da fertilidade do solo

Dentre os insumos agrícolas, os fertilizantes são a principal causa das pressões econômicas no sistema de produção. No Brasil, a prática do plantio direto sobre a palha e as novas técnicas de fixação de nitrogênio são respostas a essa pressão. Aliadas a sistemas de monitoramento e controle, tais respostas poderiam ser ainda mais efetivas. O desenvolvimento de sensores que determinem a concentração de íons, como nitrato, fósforo, potássio e teor de matéria orgânica no solo é de fundamental importância no processo de otimização da fertilização. Um trabalho neste sentido vem sendo desenvolvido com sensores químicos, baseados em potenciometria e membranas íons seletivas, com a participação da Embrapa Pecuária do Sudeste, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Universidade Federal de São Carlos e Universidade Autônoma de Barcelona (Figura 4). Trabalha-se, atualmente, na interface e avaliação desses sensores, como Nós de RSSF para monitoramento *in situ* e mapeamento da fertilidade em tempo real. Tanto a fertilização como a fertirrigação espacialmente diferenciada devem ser contempladas com os resultados.

Figura 4: Sonda de fertilidade do solo desenvolvida com sensores potenciométricos e membranas seletivas a íons para amônia, nitrato, ácido fosfórico e potássio.

2.4 Monitoramento, rastreabilidade e ambiência na produção animal

A identificação de animais por RFID passa por questões práticas, como a padronização e a normatização, além de econômicas, como a pequena diferença paga pelo produto rastreado. Tais questões limitam sua adoção, principalmente no mercado nacional. O passo seguinte aos RFID seriam as redes de sensores sem fio. Para o produtor, o emprego dessa tecnologia traria vantagens adicionais, já que permitiria o monitoramento do comportamento e saúde animal, bem como sua localização em tempo real (Figura 5). Entretanto, a viabilidade econômica é uma barreira a ser superada. Tem-se trabalhado na adaptação de dispositivos de rede de sensores sem fio, na forma de brincos ou colares, para serem avaliados no monitoramento de animais sob manejo extensivo. Com a adaptação de simples microfones para transmitirem no padrão digital sem fio, já é possível a verificação de vários fatores da rotina dos indivíduos e rebanho. Adicionalmente, têm sido exploradas as possibilidades de desenvolvimento de sensores avançados, novamente baseados em MEMS, para o monitoramento de processos fisiológicos, tais como, reações bioquímicas. Na produção intensiva as RSSF, são usadas para o monitoramento e controle dos parâmetros ambientais e de hábitos no criadouro para otimizar as questões de ambiência.

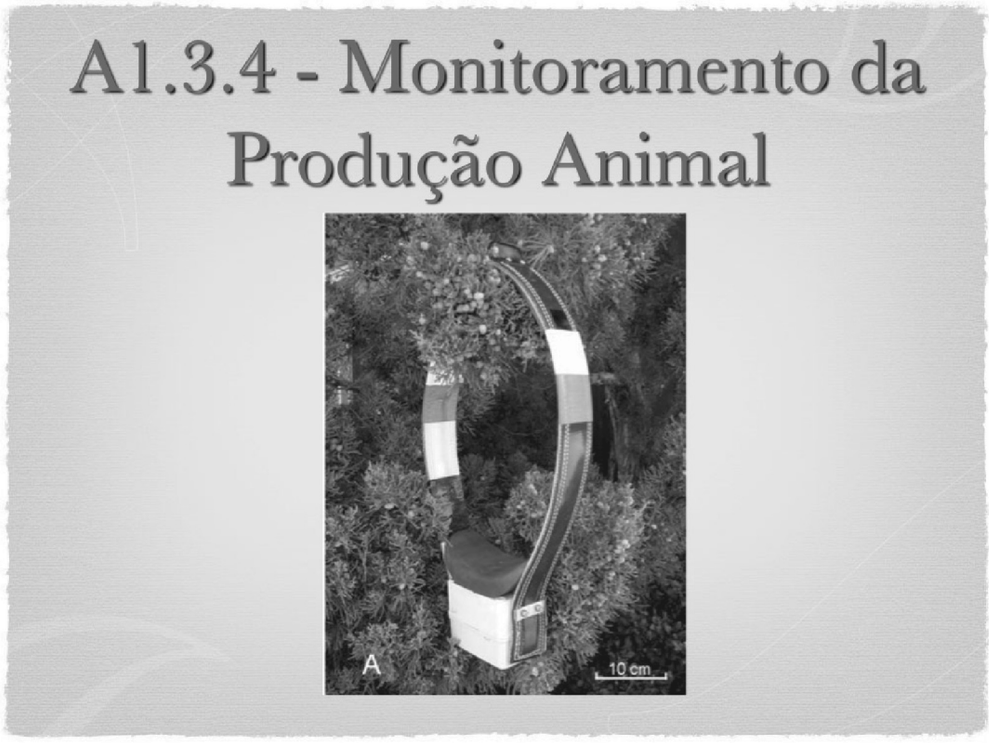


Figura 5: Exemplo de produto na forma de colar utilizado para a localização de animais ou rebanho através de receptores GPS e transmissores de rádio.

2.5 Rastreabilidade vegetal

A rastreabilidade é uma necessidade estratégica premente frente ao cronograma da implementação de barreiras não tarifárias, principalmente pela comunidade européia. Para o Brasil, urge o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem identificar a origem e histórico de produtos de exportação como a fruticultura. Portanto, existe uma oportunidade ímpar no desenvolvimento de tecnologias que integrem a rastreabilidade e a fruticultura sob a égide da tecnologia de informação. A expectativa está no desenvolvimento e na utilização de sensores, RFIDs e sistemas eletrônicos para a implantação da rastreabilidade ao longo de toda a cadeia produtiva da fruticultura em geral e da horticultura de precisão. Um exemplo de aplicação é apresentado na Figura 6.

a)

b)

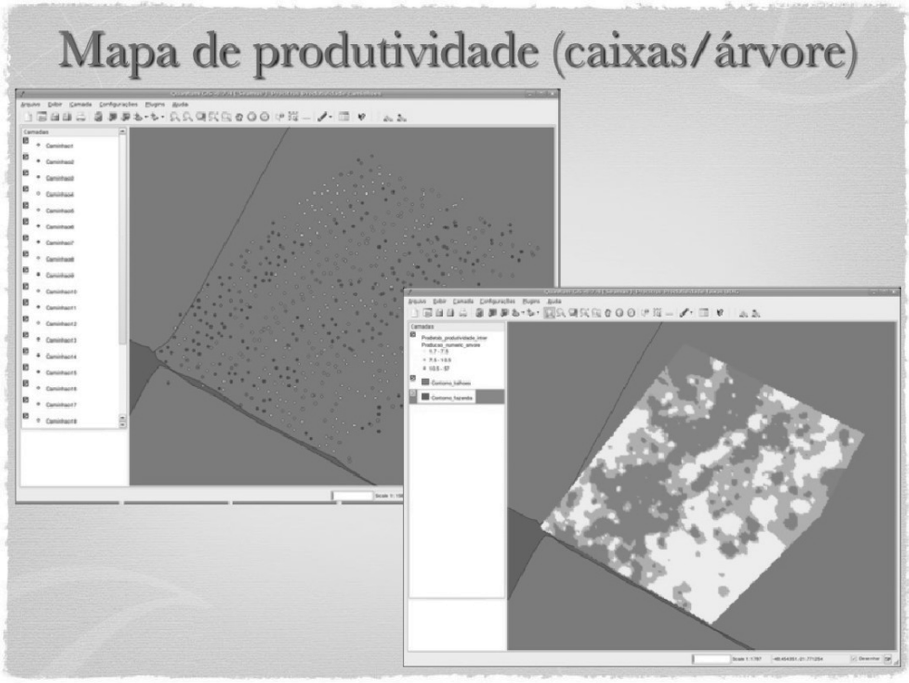


Figura 6: No projeto "Agronegócio na sociedade da informação: Explorando oportunidades em citricultura", financiado pelo PRODETAB, Programa de Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira, empregaram-se identificadores eletrônicos por rádiofrequência (RFID), para o mapeamento da produtividade em citricultura durante o processo de colheita manual na fazenda Maringá da Fischer Agropecuária, Gavião Peixoto, SP (a). Além de gerar o mapa de produtividade, o método permite identificar quais as árvores que contribuíram para a carga de cada caminhão (b). Dessa forma, se no pomar for praticada a aplicação sitioespecífica de insumos (Agricultura de Precisão), é possível ter informações da dosagem de agroquímicos por carga e dirigi-las para um processamento diferenciado.

2.6 Mudanças climáticas e problemas fitossanitários

A concentração de dióxido de carbono atmosférico vem aumentando significativamente e há unanimidade de que esse aumento continuará por décadas, apesar dos esforços internacionais para redução das emissões. Sendo a única fonte de carbono, o aumento da concentração de CO_2 resulta em benefícios para o desenvolvimento das plantas, pois há menor abertura de estômatos e, dessa forma, melhor aproveitamento da água na planta. Porém, há poucos trabalhos publicados sobre os efeitos do aumento do CO_2 e suas consequências para a sanidade vegetal. Tais estudos são realizados sob condições próximas às do ideal, com o uso de estufas de topo aberto ("open-top chambers", OTC) e experimentos do tipo FACE - *Free Air Carbon Dioxide Enrichment.* Neste último, há a liberação de CO_2 em condições de campo (Figura 7), permitindo o estudo das respostas em agroecossistemas intactos. Nos dois casos, os sistemas de monitoramento e controle são complexos e podem ser facilitados com o uso da rede de sensores sem fio. A Embrapa está implementando um sistema de controle baseado em rede de sensores sem fio para automação de experimentos com OTCs e FACE.

Figura 7: Experimento FACE (Free Air Carbon-Dioxide Enrichment) e instrumentação associada estabelecidos em campo experimental da Universidade de Illinois, EUA, para o estudo de problemas fitossanitários em soja.

3. Conclusão

Os trabalhos mencionados pretendem oferecer aos agricultores plataformas tecnológicas que integrem não somente as RSSF, mas todo o suporte de software e a capacitação de recursos humanos para apoiá-los nos desafios atuais e futuros da automação na agropecuária. São ferramentas para atender os mercados mais exigentes, pois processos de automação estão se tornando um diferencial na competitividade globalizada. Relevando realidades locais e regionais, na Embrapa Instrumentação já foi desenvolvida a Plataforma Tecnológica para Irrigação de Precisão, um resultado de sucesso no emprego das RSSF e computação ubíqua em campo agrícola. Trata-se do testemunho prático que essa inovação possibilita na

obtenção de informações contínuas de qualidade, ao mesmo tempo que aumenta enormemente a compatibilidade eletromagnética em relação à incidência de raios e oferece maior facilidade de instalação, manutenção e operação por usuários leigos. Adicionalmente, permite a modularidade e alternativas de adaptação de dispositivos OEM (Original Equipment Manufacturer), resultando na diminuição de custos gerais dos sistemas de automação.

Referências

FIELD Buses. c2011. Disponível em: <http://www.interfacebus.com/Design_Connector_Field_Buses.html>. Acesso em: 05 jul. 2011.

ISOBUS. **Força Tarefa Isobus**: apresentação. 2010. Brasil. Disponível em: <http://www.isobus.org.br>. Acesso em: 05 jul. 2011.

MUNACK, A.; SPECKMANN, H. Communication Technology is the Backbone of Precision Agriculture. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development,** Sapporo, v. 3, May, 2001. 12 p.

SAHIN, E.; DALLERY, Y.; GERSHWIN, S. Performance evaluation of a traceability system: an application to the radio frequency identification technology. In: PROCEEDINGS OF THE 2002 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, 2002, Yasmine Hammamet. **[Proceedings...]** Yasmine Hammamet, Tunisia: IEEE, 2002. v. 3, p. 647–650.

SDI-12 Support Group: serial data interface AT 1200 Baud. [2009]. Disponível em: <http://www.sdi-12.org>. Acesso em: 05 jul. 2011.

SRINIVASAN, A. **Handbook of precision agriculture:** principles and applications. New York: The Haworth Press, 2007. 683 p.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computers and electronics in agriculture,** Amsterdam, n. 50, p. 1-14, 2006.

Capítulo 11

Potenciais Aplicações de Nanotecnologia em Alimentos

Odilio Benedito Garrido Assis

1. Introdução

Embora seja ainda um tema polêmico, não muito compreendido pela maioria e motivo de acaloradas discussões, a nanotecnologia já faz parte de nosso cotidiano em diversas áreas e avança irreversivelmente; a passos largos, na agricultura e na indústria de alimentos. Muitas das práticas hoje designadas como nanotecnológicas já eram empreendidas com resultados satisfatórios, independentes de sua classificação e, com o avanço tecnológico, elas têm sido mais abrangentes e frequentes. A natureza per se tem realizado processos e arranjos em nanoescala por milhares de anos.

A nanotecnologia vem da palavra grega nano "**νάνος**" (anão) e teve sua dimensão formalizada em 1960 pelo sistema internacional de unidades (SI) como um fator de 10-9, que é igual a 1/1.000.000.000 m, ou seja, um milésimo de milionésimo de um metro. Empregando dimensões existentes na natureza, podemos dizer que 1 nano corresponde à distância formada por um colar contendo cinco átomos de silício unidos sequencialmente. Para simples comparação, uma célula humana tem um tamanho médio de 10 mícrons, o que equivale a 10.000 nanômetros. Veja Tabela 1 para escalas.

Tabela 1: Comparação de escalas nas dimensões macro e molecular.*

Tamanho (nm)	Exemplos	Terminologia
0,1 – 0,5	Ligações químicas individuais	Molecular/atômica
0,5 – 1.0	Pequenas moléculas	Molecular
1 – 1000	Proteínas, DNA, mesóporos, nanopartículas inorgânicas	Nano
10^3 - 10^4	Canais de microfluidos, MEMS, células vivas, chip de silício	Micro
$>10^4$	Matéria considerada normal	Macro

Fonte: *baseado em Rutzke ed. (2003).

No conceito prático, nanotecnologia consiste na capacidade de criar dispositivos ou alterar a matéria a partir da escala molecular, usando técnicas e ferramentas que permitam a manipulação de espécies nessas dimensões. Em outras palavras, pode ser considerada como um conjunto de atividades ou mecanismos que ocorrem em uma escala extremamente diminuta, mas que tenham implicações na escala macroscópica, ou seja, no mundo sensorial. Embora a definição de nanotecnologia possa ser arbitrária e passível de interpretações científico-filosóficas, o conceito moderno, e por nós adotado, aproxima-se ao apresentado por Bawa et al. (2005):

> A nanotecnologia pode ser definida como o desenho, caracterização, produção e ou geração de dispositivos por manipulação controlada do tamanho e da forma, na escala nanométrica, que resultem em sistemas com pelo menos uma característica ou propriedade nova ou superior (tradução livre).

Ou seja, a nanotecnologia não se limita apenas à manipulação da matéria na escala próxima a 10-9 m, mas essencialmente requer que o resultado dessa manipulação traga uma nova propriedade ou característica diferenciada ao produto.

A nanotecnologia encontra-se inserida em um contexto mundial, no qual, no momento, predominam as pesquisas e produtos oriundos dos países desenvolvidos. Contudo, diversos países de economia de base agropecuária como o Brasil, a Índia, a Tailândia, o México, África do Sul e a Argentina, entre outros, têm estabelecido programas específicos de nanotecnologias e nanociências, em grande parte, focados em aplicações no setor agroindustrial, de meio ambiente, farmacêutico e alimentício. Salamanca-Buentello et al. (2005), em estudo sobre aplicação de nanotecnologias em temas básicos, apontam uma série de áreas

nas quais o domínio das nanotecnologias teria papel fundamental em países emergentes e produtores de commodities. Algumas dessas áreas podem ser apresentadas na forma da Tabela 2:

Tabela 2: Dez principais aplicações e benefícios da nanotecnologia para os países em desenvolvimento*

Posição Relativa de Importância	Aplicação da Nanotecnologia
1	Geração, armazenamento e conversão de energia
2	Aumento da produção agrícola e pecuária
3	Tratamento de água e remediação ambiental
4	Exames e diagnose médico-veterinários precoces
5	Sistemas de liberação controlada de drogas e agentes ativos
6	Processamento de alimentos, melhor aproveitamento e conservação
7	Redução da poluição do ar e remediação atmosférica
8	Novos materiais e sistemas construtivos
9	Monitoramento da saúde e tratamentos profiláticos
10	Detecção e controle de pestes

Fonte: *baseado em Salamanca-Buentello et al. (2005).

Desses dez itens, sete a oito estão diretamente vinculados à atividades agroindustriais ou ao processamento e conservação de alimentos, e a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) vem atuando em pesquisa em nanotecnologia aplicada na maioria destes temas. O pleno domínio de qualquer um desses itens, embora estratégicos, não configura apenas um progresso local, mas, invariavelmente, tem impacto mundial.

2. Mercado da nanotecnologia

A nanotecnologia movimentou em 2008 um mercado calculado em US$ 12,7 bilhões e deve atingir algo como U$$ 2 trilhões já em 2012 (RUSNANOTECH, 2011). Segundo um recente inventário apresentado pelo *Project on Emerging Nanotecnologia*[1], em 2010 havia no mundo 1317 produtos com base em nanotecnologia registrados ou comercializados por 587 companhias, sendo 107 relacionados à agricultura ou alimentos. No entanto, em valores absolutos, o mercado de nanotecnologia na área de alimentos não ultrapassou os US$ 4 milhões (valores de 2009) (CHAUDHRY; CASTLE, 2010), o que indica a existência de um enorme potencial, tecnológico ou mercadológico.

Segundo o grupo de consultoria suíço Helmut Kaiser Consultancy (2008), o mercado atual de nanotecnologia aplicada aos alimentos é liderado pelos EUA, seguido do Japão e da China, com uma projeção para o predomínio chinês como o grande consumidor de alimentos, *in natura* ou nanoprocessados, a partir da segunda década desse século.

No Brasil, pesquisas e aplicações da nanotecnologia em alimentos ainda são incipientes e, segundo dados oficiais (ABDI, 2010), o investimento público geral em nanotecnologia (não somente em agricultura e alimentos), no período 2000-2007 foi da ordem de R$ 160 milhões. Somando os investimentos do setor privado, estima-se um total de R$ 320 milhões no período (SANTOS, 2008). Embora sejam valores significativos, não representam o potencial de produção e alternativas de exploração do segmento no país.

[1] www.nanotechproject.us

3. Nanotecnologia no agronegócio

A nanotecnologia não é uma ciência ou atividade isolada e, sim, uma área associada a demais conhecimentos básicos que conjuntamente podem, de forma direta ou indireta, gerar benefícios em toda a cadeia produtiva e de consumo. Exemplos de aplicações de nanotecnologia na agroindústria e alimentos são inúmeros, e as pesquisas atuais têm como objetivos: i) a confecção de dispositivos de liberação controladas, seja de agrotóxicos, seja de demais insumos, que promovam o aumento da produtividade, a redução da toxicidade, de impactos ambientais e a consequente segurança final do produto; ii) o desenvolvimento de dispositivos de rastreabilidade e registro de produtos individuais ou de cargas, por meio de sensores para a detecção e monitoramento de patógenos desde a colheita, manufatura, processamento e transporte; iii) o estabelecimento de sistemas e técnicas que promovam a preservação, reduzam a maturação e controlem as qualidades nutricionais por meio de revestimentos *in situ*, ativos e comestíveis, que geram atmosferas controladas; e iv) a produção de embalagens chamadas "inteligentes" e/ou "ativas" que tenham indicativos de alterações globais, de composição, textura, aparência, temperatura ou ataque microbiano em alimentos, ou que interfiram na minimização de efeitos indesejáveis. Essas são apenas algumas dentre inúmeras possibilidades decorrentes da nanotecnologia.

4. Nanotecnologia em alimentos

De forma geral, pode-se dizer que o foco da nanotecnologia na agricultura e em alimentos, de certa forma, difere das suas tradicionais aplicações nas demais áreas técnicas. Em alimentos, por estes serem muitas vezes órgãos vivos e perecíveis, técnicas múltiplas são requeridas e boas práticas e procedimentos convencionais normatizados devem ser respeitados e cuidadosamente implementados nos diversos segmentos da cadeia, isto é, práticas ou ações específicas de nanotecnologia devem ser observadas para o plantio, a fertilização, a colheita, o embalo, o transporte, etc., tornando este um campo de pesquisa consideravelmente mais complexo que em outras áreas.

Com o uso ou aplicações de técnicas de nanotecnologia, um novo termo surge: *nanofood,* ou em sua versão aportuguesada "nanoalimento". *Nanofood* tem sido definido, em termos genéricos, como um conceito amplo, consequente das aplicações das nanotecnologias em algum ponto da cadeia. Assim, pode-se contextualizar "nanofood" como o alimento ou derivado que tenha sido cultivado, produzido, processado ou embalado usando técnicas ou ferramentas de nanotecnologia ou que venha a receber nanonutrientes ou nanopartículas controladamente adicionadas ou, ainda, que, a partir da matéria-prima desses alimentos, sejam manufaturados nanomateriais para o consumo humano.

Com base no trabalho de Moraru et al. (2003), podemos esquematizar o ciclo de produção dos nanoalimentos em uma sequência de manipulações, de forma que em cada etapa do processamento algum fator nanotecnológico possa ser inserido (Figura 1).

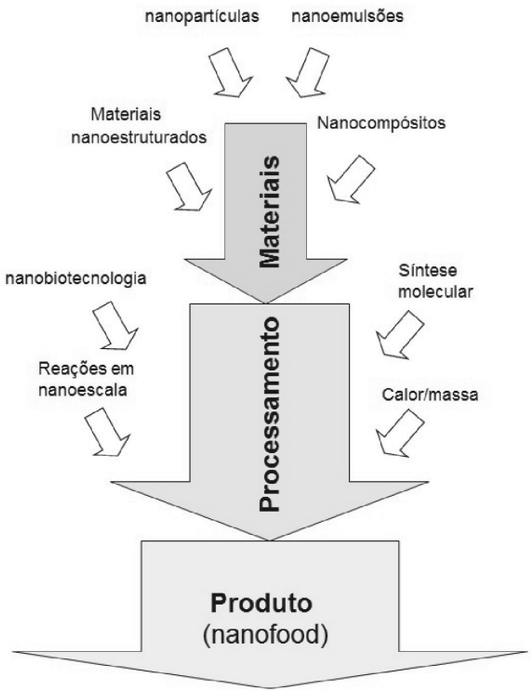


Figura 1: Conceito do uso de nanotecnologia no processamento de alimentos. Baseado em Moraru et al. (2003).

Uma das áreas que tem sido mais avaliada em nanotecnologia quando se trata de alimentos é, sem dúvida, a do desenvolvimento de nanopartículas para a liberação controlada de agentes ativos. Tecnologias de encapsulamento têm sido desenvolvidas para a formação de uma matriz orgânica, com capacidade de reter o composto ativo, seja por imobilização superficial, seja por retenção interna por períodos determinados de tempos (JELINSKI, 1999).

A eficiência desses sistemas está baseada em diversos fatores, como a inexistência de interações fortes entre as nanopartículas e a matriz (alimento), sua alta afinidade com os agentes a serem retidos, assim como a facilidade de sua posterior liberação. Essa tecnologia está diretamente relacionada à etapa de processamento, embora os demais segmentos possam também fazer uso da inserção de nanopartículas. Em suma, benefícios poderão ser trazidos pelo desenvolvimento de nanopartículas ativas como: a produção de novos materiais funcionais com presença de enzimas ou biopolímeros com ações catalíticas que acelerem ou alterem reações; o processamento em escalas reduzidas e com alto controle da composição, reprodutibilidade e qualidade, e novas combinações ou inserções, gerando novos produtos com sabores diferenciados, valores nutricionais distintos, enriquecidos, funcionais ou nutracêuticos. A descrição de detalhes técnicos que elucidem todos esses processos estaria além do escopo deste texto, embora informações específicas possam ser localizadas com facilidade na internet.

Nos EUA, termos como “nanocêutico” e “nanofuncional” já têm marca registrada e, frequentemente, produtos vêm identificados como “biofortificados” para evitar controvérsias com respeito à segurança da presença de nanotecnologia. Temos, como exemplo, o pão da marca Tip Top Up, comercializado na Austrália, que contém nanocápsulas de ômega 3[2].

Além do omêga 3, demais aditivos nanoencapsulados que estão sendo avaliados em alimentos incluem formas sintéticas de carotenoides (licopeno), ácido benzoico, ácido cítrico, ácido ascórbico e suplementos como vitaminas, isoflavonoides, antioxidantes, ß-caroteno, luteínas e coenzimas do tipo Q10 (CHAUDHRY; CASTLE, 2010). As nanovesículas lipossômicas têm sido as estruturas mais empregadas no encapsulamento e transporte desses compostos.

[2] www.tiptop.com.au

De um modo geral, uma nanopartícula é consideravelmente mais reativa (do ponto de vista químico) que partículas maiores. Devido ao seu tamanho, apresentam elevada área de interação e alta mobilidade, o que pode conduzir sua carga em posições ou homogeneidades não alcançadas por processos convencionais.

Recentemente, uma lista das principais tecnologias em alimentos, não somente nanoencapsulamentos, passíveis de serem produzidos e comercializados foi publicada[3]. De forma similar, a rede Nanowerk[4], lista quais setores estão entre as potenciais aplicações comerciais da nanotecnologia em alimentos. Ambas informações estão resumidas na Tabela 3.

Tabela 3: Potenciais aplicações comerciais da nanotecnologia em alimentos

Setores		
Processamento	**Embalagem e conservação**	**Suplementos**
Nanocápsulas para elevar a disponibilidade de neutracêuticos	Anticorpos imobilizados sobre nanopartículas fluorescentes para a detecção química de patógenos	Nutrientes em nanodimensões para facilitar a absorção
Nanoencapsulamento de odores e sabores	Nanossensores biodegradáveis para temperatura, umidade e tempo (monitoramento)	Compostos nanoencapsulados com melhor estabilidade e liberação controlada
Nanotubos e nanopartículas para elevar a viscoelasticidade	Nanoargilas e nanofilmes como matérias de barreira para prevenir degradações e prevenir absorção de oxigênio	Nutrientes nanoencapsulados para a liberação dos compostos ativos sem alteração de cor ou sabor dos alimentos
Infusão de nanocápsulas de esteroides para reposição de colesterol em carnes	Nanossensores para a detecção do nível de etileno	Sprays para dispersão de moléculas ativas ou vitaminas para inserção de nutrientes *in situ*
Nanopartículas com agentes antimicrobianos seletivos	Coberturas antimicrobiana e antifúngica com a presença de compostos inorgânicos	
Nanoemulsões para melhorar a dispersão de nutrientes	Filmes poliméricos com melhores propriedades de barreira e mecânica	

Fonte: *baseado em *Nanotechnology food coming to a fridge near you*[5]

Estes serão, sem dúvida, os principais produtos que efetivamente serão comercializados nos próximos anos.

O conceito de nanofood talvez possa vir a ser reduzido com o tempo, vindo a limitar ou identificar o emprego da nanotecnologia na cadeia. A nanotecnologia como ciência tem, contudo, o potencial inerente de revolucionar a indústria alimentícia, não somente em seu produto final, mas na capacidade de manipulação celular, alterando características organolépticas ou nutricionais dos compostos e a simultânea inserção de nanopartículas para a liberação de nutrientes, aromas ou antimicrobianos.

Um dos grandes desafios, e também uma grande oportunidade, é a transformação de resíduos da agricultura e mesmo da indústria de alimentos em materiais funcionais, sejam como nutrientes para o consumo humano ou animal, ou para a conversão em energia, que se configura como um dos grandes gargalos para futuros desenvolvimentos. O emprego da engenharia molecular associado a processos

[3] www.nanoalimentos.com
[4] www.nanowerk.com
[5] www.nanowerk.com

controlados por enzimas nanoprocessadas poderá se tornar, em um futuro próximo, um dos grandes benefícios da nanotecnologia, fazendo que qualquer biomassa, em princípio, possa ser transformada em alimento ou em energia.

Embora muitas possibilidades de aplicações aqui descritas sejam factíveis, há sem dúvida limitações naturais de mercado, seja por serem economicamente inviáveis, seja ou por sua complexidade, dificultando a adoção em larga escala ou em determinados países cujas infraestruturas tecnológicas sejam deficientes. De qualquer forma, o avanço tecnológico é um fenômeno irreversível, e a nanotecnologia aplicada no setor de alimentos é assumida como uma inovação bem-vinda.

5. Nanotecnologia aplicada a pós-colheita

O uso da nanotecnologia na conservação de alimentos, intactos ou processados, já é uma realidade, principalmente no desenvolvimento de coberturas protetoras e de embalagens. Estas últimas podem ser separadas em dois tipos: embalagens ativas ou inteligentes. Embalagem ativa inclui materiais que possam atuar em uma ou mais característica, como apresentar agentes imobilizados que reduzam infestações ou que liberam elementos antioxidantes, visando a preservação da aparência e qualidade. As inteligentes reagem ao seu entorno, atuando no sentido de minimizar as atividades, como reduzir a permeação de gases em determinados momentos da maturação, ou indicar, de forma visual, o excesso de temperatura ou a presença de um patógeno. Já dispomos de tecnologia de revestimentos comestíveis à base de nanotecnologia que elevam, em semanas, o tempo de consumo de frutas e hortaliças intactas, mesmo quando armazenadas em condições não controladas (ASSIS et al., 2008), e espera-se que, em um futuro próximo, essa preservação possa ser estendida por meses, senão por anos.

Embora não esteja plenamente regulamentado, e até mesmo inaceitável em alguns países (CHAU et al., 2007), o emprego de compostos inorgânicos para aplicação na conservação in situ de alimentos já tem sido testado há bom tempo com promissores resultados na conservação pós-colheita. Patente americana de 1998 (MARS Inc., 1998) já descrevia o desenvolvimento e aplicação de coberturas composta de nanopartículas de dióxido de titânio, dióxido de magnésio e óxido de silício para aplicação em frutos para a redução da taxa de respiração e limitar a permeação de gases.

Certos metais, como a prata e o zinco, que possuem forte atividade antimicrobiana, já são encontrados comercialmente em forma de nanopartículas para usos gerais, e alguns produtos, como embalagens poliméricas, cartonados, badejas, vasilhames e tecidos, já são comercializados com a presença desses metais (NANO&ME, 2011). Recentemente, coberturas comestíveis, associadas a essas nanopartículas, foram aplicadas em frutos intactos (GUDACHE et al., 2010) e testadas em bandejas de poliestireno expandido para contato com minimamente processados (FERNÁNDEZ et al., 2010), visando a redução da microflora bacteriana de ocorrência típica nestes casos.

A rede McDonalds no EUA passou a empregar, em seus produtos invólucros de papelão que incorporam nanomateriais antimicrobianos desde 2006 (NANOPUBLIC, 2006). Embalagens plásticas sintéticas, contudo, são as que têm grande potencial de uso da nanotecnologia e grande aplicações na área de pós-colheita, principalmente as formadas por nanocompósitos. A nanotecnologia torna essas embalagens mais leves, mais resistentes, menos suscetíveis à ação de elementos externos e mecanicamente mais duradouras. Testes realizados em conservação de frutas e hortaliças apresentaram eficiências significativas no aumento de vida de prateleira quando embalagens nanoestruturadas foram empregadas (ARORA; PADUA, 2010).

Laminados poliméricos nanoestruturados já são encontrados no mercado (GARCIA, 2003). Nestes, dispersão aquosa de argilas em dimensões manométricas são incorporadas à matriz polimérica alterando significativamente as propriedades mecânicas e de permeação (BRAGANÇA et al., 2007). Esfoliadas de argila de geometria laminar, ao serem dispersas em matriz polimérica, formam compósitos com morfologia intercalada que alteram o caminho difusional (tortuosidade), o que traz benefícios com relação à permeação de gases, principalmente O_2. Na Figura 2, temos ilustrados possíveis permeações em um filme polimérico, em condições de irregularidade de espessura e presença de argila esfoliada.

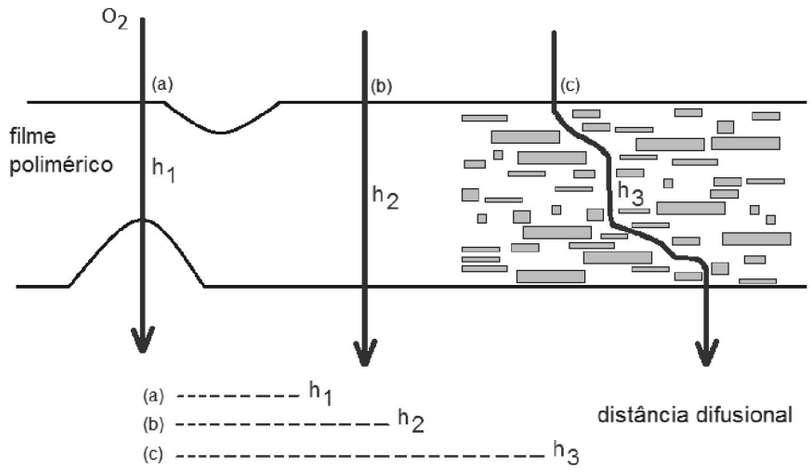


Figura 2: Ilustração de possíveis caminhos de permeação em um filme (embalagem) polimérica. Em (a), o percurso na presença de irregularidades na espessura. Em (b), a distância normal em filme de espessura homogênea e em (c), o ganho de tortuosidade na presença de nanolaminados de argila dispersos na matriz.

A presença de esfolhados de argila permite, por exemplo, retardar a perda de gás de dióxido de carbono, em refrigerantes ou bebidas gaseificadas, tornando a concentração conservada por meses ou mesmo anos. A presença de nanoargilas em garrafas PET reduz a permeação de oxigênio e CO2 em valores próximos a 80-90% quando comparadas aos envases tradicionais (FISHER, 2008).

6. Avanços nas análises

As ferramentas e modelos teórico-experimentais que hoje surgem como resultado da prática de nanotecnologia estão permitindo que se entenda com melhor clareza os diversos componentes constituintes e como estes estão estruturados nos alimentos. Com o avanço dessas técnicas, poderemos manipular as moléculas conformando alimentos mais saudáveis, saborosos e seguros. A “nanoestruturação” de materiais, em particular de alimentos, abre uma janela de possibilidades para a criação de novos produtos que poderão impactar não somente no processamento industrial, mas igualmente na área de conservação e armazenamento.

De um modo geral, visualiza-se o emprego de nanotecnologias em alimentos, essencialmente, como o enriquecimento pela presença de compostos encapsulados ou nanonutrientes e dispositivos de melhora, seja pela aplicação *in situ* ou *ex situ* (embalagens) que promovam uma maior preservação e manutenção de coloração, higiene e qualidades gerais. Mas deverá ser na melhoria das análises que o primeiro grande impacto será sentido.

O desenvolvimento e aplicação de sensores para a rápida detecção de patógenos, ou embalagens ativas que prontamente indiquem a presença de contaminações são fatores fundamentais na conservação e na tomada de decisões, principalmente no setor pós-colheita.

A infecção de um alimento, seja de origem vegetal ou animal, pode levar dias, semanas ou até meses para ser detectada e, na maioria das vezes, quando se dá essa identificação, todo o organismo já se encontra impróprio ao consumo. Esse é um dos grandes motivos de perdas de alimentos no mundo. Calcula-se que somente no Brasil, perdas anuais pós-colheita por causas bióticas (doenças patogênicas) são estimadas em cerca de 15% a 20% (CHITARRA; CHITARRA, 1990). Somadas as perdas por injúrias físicas e desperdício, a quantidade perdida seria suficiente para abastecer 29,3% da população brasileira (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2002).

A detecção precoce de pequenas quantidades de contaminantes químicos, fungos, vírus ou bactéria na agricultura e colheita e no processamento pelos chamados nanosensores bioanalíticos já é uma realidade tecnológica. Nos sensores bioanalíticos o reconhecimento se dá pela presença de biomoléculas de alta afinidade e especificidade com o alvo a ser identificado. Esses sensores conseguem integrar a química, física e biologia simultaneamente na detecção de reações em escala molecular. A manipulação biologia é apenas parte do sensor, cuja interação molecular é otimizada gerando um sinal característico que pode ser ampliado e identificado (SCOTT; CHEN, 2003).

A possibilidade de análise precoce, seja por técnicas nanosensoras invasivas, seja por não invasivas, permite a tomada de decisões em tempo real e nas etapas estratégicas da cadeia, garantindo a produtividade, conservação e qualidade dos alimentos.

7. Receios com respeito aos nanoalimentos

Os alimentos produzidos através do uso das nanotecnologias devem ser sujeitos a uma avaliação de risco específica antes de serem aprovados, rotulados e colocados no mercado. Sempre que é citada a nanotecnologia e, em particular, nanopartículas em alimentos, levanta-se a questão da segurança. Dúvidas pairam sobre a possibilidade de compostos nestas dimensões poderem mover-se e acumular-se em tecidos ou órgãos sensíveis, resultando em toxicidade e riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Há, nesse sentido, um esforço mundial para o desenvolvimento de protocolos e ensaios que avaliem e garantam a segurança da aplicação controlada de nanopartículas. Estudos preliminares têm sugerido que materiais inorgânicos, como prata, dióxido de titânio, zinco e demais componentes normalmente empregados como suplementos alimentares podem apresentar superior toxicidade quando ingeridos na forma de nanopartículas (MILLER; SENJEN, 2008). Contudo, dados concretos e reprodutíveis ainda são incertos e têm sido tratados, no momento, com cautela, e a qualquer declaração sobre segurança ou não de nanoalimentos deve ser embasada à luz de investigações científico-empíricas.

Neste ano de 2011, a Organização Internacional de Padronização (ISO) lançou a norma ISO/TR 1321:2011, que consiste em uma primeira tentativa no sentido de descrever procedimentos para identificar, avaliar e tratar riscos do desenvolvimento e emprego de nanomateriais. Essa norma oferece um guia sobre como as informações pertinentes a potenciais danos ou riscos da nanotecnologia devem ser divulgadas e tratadas no âmbito da produção e do consumo (ABDI, 2011).

O que se tem como certeza é que a nanotecnologia, se dominada e bem aplicada, se constituirá em uma ferramenta poderosa em termos de economia e de seguridade alimentar, garantindo reduções de perdas e aumento de oferta de alimentos, principalmente pelos países produtores e exportadores como o Brasil.

Referências

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Panorama Nanotecnologia.** Brasília, DF, 2010. (Série Cadernos da Indústria ABDI, v. 19).

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. ISO lança nova norma para a nanotecnologia. **Nano em Foco,** Brasília, DF, v. 32, maio 2011.

ARORA, A.; PADUA G. W. Review: Nanocomposites in food packaging. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 75, n. 1, p. R43-R40, 2010.

ASSIS, O. B. G.; FORATO, L. A.; BRITTO. D. Revestimentos comestíveis protetores em frutos minimamente processados. **Higiene Alimentar,** São Paulo, v. 22, p. 99-106, 2008.

BAWA, R.; BAWA, S. R.; MAEBIUS, S. B.; FLYNN, T.; WEI, C. Protecting new ideas and inventions in nanomedicine with patentes. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine,** [S. l.], v. 1, p. 150-155, 2005.

BRAGANCA, F. C.; VALADARES, L. F.; LEITE, C. A. P.; GALEMBECK, F. Counterion Effect on the Morphological and Mechanical Properties of Polymer-Clay Nanocomposites Prepared in an Aqueous Medium. **Chemistry of Materials,** Washington, v. 19, p. 3334-3342, 2007.

CHAU, C-F.; WU, S-H.; YEN, G. C. The development of regulations for food nanotechnology. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v. 18, p. 269-280, 2007.

CHAUDRY, Q.; CASTLE, L. General insights on issues emerging from food applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD AND AGRICULTURE APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGIES – NANOAGRI, 2010 , São Pedro, SP. **Proceedings...** São Pedro: Aptor Software, 2010. p. 6-12.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças.** Lavras, MG: Escola Superior de Agricultura de Lavras - FAEPE, 1990.

FERNÁNDEZ, A.; PICOUET, P.; LLORET, E. Cellulose-silver nanoparticle hybrid materials to control spoilage-related microflora in absorbent pads located in trays of fresh-cut melon. **International Journal of Food Microbiology,** Amsterdam, v. 142, n. 1-2, p. 222-228, 2010.

FISHER, D. **The next innovative wave:** nanotechnology in packaging. New York: Rochester Institute of Technology, 2008. Disponível em: <http://www.iopp.org/files/public/ FisherRITNanotechology .PDF>. Acesso em: 20 maio 2011.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **O Mapa do fim da fome:** metas sociais contra a miséria. 2002. Disponível em: < http://www.fgv.br/ibre/cps/mapa_fome.asp>. Acesso em: 12 abr. 2011.

GARCIA, E. E. Nanocompósitos: Novas opções em materiais e embalagens. **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens,** [S. l.], v. 15, n. 1, 2003. 6 p. CETEA Informativo.

GUDACHE, J. A.; INGLE, A. P.; GADE, A. K.; DURAN, N; MARCATO, P. D.; RAI, M. K. **Agar-silver nanoparticles films for fruit preservation.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD AND AGRICULTURE APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGIES – NANOAGRI, 2010. **Proceedings...** São Pedro, SP: Aptor software, 2010. p. 117.

HELMUT KAISER CONSULTANCY. **Study:** Nanotecnology in food and food processing industry worldwide. [2008]. Disponível em: <http://www.hkc22.com/nanofood.html>. Acesso em: 10 maio 2011.

JELINSKI, L. Biologically related aspects of nanoparticles, nanostructured materials and nanodevices. In: SIEGEL, R. W.; HU, E.; ROCO, M. C. (Ed.). **Nanostructure Science and Technology:** A Worldwide Study. Washington: NSTC: IWGN, 1999. Disponível em: <www.wtec.org/loyola/nano/toc.htm>. Acesso em: 04 maio 2011.

MARS Inc (McLean, Va). Daniel L. Beyer et al. **Edible products having inorganic coatings.** US n. PI5741505. 1998.

MILLER, G.; SENJEN, R. **Out of the laboratory and on to our plates:** Nanotecnology in Food & Agriculture. 2nd ed. [Fitzroy]: Friends of the Earth, 2008. 68 p.

MORARU, C. I.; PANCHAPAKESAN, C. P.; HUANG, Q.; TASHISTOV, P.; LIU, S.; KOKINI, J. I. Nanotechnology: A new frontier in food science. **Food Technology,** Chicago, v. 57, n. 12, p. 24-29, 2003.

NANOPUBLIC. **McDonalds wraps burgers in nano.** 2006. Disponível em: <http://www.nanopublic.com/2006/08/mcdonalds-wraps-burgers-in-nano.html>. Acesso em: 18 maio 2011.

NANO&ME. **Nano in packaging.** [2011?]. Disponível em: <http://www.nanoandme.org/nano-products/packaging/ safety-issues/>. Acesso em: 04 maio 2011.

RUSNANOTECH - NANOTECHNOLOGY INTERNATIONAL FORUM, 2011, Moscow. Disponível em: <http://www.rusnanoforum.ru/Post.aspx/Show/27760>. Acesso em: 23 maio 2011.

RUTZKE, C. J. (Ed). **Nanoscale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems.** The United States Department of Agriculture, September 2003. Disponível em: < http://www.nseafs.cornell.edu/web.roadmap.pdf >. Acesso em: 14 maio 2011.

SALAMANCA-BUENTELLO, F.; PERSAD, D. L.; COURT, E. B.; MARTIN, D. K.; DAAR, A. S.; SINGER, P. A. Nanotechnology and the developing world. **PLoS Medicine,** [Cambridge,], v. 2, n. 5, p. 383-386, 2005.

SANTOS, L. A. **Sistema Brasileiro de Inovação em Nanotecnologia:** uma análise preliminar. 2008. 194 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SCOTT, H.; CHEN, H. (Ed.). **Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems.** Washington, DC: The United States Department of Agriculture, 2003. 63 p. National Planning Workshop Report.

Capítulo 12

Revestimentos Comestíveis Protetores em Frutas e Hortaliças

Lucimara Aparecida Forato
Odilio Benedito Garrido Assis
Rubens Bernardes Filho

1. Introdução

Diversos fatores são determinantes na escolha dos alimentos que consumimos. Não apenas as qualidades nutricionais, mas a aparência, aroma e sabor têm sido decisivos para a compra e o consumo de determinados produtos. Pesquisas conduzidas por Nassu et al. (2001) e por Kader (2002) confirmam que a combinação dos chamados "fatores sensoriais" são fundamentais no comércio de frutas e hortaliças, tendo a aparência e a cor papéis predominantes no contexto estético. De acordo com Heber (2002), um arranjo de produtos com cores vívidas, seja *in natura*, seja ou uniformemente cortados e aparentemente ausentes de qualquer indício de doença ou degradação, traz um apelo de alimentação saudável e segura. Neste contexto, o desenvolvimento de tecnologias que garantam essas condições por um maior período de tempo é altamente desejável.

Uma tecnologia passível de aplicação é a do uso de revestimentos comestíveis protetores, dispostos ou formados diretamente sobre o produto. Esses revestimentos, nas melhores de suas características, agem como uma barreira ao seu entorno, reduzindo a entrada e saída de água, gases, óleos, gorduras, nutrientes, atuando como uma membrana de isolamento a contaminantes e infestações externas (KROCTHA; MILLER, 1997; OZDEMIR; FLOROS, 2008). Essa tecnologia permite agregar partículas, não só de dimensões nano ou micrométricas, como transportadoras de agentes antioxidantes e/ou elementos antimicrobianos, permitindo ações que levem a uma maior preservação e manutenção da integridade.

Os revestimentos ou filmes comestíveis são particularmente interessantes para uso na conservação de produtos minimamente processados, bem como no armazenamento de produtos de alta de perecibilidade, como frutos tropicais e castanhas, reduzindo, assim, as perdas principalmente na etapa pós-colheita (GENNADIOS et al., 1997).

2. Perdas pós-colheita de frutas e hortaliças

O Brasil já figura como o terceiro produtor mundial de frutos, superando anualmente com uma produção os 43 milhões de toneladas, ficando apenas atrás de China (SPOTO, 2009). A base agrícola da cadeia produtiva das frutas no Brasil gera 4 milhões de empregos diretos e um PIB agrícola de US$ 11 bilhões. As exportações de frutas e hortaliças no país têm crescido nos últimos 10 anos em torno de 200%, atingindo em 2007 um valor aproximado de US$ 724 milhões. As hortaliças também possuem elevada importância econômica no país. No ano de 2005, foram produzidos 17 milhões de toneladas em 773.200 hectares, gerando 2.819 milhões de empregos e 11 bilhões em renda, porém com valores de exportação menores. Em 2007 foram exportadas 366,2 mil toneladas (crescimento de 43% com relação ao ano anterior). A área plantada abrange 807.000 hectares para hortaliças e em torno de 2,2 milhões de hectares para frutas. Observa-se uma crescente expansão dessa área agricultável, principalmente na região nordeste, com crescimento médio anual das exportações em 5,1% para frutos in natura e de 2,5% para processados, conforme dados levantados no período de 2001 a 2005 (VILLELA, 2006).

Contudo, na contramão desse contínuo processo de crescimento, temos uma das maiores taxas de perdas pós-colheita de frutas e hortaliças do mundo, algo em torno de 40% (BARROS, 1994), em comparação com a Europa, por exemplo, cujas perdas são inferiores a 25% (ARTÉS, 2008) e aos EUA, onde as médias aproximam-se de 16% (BURG, 2004).

Tsunechiro et al. (1994) relatam que as perdas agrícolas se constituem de reduções na quantidade física do produto disponível para consumo, que podem vir acompanhadas pela diminuição na qualidade, que pode causar diminuição do valor comercial ou nutritivo do produto. Relatos do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (MARTINS; FARIAS, 2002) revelam que as principais causas de perdas de frutas e hortaliças no Brasil são: utilização de embalagem imprópria, comercialização do produto a granel, não utilização da cadeia do frio durante o processo de comercialização, transporte inadequado, condições das estradas, classificação não padronizada, toque excessivo por parte dos consumidores e exposição inadequada.

Hoje as técnicas mais empregadas para a conservação, seja na comercialização, seja na estocagem, consistem na manutenção da cadeia do frio e no acondicionamento em embalagens poliméricas semipermeáveis. Neste sentido, existe forte demanda para o desenvolvimento de novas tecnologias para a conservação pós-colheita, como as coberturas comestíveis, que, isoladas ou associadas às práticas convencionais, podem elevar significativamente a manutenção dos parâmetros de qualidade e vida de prateleira, alterando estratégias de guarda e comercialização, beneficiando toda a cadeia produtiva e o consumidor.

3. Características das coberturas comestíveis

Coberturas comestíveis podem ser definidas como uma fina camada de material que pode ser consumida e tem por objetivo proteger o consumível atuando como uma barreira à umidade, oxigênio e movimento de solutos entre o alimento e o meio ambiente. Essas coberturas têm recebido considerável atenção nos últimos anos devido às suas vantagens sobre os filmes sintéticos quanto à biodegradabilidade, biocompatiblidade, e por causarem menor impacto ambiental, embora a principal vantagem seja que , por serem atóxicas, são assim passíveis de serem consumidas com os produtos. Essas coberturas são produzidas a partir de formulações que têm por base produtos renováveis, associados a ingredientes e plastificantes naturais que, portanto, se degradam de maneira ambientalmente amigável (BOUTOOM et al., 2006).

Entre os primeiros revestimentos aplicados em frutas está a cera, em uso desde os séculos XII e XIII na China, para a conservação de laranja e limão. Embora, nessa época, a função de barreira atuando na redução das trocas gasosas em frutos (respiração-transpiração) não fosse plenamente entendida, constatava-se empiricamente que, quando revestidos com cera, os frutos podiam ser estocados por um maior período, com a taxa de preservação das características iniciais superior à dos não revestidos. No século XVI na Inglaterra, foi utilizada gordura animal (banha) para a conservação de frutos e outros alimentos, principalmente daqueles oriundos, via rota marítima, dos países tropicais. Em 1907, o químico belga Leo Baekeland desenvolve o primeiro plástico obtido a partir de uma reação de eliminação de fenol com formaldeído e, desde então, uma série de polímeros vêm sendo produzidos fazendo com que as embalagens sintéticas predominem no uso em alimentos a partir dos anos 1950 (KROCTHA; MILLER, 1997).

Com os impactos ambientais causados pelo amplo uso desses materiais sintéticos e uma busca por iniciativas e qualidade de vida saudáveis, os materiais biodegradáveis vêm ganhando espaço e sendo cada vez mais estudados e avaliados como matéria-prima para a confecção de embalagens alimentares seja para a aplicação *in situ* ou *ex situ.* Dentre os principais materiais de interesse, estão os de origem agrícola, como proteínas os polissacarídeos e os lipídeos (ZHANG; MITTAL, 2010). No caso de aplicações específicas como coberturas comestíveis, os filmes formados podem ser divididos em três categorias: *i)* hidrocoloides, incluindo proteínas e derivados de celulose; *ii)* alginatos, pectinas, amidos e outros polissacarídeos; *iii)* lipídeos, incluindo ceras, acil-gliceróis e ácidos graxos.

Filmes à base de proteínas e polissacarídeos demonstram propriedades adequadas para atuar como barreira a gases, reduzindo a taxa de respiração e de transpiração, elevando o tempo de prateleira. Materiais nesta categoria que apresentam potencial para uso na formulação de coberturas e embalagens são os polissacarídeos como o amido, o alginato, a celulose, a quitosana, isolados ou combinados e proteínas, sejam hidrofóbicas sejam hidrofílicas, como as do soro do leite, da soja, as zeínas de milho e/ou seus derivados (KUORWEL et al., 2011, MASTROMATTEO et al., 2011).

No entanto, além dos polímeros mencionados acima, para a obtenção de um filme ou revestimento com propriedades mecânicas adequadas, que apresente relativa flexibilidade que permita moldar e adequar as alterações de formato ao produto recoberto, há, em algum desses materiais, a necessidade da adição plastificantes.

Os plastificantes são, em geral, moléculas pouco voláteis que, quando adicionados aos materiais poliméricos, podem diminuir suas forças intermoleculares, aumentar seu volume livre entre as cadeias poliméricas (BOUTOOM et al., 2006). Essas substâncias reduzem a deformação à tensão, dureza,

viscosidade, densidade ao mesmo tempo que aumentam a flexibilidade e resistência à fratura (VIEIRA et al., 2011). Os plastificantes comumente adicionados são tipicamente os polióis como o glicerol, o monogliderídeo acetilado, os poli(etileno glicol), o sorbitol e a sacarose (DONHOWE; FENNEMA, 1994). O uso de ácidos carboxílicos, por exemplo, o oleico ou linoleico, como plastificante também tem sido considerado, principalmente para a elaboração de filmes para aplicações em alimentos.

4. Biopolímeros utilizados na obtenção de filmes comestíveis

4.1 Polissacarídeos

Os polissacarídeos são moléculas de alta massa molar, sendo considerados polímeros, e são constituídos por unidades monoméricas, os monossacarídeos, unidas pela ligação glicosídica. Esta última se caracteriza por ligar dois centros anoméricos, os quais, em açúcares cíclicos, são carbonos ligados a dois oxigênios em ligação simples (Figura 1A).

Os polissacarídeos são normalmente obtidos pela biossíntese em plantas ou animais e ainda há polissacarídeos microbianos, como as gomas xantana, gelana entre outros (RINAUDO, 2008). Os polissacarídeos normalmente usados para a confecção de filmes comestíveis incluem a celulose, amido e seus derivados, a pectina e derivados, além de gomas exsudadas, gomas de fermentação e da quitosana (BOUTOOM et al., 2006).

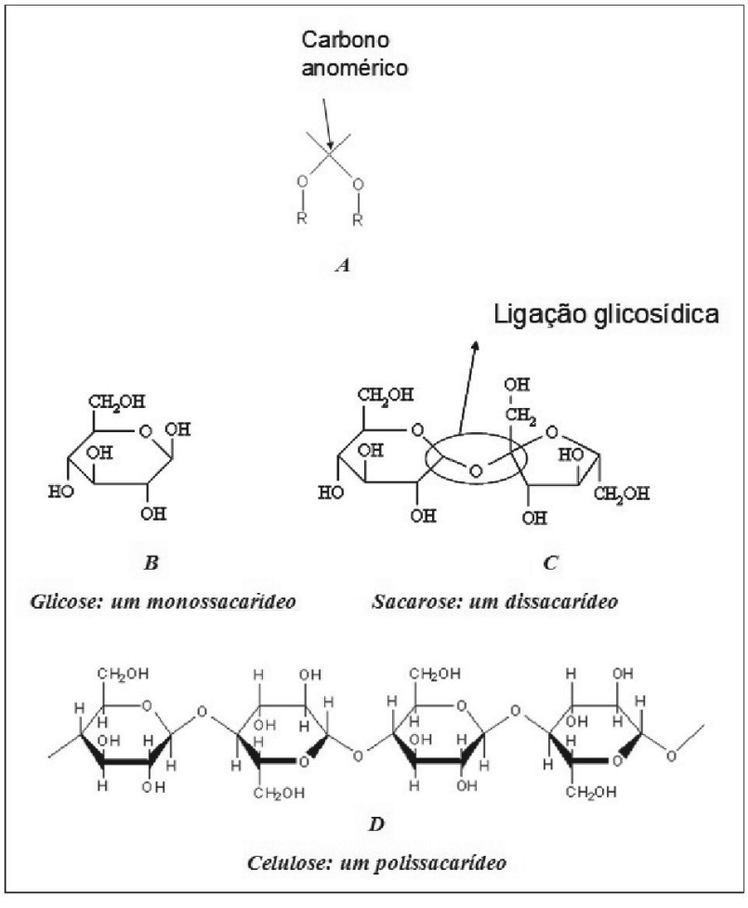


Figura 1: Representação esquemática da estrutura de *A:* parte de uma molécula contendo um carbono anomérico; *B:* um monossacarídeo, no caso a glicose; *C:* um dissacarídeo, no caso a sacarose, com destaque para a ligação glicosídica e, *D:* um polissacarídeo, no caso, a celulose.

Os filmes à base de polissacarídeos, devido à sua natureza hidrofílica, não são adequados para uso como barreira à umidade e, portanto não previnem os alimentos revestidos quanto à perda de umidade. No entanto, por possuírem alto número de radicais polares, reduzem significativamente a permeação de gases apolares como o oxigênio (O_2) e, em certa quantidade, também o dióxido de carbono CO_2. Estas condições estabelecem um ambiente de atmosfera interna modificada, com redução de O_2 e aumento de CO_2, contribuindo para a redução do amadurecimento. A baixa permeação de O_2 é significativamente favorável em frutos climatéricos, permitindo um prolongamento em sua condição prématuração sem criar condições anaeróbicas prejudiciais (BALDWIN, 1994).

Um polissacarídeo passível de uso como aditivo na preparação de coberturas comestíveis é a celulose, que apresenta elevado grau de cristalinidade devido à sua cadeia polimérica conter grupos hidroximetil e anidroglicose acima e abaixo de seu plano, tornando a celulose, em seu estado nativo, insolúvel em meio aquoso. Essa limitação é superada utilizando-se derivados iônicos e não iônicos (grupos hidróxi), da celulose por meio de reação em meio alcalino com ácido cloroacético, cloreto de metila e óxido de propileno para a obtenção de derivados metilados como o carboximetilcelulose (CMC), o metilcelulose (MC) e o hidroxipropilcelulose (HMPC), respectivamente. Os filmes obtidos a partir de MC, HMPC e CMC são geralmente incolores, insípidos, transparentes e com boa resistência à óleos e gorduras (BOUTOOM et al., 2006).

Dentre os derivados de celulose comercialmente disponíveis, está a carboximetilcelulose. O primeiro revestimento desse tipo disponível comercialmente foi chamado TAL Pro-long (COUrtaulds Group, London). Esse produto é obtido a partir de poliésteres de ácidos graxos de sacarose, formando o derivado sob o aspecto de sais de sódio. São catiônicos solúveis em água e aplicados como revestimento em frutas e hortaliças sob as formas de imersão ou spray. Outro revestimento comercial, o Semprefresh (United Agriproducts, Colorado), é similar ao Pro-long e apresenta a diferença de usar ésteres de ácidos graxos de cadeia curta em sua formulação, associado a vitaminas e antioxidantes.

Esses materiais não apresentaram boas propriedades de barreira à umidade; no entanto, algum efeito na transpiração dos frutos é observado, possivelmente devido a bloqueio de estômatos, resultando na diminuição de perda de água. Mas, ainda assim, tais revestimentos não são tão efetivos se comparados com ceras convencionais. A empresa Mitsubishi (Japão), introduziu, em 1991, dois novos filmes à base de polissacarídeos denominados ”Soageena”, que têm como componente principal a goma carrageana e o “Soafil”, cuja formulação não é informada (BALDWIN, 1994). Esses produtos têm sido indicados para a aplicação em frutos intactos e pouca avaliação há sobre o seu uso em produtos processados.

Um polissacarídeo extremamente importante para o estudo de filmes e embalagens comestíveis é a quitosana, que é um produto derivado da desacetilação da quitina. A quitina está presente no exoesqueleto de insetos e crustáceos, sendo, portanto extremamente abundante na natureza (ASSIS; SILVA, 2003). A quitosana é considerada não tóxica, formando filmes com boa plasticidade, além de apresentar atividade anti-microbiana em amplo espectro (AIDER, 2010). Este polissacarídeo tem sido estudado por diversos autores para aumentar o tempo de prateleira de morango, lichia, maçã, pêssegos entre outros (ROMANAZZI et al., 2002). É solúvel em soluções aquosas ácidas, e na sua forma trimetilada sua dispersão pode dar em um amplo intervalo de pH, elevando a compatibilidade do polissacarídeo (BRITTO; ASSIS, 2007).

4.2 Proteínas

As proteínas são biopolímeros cujas unidades monoméricas são resíduos de aminoácidos unidos por meio de ligações peptídicas. Na Figura 2, está representada a estrutura de um dipeptídeo formado por dois aminoácidos quaisquer, onde é possível identificar as ligações peptídicas que unem os resíduos de aminoácidos. As proteínas são consideradas polipetídeos, ou seja, resultado da junção de vários aminoácidos; estes, por sua vez, contêm uma cadeia lateral, R, (Figura 3), a qual pode ser polar ou não. Assim, dependendo do tipo de aminoácido predominante (Figura 3), a estrutura primária de uma proteína (sequência de aminoácidos) pode ser considerada hidrofílica ou hidrofóbica.

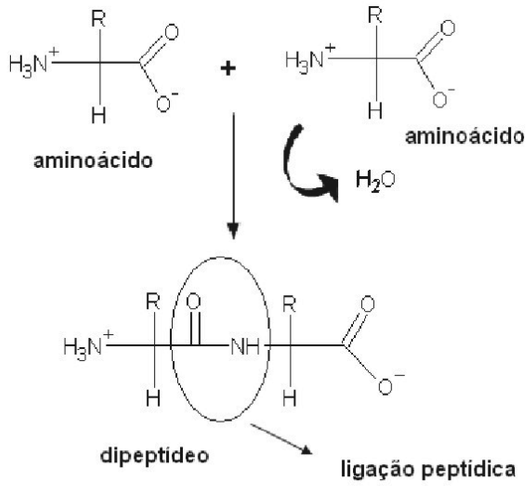


Figura 2: Exemplo da estrutura de um dipeptídeo formado a partir de dois aminoácidos.

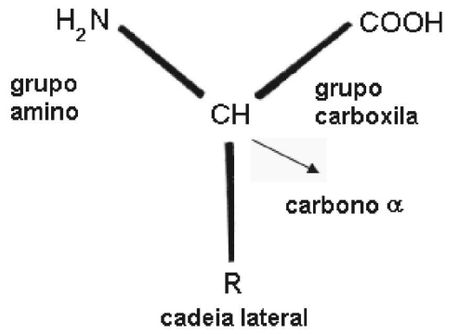


Figura 3: Estrutura básica de um aminoácido.

Dentre as proteínas utilizadas para a confecção de filmes comestíveis estão as de soja, prolaminas que são as proteínas de reserva de cereais como as zeínas do milho, o glúten de trigo e as kafirinas do sorgo, por exemplo. A principal característica das zeínas e kafirinas é sua hidrofobicidade formando uma barreira contra umidade e oxigênio. No entanto, filmes formados com essas proteínas tendem a ser quebradiços e com baixa flexibilidade, havendo a necessidade da adição de plastificantes, que melhoram estas características e permitem a diversificação de aplicações para o material resultante (GILLGREN et al., 2011). Recentemente, Colzato et al. (2011) demonstraram que nozes macadâmia revestidas com filmes à base de zeínas plastificadas tiveram seu processo de rancificação retardado, ou seja, houve aumento em seu tempo de prateleira. Scramin et al. (2010), também obtiveram um aumento no tempo de prateleira em 12 dias em peras revestidas com o mesmo tipo de cobertura.

Outro tipo de filme pode ser obtido a partir de isolados proteicos de soja que têm capacidade de formar filmes quando se adicionam emulsificantes. Estes interagem com as proteínas aumentando a sua homogeneidade e estabilidade (OSÉS et al., 2008, CHAO et al., 2010). As partes hidrofílicas tanto das proteínas como dos emulsificantes se ligam; o mesmo acontece com as partes lipofílicas de ambos, aumentando a estabilidade dos filmes formados. Coberturas de proteínas têm sido indicadas para maçãs, peras e oleaginosas com resultados satisfatórios na conservação pós-colheita.

4.3 Lipídeos

Os lipídeos são representados por uma classe de compostos que têm, em comum, insolubilidade em solventes polares. São exemplos: óleos e gorduras, fosfolipídeos, terpenos, esteroides. Os lipídeos mais abundantes são os triésteres do glicerol (triglicerídeos: óleos e gorduras), com ácidos graxos de cadeia longa (Figura 4). As fórmulas de alguns dos principais ácidos graxos são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

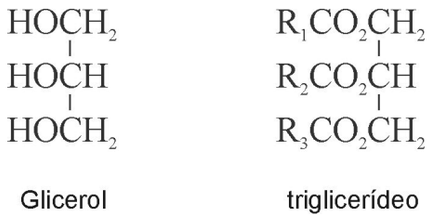


Figura 4: Estruturas do glicerol e um triglicerídeo. R é uma cadeia carbônica cujo número de carbonos e insaturações varia de acordo com o ácido graxo de origem.

Tabela 1: Exemplo de alguns ácidos graxos saturados

Fórmula	Nome
$CH_3(CH_2)_{10}CO_2H$	Ácido láurico
$CH_3(CH_2)_{12}CO_2H$	Ácido mirístico
$CH_3(CH_2)_{14}CO_2H$	Ácido palmítico
$CH_3(CH_2)_{16}CO_2H$	Ácido esteárico

Tabela 2: Exemplo de alguns ácidos graxos insaturados

Fórmula	Nome
$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH(CH_2)_7CO_2H$	Ácido palmitoleico
$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7CO_2H$	Ácido oleico
$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7CO_2H$	Ácido linoleico
$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7CO_2H$	Ácido linolênico
$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_4(CH2)_2CO_2H$	Ácido ariquidônico

Dentre os diversos tipos de materiais descritos na literatura com potencial e propriedades adequados ao uso avaliados como coberturas comestíveis, na realidade, atualmente apenas alguns poucos são empregados em escala comercial. 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 são as mais comuns e já disponíveis em toda uma rede de comercialização.

Grande parte desses compostos é usada desde a década de 1950, sendo normalmente misturados com resinas (goma laca e colofônia) para conferir brilho superficial. Esses materiais são classificados como lipídeos, que são macromoléculas 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, com 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 como sendo de origem animal: por exemplo, a cera de abelha, a cera de espermacete ou a cera de Shellac; ou de origem vegetal: por exemplo, a cera de carnaúba, a cera de candelilla, a cera de palma e a cera de oricuri, etc. A legislação também permite o emprego de ceras de origem mineral e sintética, como a ozoquerita, a montânica e a de polietileno. Essas coberturas são consideradas seguras e sua principal atividade é reduzir as trocas gasosas, principalmente o vapor de água, e conferir brilho, aumentando a atratividade do produto aos olhos do consumidor.

5. Características desejáveis de uma cobertura comestível

Segundo Worrell et al. (2002), a principal característica almejada no processamento de uma cobertura comestível é a de estabelecer uma boa diferença de pressão de vapor entre o fruto e sua vizinhança. Independentemente das características hidrofóbicas ou hidrofílicas do material, nestas condições são preservadas as condições iniciais criando-se, assim, condições para que os atributos de qualidade encontrados no momento do revestimento sejam preservados por um maior período de tempo.

Um aspecto importante é a espessura e a homogeneidade da cobertura, que pode interferir diretamente na estabilidade do produto revestido. A taxa de permeação é função da porosidade e da espessura da cobertura. A manutenção da qualidade em frutos, no período pós-colheita, está associado a um ambiente de baixo oxigênio associado a níveis moderados de CO_2 (PARK et al., 1994, ROJAS-GRAÜ et al., 2009). Essas condições são mais críticas em produtos minimamente processados, nos quais a presença de O_2 é necessária para que se deem as reações de escurecimento enzimático. Assim, coberturas que reduzam a penetração de O_2 minimizam reações de peroxidase, contribuindo para evitar alterações colorimétricas indesejáveis. Em resumo, as condições almejadas estão colocadas de forma ilustrativa na Figura 5.

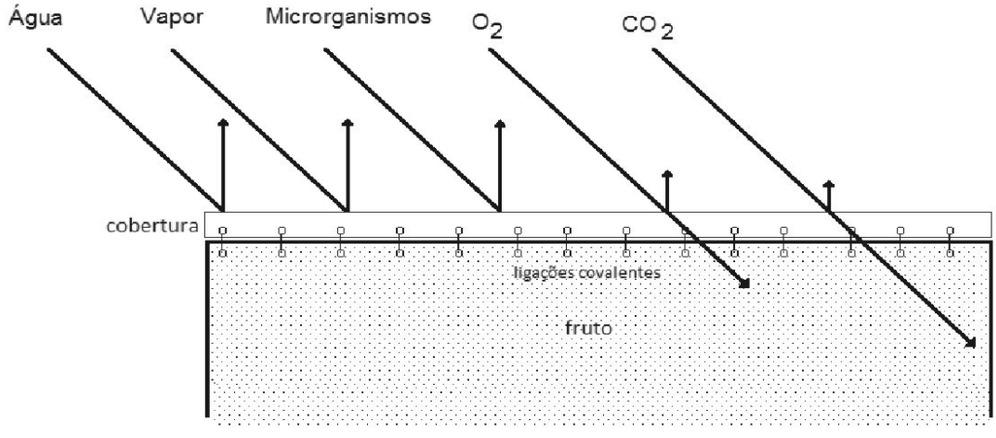


Figura 5: Condições ideais de permeação em coberturas comestíveis protetoras. O comprimento das retas indicam a proporcionalidade de permeação ideal.

Referências

AIDER, M. Chitosan Application for active bio-based films production in the potential in Food Industry: Review. **LWT – Food Science Technology,** [London], v. 43, p. 837-842, 2010.

ARTÉS, F. Panorâmica actual de la Postcosecha Hortofrutícola y de los Productos Vegetales Mínimamente Procesados. In: **CURSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA POSTCOSECHA Y PROCESAD MÍNIMO,** 2., 2008, Cartagena, Espanha. [Madrid: 5 al día, 2008]. palestra.

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, Ciência e Tecnologia,** São Carlos, v. 13, n. 4, p. 223-228. 2003.

BALDWIN, E. A. Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: past, present, and Future. In: KROTCHA, J. M.; BALDWIN, E. A.; CARRIEDO-NISPEROS, M. (Ed). **Edible Coatings and Films to improve Food Quality.** New York: CRC –Press, 1994. p. 25-64.

BARROS, S. M.; de GOES Á.; MINAM, K. Condições de conservação pós-colheita de frutos de pimentão (Capsicum annum L.). **Scientia agricola,** Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 363-368, 1994.

BOUTOOM, T.; CHINAN, M. S.; JANTAWAT, P.; SNAGUADEEKUL, R. Effect of Plasticizer Type and Concentration On The Edible Film From Water Soluble Fish Proteins in Surimi Wash Water. **Food science and technology international,** London, v. 12, n. 2, p. 119-162, 2006.

BRITTO, D.; ASSIS, O. B. G. A new method for obtaining of quaternary salt of chitosan. **Carbohydrate Polymers,** Barking, v. 69, p. 305–310, 2007.

BURG, S. P. **Postharvest Physiology and Hypobaric Storage of Fresh Produce**. Cambridge, Ma: Cabi Publishing, 2004. 670 p.

CHAO, Z.; ZHAO, Y. M.; XIAOYAM, Z.; DAN, M. Development of soybean protein-isolate edible films incorporated with beewax. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 75, n. 6, p. C493-C497, 2010.

COLZATO, M.; SCRAMIN, J. A.; COLNAGO, L. A.; ASSIS, O. B. G. 1H NMR investigation of oil oxidation in macadamia nuts coated with zein based films. **Journal of Food Processing and Preservation,** Westport, [2011]. DOI:10.1111/j.1745-4549.2011.00530.x. published online: 26 Apr. 2011.

DONHOWE, G.; FENNEMA, O. edible Films and Coatings: Characteristivs, Formation, Definitions, and Testing Methods. In: KROTCHA, J. M.; BALDWIN, E. A.; CARRIEDO-NISPEROS, M. (Ed.). **Edible Coatings and Films to improve Food Quality.** New York: CRC Press, 1994. p. 1-24.

GENNADIOS, A.; HANNA, M. A.; KURTH, L. B. Aplications of Edible Coatings on Meat, Poultry and Seafoods: A Review. **Lebensmittel wissenschaft und technologie**, London, v. 30, p. 337–350, 1997.

GILLGREN, T.; FAYE, M. V. ; STADING, M. Mechanical and barrier properties of films from millet protein pennisetin. **Food Biophysics,** [S. l., 2011]. DOI: 10.1007/s11483-011-9228-x. online first.

HEBER, D. **What Color is your diet?**. New York: Harper Collins Publishers, 2002.

KADER, A. A. Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. In: LAMIKANRA, O. (Ed.). **Fresh-cut fruits and vegetables. Science, technology and market.** Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 11-28.

KROCTHA, J. M.; MILLER, K. S. Oxygen and Aroma Barriers of Edible Films: A Review. **Trends in Food Science and Technology,** Cambridge, v. 8, p. 228-237, 1997.

KUORWEL, K. K.; CRAN, M. J.; SONNEVELD, K.; MILTZ, J.; BIGGER, S. Antimicrobial Activity of Biodegradable Polysaccharide and Protein-Based Films Containing Active Agents. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 76, n. 3, p. R90-R102, 2011.

MARTINS, C. R.; FARIAS, R. M. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola: revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinaria e Agronomia,** Uruguaiana, v. 9, n. 1, p. 20-32, 2002.

MASTROMATTEO, M.; MASTROMATTEO, M.; CONTE, A.; NOBILE, M. A. Combined effect of active coating and MAP to prolong the shelf life of minimally processed kiwifruit (Actinidia deliciosa cv. Hayward). **Food Research International,** Barking, v. 44, p. 1224–1230, 2011.

NASSU, R. T.; LIMA, J. R.; SOUZA-FILHO, M. S. M. Consumer´s acceptance of fresh and combined methods processed melon, mango and cashew apple. **Revista brasileira de fruticultura,** Cruz das Almas, v. 23, p. 551-554, 2001.

OSÉS, J.; •FERNÁNDEZ-PAN, I.;• ZIANI, K.; MATE, J. I. Use of edible films based on whey protein isolate to protect foods rich in polyunsaturated fatty acids. **European food research and technology,** Berlin, v. 227, p. 623–628, 2008.

OZDEMIR, M.; FLOROS, J. D. Optimization of edible whey protein film containing preservatives for water vapor permeability, water solubility and sensory characteristics. **Journal of food engineering,** Essex, v. 86, p. 215-24, 2008.

PARK, H. J.; CHINNAN, M. S.; SHEWFELT, R. Edible corn-zein film coatings to extend storage life of tomatoes. **Journal of Food Processing and Preservation,** Westport, v. 18, p. 317-331, 1994.

RINAUDO, M. Main properties and current applications of some polyssacharides as biomaterials: A Review. **Polymer International,** London, v. 57, p. 397-430, 2008.

ROJAS-GRAÜ, M. A.; OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. **International journal of food science and technology,** Oxford, v. 44, p. 875-889, 2009.

ROMANAZZI, G.; NIGRO, F.; IPPOLITO A.; Di VINERE, D.; SALERMO, M. Effects of Pré- and Post-harvest Chitosan treatments to control Storage Grey Moldo f Table Grapes. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 67, n. 5, p. 1862-1867, 2002.

SCRAMIN, J. A.; ASSIS, O. B. G. de; COLNAGO, L. A.; BERNARDES FILHO, R.; FORATO, L. A. The use of zein based films to improve pears shelf life. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD AND AGRICULTURE APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGIES - NanoAgri, 2010, São Pedro, SP. [Anais…] São Pedro: Aptor Software, 2010. p. 134.

SPOTO, M. H. F. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças.** Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP. 2009. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/FrutasHortalicas.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2011.

TSUNECHIRO, A.; UENO, L. H.; PONTARELLI, C. T. G. Avaliação econômica das perdas de hortaliças e frutas no mercado varejista da cidade de São Paulo, 1991/92. **Agricultura em São Paulo,** São Paulo, v. 41, n. 2, p. 1-15, 1994.

VIEIRA, M. G. A.; SILVA, M. A.; SANTOS, L. O.; BEPPU, M. M. Natural-based plasticizers and bioploymer films: A Review. **European Polymer Journal,** New York, v. 47, p. 254-263, 2011.

VILLELA, P. S. **Análise da Oferta e Demanda de Frutas no Brasil para o Decênio 2001/2010.** 2006. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/portal/icNoticiaAberta.asp?idNoticia=12209>. Acesso em: 25 jul. 2011.

WORRELL, D. B.; CARRINGTON, C. M. S.; HUBER, D. J. The use of low temperature and coating to maintain storage quality of breadfruit, Artocarpus altilis (Parks.) Fosb. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 25, p. 33-40, 2002.

ZHANG, H.; MITTAL, G. Biodegradable Protein-Based films from Plant Resources. A Review. **Environmental Progress & Sustainable Energy,** [S. l.], v. 29, n. 2, p. 203-220, 2010.

Minimamente Processados

Capítulo 13

Processamento Mínimo de Hortaliças

Leonora Mansur Mattos
Celso Luiz Moretti

1. Introdução

A tecnologia de processamento mínimo de frutas e hortaliças tem experimentado um significativo incremento em nível mundial nos últimos anos. No Brasil, desde o início das pesquisas com frutas e hortaliças minimamente processadas na década de 90, houve um avanço expressivo no domínio dos diferentes processos associados a esse novo segmento da agroindústria brasileira.

Atribui-se esse avanço ao empenho de diferentes grupos de pesquisa e desenvolvimento que, não obstante a crise pela qual passa o setor de Ciência e Tecnologia no Brasil, não mediram esforços em buscar soluções para os diversos entraves vividos pelo setor produtivo, o que gerou um grande número de projetos, publicações, palestras, seminários, treinamentos e teses de pós-graduação.

Apesar de todas as conquistas obtidas nesses últimos anos, não há dúvida de que muito ainda precisa ser feito. Entraves tecnológicos, como o escurecimento enzimático e o esbranquiçamento de algumas folhosas, raízes e tubérculos, a inadequação de filmes plásticos ou mesmo de combinações de gases para o acondicionamento de frutas e hortaliças, a existência de agroindústrias operando sem o mínimo de condições higiênicas, o desconhecimento tanto por parte de processadores quanto de supermercadistas da importância da manutenção da cadeia do frio e o desenvolvimento de novos produtos e ferramentas de comercialização, são desafios que ainda estão por ser vencidos pelos diversos atores envolvidos com a atividade de processamento mínimo de frutas e hortaliças no Brasil.

O estudo do manuseio de frutas e hortaliças minimamente processadas tem se desenvolvido basicamente nas últimas décadas. Os primeiros trabalhos focaram as saladas minimamente processadas (GARG et al., 1990; BOLIN; HUXSOLL, 1991; HOWARD et al., 1994), com ênfase inicial em embalagem sob atmosfera modificada (modified atmosphere packaging – MAP) visando à redução da atividade respiratória e de doenças (CAMERON et al., 1995).

Nos Estados Unidos, a alface foi uma das primeiras hortaliças a serem comercializadas na forma minimamente processada, pois era um dos principais ingredientes dos diferentes sanduíches consumidos naquela época. Um dos primeiros desafios enfrentados pelos processadores foi a ocorrência de escurecimento enzimático na nervura central da alface, problema apresentado ainda por grande parte dos seus genótipos empregados para a produção de saladas minimamente processadas. Depois da alface, vieram a cebola, a cenoura, o salsão e outras folhosas como o repolho.

Similarmente ao ocorrido no mercado americano, no Brasil, o início da atividade de processamento mínimo de frutas e hortaliças se deu com a chegada das redes de "fast food" ao país, no início dos anos 80. Inicialmente, a tecnologia utilizada era quase que em sua totalidade importada, pois o país ainda precisava de informações tecnológicas associadas ao processamento mínimo.

Entretanto, na década seguinte, iniciaram-se no Brasil, de forma consistente, a pesquisa e o desenvolvimento do processamento mínimo de frutas e hortaliças, o que possibilitou que muitos empresários pudessem atuar no setor de forma mais sustentável e competitiva.

2. Controle dos processos metabólicos

Frutas e hortaliças minimamente processadas são, na sua essência, tecidos vegetais que foram danificados propositalmente e que devem ser subsequentemente mantidos na forma fresca e com qualidade por períodos prolongados de tempo. O processamento mínimo ocasiona várias alterações físicas e fisiológicas que afetam a viabilidade e a qualidade do produto (SALTVEIT, 1997).

O aumento na perecibilidade em comparação com o produto intacto também requer que questões relacionadas com a manutenção dos compostos de importância nutricional e outros aspectos de fisiologia pós-colheita sejam enfocados em novos estudos (BRECHT et al., 2007).

Os estresses sofridos pelos tecidos vegetais geram respostas fisiológicas que incluem aumentos transientes na evolução de etileno e elevação na atividade respiratória. Tais eventos podem estar interligados com a indução do metabolismo de compostos fenólicos e com o processo de cicatrização do tecido (Figura

1). Os danos mecânicos causados pelas diferentes etapas de preparo de produtos minimamente processados podem também causar a degradação de lipídeos das membranas celulares (PICHIONNI et al., 1994; ZHUANG et al., 1997).

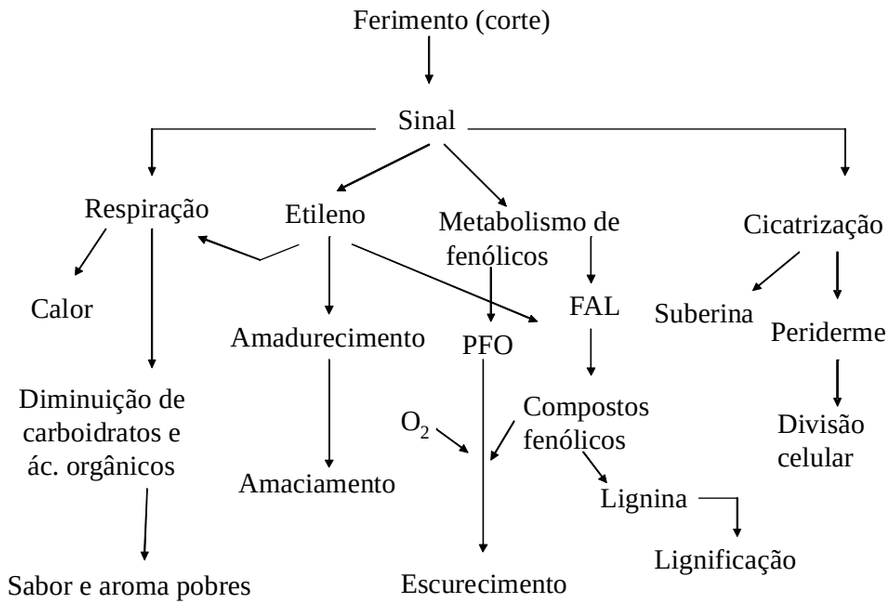


Figura 1: Relação entre os vários efeitos fisiológicos dos ferimentos causados aos tecidos em frutas e hortaliças minimamente processadas (SALTVEIT, 1997).

Outro processo metabólico associado ao processamento mínimo de frutas e hortaliças é o escurecimento proveniente da oxidação de compostos fenólicos e o amarelecimento decorrente da perda de clorofila. Esses eventos ocorrem, sobretudo, devido à ruptura da compartimentalização existente entre substratos e enzimas, ocasionando a liberação de ácidos e enzimas, os quais podem então entrar em contato com seus respectivos substratos. Produtos com altos níveis constitutivos de compostos fenólicos, como alcachofra e batata, escurecem facilmente quando o tecido injuriado é exposto ao oxigênio presente no ar atmosférico (LAURILA et al., 1998).

Os processos de formação de anaerobiose são eventos que devem ser controlados em frutas e hortaliças minimamente processadas, uma vez que esses produtos, em sua maioria, estão sujeitos a níveis diferenciados de O_2 e CO_2 em embalagens com atmosfera modificada e como resultado da utilização de recobrimentos. Há sempre o perigo de que esses produtos possam ser expostos a concentrações muito baixas de O_2 ou muito elevadas de CO_2, as quais podem induzir processos fermentativos. Níveis elevados de O_2 e CO_2 diminuem o pH do citoplasma, a concentração de ATP e a atividade da desidrogenase, enquanto a piruvato descarboxilase, a álcool desidrogenase e a lactato desidrogenase são induzidas ou ativadas (KADER; SALTVEIT, 2003).

Os diversos processos metabólicos conduzem, na maioria das vezes, a alterações sensoriais importantes. Produtos minimamente processados de alta qualidade devem possuir aparência fresca e consistente, textura aceitável, sabor e aroma característicos, além de vida de prateleira suficiente para que o produto sobreviva ao sistema de distribuição (SHEWFELT et al., 1987; SCHLIMME, 1995; WATADA et al., 1996).

Outro ponto não menos importante diz respeito à inegável evidência de que o consumo regular de frutas e hortaliças tem um prolongado efeito benéfico na saúde dos indivíduos e pode reduzir o risco de ocorrência de câncer e outras doenças crônicas, como as coronarianas. As frutas e hortaliças possuem, em sua constituição, uma enorme variedade de fitoquímicos com ação antioxidante, como polifenóis, vitaminas

C e **E,** beta-caroteno e outros carotenóides que são citados na literatura como compostos funcionais, tendo características antimutagênicas, anticancerígenas e inibidoras de diferentes tipos de câncer que são induzidos quimicamente. Estes fitoquímicos são conhecidos como "vitaminas antioxidantes", apesar de o betacaroteno ser na verdade uma pró-vitamina A (ELLIOTT, 1999; KAUR; KAPOOR, 2002).

Sem sombra de dúvida, o controle estrito de temperatura, associado à utilização criteriosa de embalagens e de tecnologia de modificação de atmosfera são métodos eficazes para o controle de processos metabólicos descritos anteriormente e que contribuem para a redução da qualidade final do produto. Todavia, verifica-se que a temperatura ideal de manuseio, armazenamento e comercialização de frutas e hortaliças minimamente processadas não é, na maioria das vezes, respeitada. Em uma série de estudos realizados no Distrito Federal, Nascimento et al. (2003) verificaram a temperatura de comercialização em 8 equipamentos de varejo, sendo 4 super e 4 hipermercados. Esses pesquisadores observaram que, em média, a temperatura de comercialização de 6 diferentes tipos de hortaliças minimamente processadas estava sempre acima de 10°C, o dobro da temperatura recomendada. Além de reduzir a vida de prateleira do produto, a comercialização em temperaturas elevadas possibilita o desenvolvimento de microrganismos patogênicos ao ser humano, o que torna o produto uma ameaça potencial à saúde pública.

3. Segurança do alimento e aspectos microbiológicos

A segurança da hortaliça minimamente processada é um pressuposto básico para o sucesso desta atividade agroindustrial. Desde a observância de regras básicas de Boas Práticas de Fabricação (BPF) até a adoção de ferramentas de gestão de qualidade como a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), as indústrias devem assegurar aos seus consumidores que seu produto é seguro e livre de contaminação química, física e microbiológica. A indústria deve também exigir que os fornecedores tenham Boas Práticas Agrícolas (BPA) implementadas de modo que a matéria-prima recebida seja segura.

Os processadores devem estar atentos ao fato de que estão produzindo alimentos cuja filosofia é ***"direto da embalagem para a mesa do consumidor"*** e, portanto, devem se preocupar com a higiene e demais processos de sanitização da hortaliça minimamente processada. Estudos demonstram que a carga microbiológica que as matérias-primas vegetais possuem no momento da colheita está acima de 100 UFC / grama de matéria fresca. Dentre os microrganismos mais comuns na matéria-prima citam-se bactérias, fungos e leveduras. Dentre as bactérias patogênicas citam-se as do gênero *Salmonella* e *Clostridium.* Em geral, de 50 a 90% da população microbiana de frutas e hortaliças são bactérias do gênero *Pseudomonas* (VANETTI, 2007). Podendo ainda ocorrer o desenvolvimento de outros microrganismos durante o transporte, processamento e armazenamento.

Diminuições significativas da população microbiana em frutas e hortaliças minimamente processadas podem ocorrer durante a etapa de sanitização com a adição de compostos sanitizantes. A eficiência desses compostos depende de uma série de fatores, que atuam isoladamente ou em conjunto, como pH, temperatura da água, tempo de contato, natureza da superfície dos produtos e a carga microbiana inicial. O cloro é o agente sanitizante mais empregado nas agroindústrias de processamento mínimo de frutas e hortaliças. Muitos estudos foram desenvolvidos como tentativa de substituição de produtos clorados para a sanificação de produtos minimamente processados, mas a conclusão comum tem sido que o cloro é o mais eficaz (FANTUZZI et al., 2004). Estudos têm demonstrado que concentrações de cloro livre de 50 a 200 ppm podem inativar células vegetativas de bactérias e fungos (SIMONS; SANGUANSRI, 1997). Todavia, recomenda-se que as concentrações para cada hortaliça devam ser estudadas detalhadamente. O controle da concentração do cloro e do pH da solução são pontos chave no sucesso da sanitização. Deve-se monitorar com frequência o pH e o teor de cloro disponível da solução, pois, em soluções com pH superior a 7,5, há redução da atividade germicida do sanificante. A solução apresenta atividade e estabilidade mais adequadas na faixa de pH entre 6,0 e 7,5. Concentrações muito elevadas de cloro podem causar problemas como descoloração, perda de qualidade e aumento na corrosão de equipamentos. Outro ponto importante diz

respeito à formação de trialometanos e cloraminas que ocorre pela combinação do cloro com a matéria orgânica (GARG et al., 1990; PARK; LEE, 1995).

Recentemente, houve um surto de *E. coli* em brotos de leguminosas na Alemanha, que matou 30 pessoas e deixou aproximadamente 3 mil infectadas. A princípio, acreditava-se que a fonte de contaminação eram pepinos, mas, após alguns dias de análises e pesquisas, constatou-se que a bactéria era oriunda dos brotos cultivados em sistema orgânico.

Infelizmente, existem muitas agroindústrias no país que estão relegando a segurança do alimento – *food safety* e a higiene a planos inferiores, o que tem contribuído para que haja certo preconceito por parte do consumidor contra produtos minimamente processados. O Distrito Federal foi pioneiro na preparação de legislação para regulamentar o setor de produtos minimamente processados. Essa norma encontra-se em consulta pública. Aspira-se que essa iniciativa seja uma alavanca para que os outros estados da federação se unam construir uma regulamentação nacional. Dessa forma, seria impedido o surgimento de "empresas de fundo de quintal", que acabam, muitas vezes, conseguindo colocar seu produto no mercado consumidor.

Os diferentes centros de excelência em pesquisa e desenvolvimento em frutas e hortaliças minimamente processadas têm desenvolvido projetos onde são estudados diferentes processos de higienização de superfícies e testados distintos compostos sanitizantes, sempre visando o desenvolvimento da agroindústria de frutas e hortaliças minimamente processadas no Brasil. Busca-se também o desenvolvimento de protocolos para a quantificação de compostos potencialmente carcinogênicos, como os trialometanos e as cloraminas. Essas instituições estão capacitadas a transferir tecnologias e conhecimentos aos diversos atores do agronegócio brasileiro de processamento mínimo de hortaliças.

4. Embalagens

O êxito das hortaliças minimamente processadas deve-se, em grande parte, à agregação de valor conseguida pelo processo produtivo e ao fato do produto ser entregue no ponto de venda pronto para o consumo. Os principais responsáveis por essas características do produto minimamente processado são o controle estrito de temperatura e a escolha criteriosa de embalagens, que propiciam uma modificação da atmosfera que envolve o produto, contribuindo para a manutenção do frescor, aumento da vida de prateleira e, em última análise, e elevação das vendas (ZAGORY, 2000; SOARES; GERALDINE, 2007).

O emprego de embalagens com atmosfera modificada baseia-se no princípio da redução do metabolismo vegetal em ambientes com reduzidas tensões de oxigênio, dentro de certos limites. Uma vez que tanto a taxa de respiração quanto a permeabilidade do filme são sensíveis a variações de temperatura, mas respondem a essas variações de forma diferente, espera-se que a embalagem sob atmosfera modificada mantenha uma determinada atmosfera somente dentro de uma dada faixa de temperatura (ZAGORY, 2000).

Quanto aos tipos de embalagem existentes, diferentes filmes plásticos estão comercialmente disponíveis. Polietileno, polipropileno, náilon multicamadas e copolímeros e laminados de diferentes plásticos estão no mercado nacional. De maneira geral, os filmes plásticos devem possuir resistência mecânica, resistência à perfuração e tensão, características que permitam sua selagem térmica, facilidade de colocação de logomarcas impressas, dentre outros. Obviamente que não existem filmes no mercado que atendam a todas essas exigências (ZAGORY, 2000).

A tecnologia de embalagens é talvez uma das áreas do processamento mínimo de frutas e hortaliças que têm experimentado o maior avanço tecnológico nos últimos anos. O desenvolvimento de novos materiais e formatos de embalagens, novas misturas gasosas, com o argônio sendo testado em substituição ao nitrogênio, a avaliação de embalagens ativas e inteligentes, dentre outros, estão sendo exaustivamente testados e avaliados em diferentes partes do mundo, com grandes chances de chegarem em breve às gôndolas dos supermercados (SOARES; GERALDINE, 2007).

Provavelmente, um dos assuntos que mais têm despertado interesse na área de embalagens diz respeito à utilização de embalagens ativas e inteligentes. Embalagens ativas referem-se à incorporação de certos aditivos em filmes ou contentores plásticos com o objetivo de manter a qualidade do produto e estender a

vida de prateleira. Os principais sistemas empregados em embalagens ativas são os absorvedores de oxigênio, gás carbônico, etileno e umidade, além de adsorvedores de aromas (MORETTI, 2007).

Por outro lado, embalagens inteligentes têm a capacidade de "perceber" o ambiente e prover informações sobre a função e as propriedades do alimento embalado, bem como de outros componentes não alimentícios. Salienta-se, entretanto, que embalagens ativas e embalagens inteligentes não são sinônimos.

No que diz respeito à indústria brasileira de frutas e hortaliças minimamente processadas, verifica-se que existe um grande desconhecimento das possibilidades quando o assunto é embalagem. Tal desconhecimento permeia todo o processo produtivo e vai desde o fornecedor da embalagem até o usuário final. Assim, não é raro observar agroindústrias que utilizam um mesmo tipo de filme plástico para brócolis (uma inflorescência com alta atividade metabólica) e cenoura (uma raiz, com atividade metabólica bem inferior).

Verifica-se também que a utilização de atmosfera modificada ativamente é usada mais como um modismo do que uma necessidade. Misturas previamente desenvolvidas por laboratórios internacionais para cultivares americanas ou européias são sistematicamente indicadas para os materiais nacionais, sendo muitas vezes consideradas ***"a salvação da lavoura"*** para as agroindústrias nacionais. Obviamente que nem sempre a adaptação surte o efeito desejado, redundando em desperdício de tempo e dinheiro. É necessário, portanto, que misturas especialmente desenvolvidas para as diferentes frutas e hortaliças e cultivares nacionais sejam estudadas bem como que a associação filme plástico – atmosfera ativa seja avaliada criteriosamente, a fim de se maximizar a vida de prateleira e a qualidade da hortaliça minimamente processada. Apesar de ser eficaz para diversos produtos, o emprego de atmosfera modificada ativamente nem sempre contribui para a extensão da vida de prateleira e manutenção da qualidade de frutas e hortaliças minimamente processadas. Em uma série de estudos conduzidos na Embrapa Hortaliças, Mattos et al. (2008) verificaram que o emprego de atmosfera modificada ativa (5% de O_2 + 5 % de CO_2 - balanço de N_2; e 2% de O_2 + 10% de CO_2 - balanço de N_2) em alface crespa minimamente processada embalada em filmes de polipropileno e armazenada a 5^{o}C não estendeu, de maneira significativa, a vida de prateleira do produto minimamente processado quando comparado com seu respectivo controle, e, em alguns casos, o produto embalado sob atmosfera modificada ativa possuía odor e aparência inferior à testemunha.

Finalmente, deve-se também mencionar o uso das embalagens conhecidas como "bolha". Tal ideia é vendida aos processadores como ideal, enquanto se sabe que o conteúdo de gás para a modificação efetiva da atmosfera é bem inferior ao preconizado.

5. Comercialização

As frutas e hortaliças minimamente processadas surgiram como uma interessante alternativa para o consumidor que não tem tempo de preparar sua refeição ou, mesmo, não gosta de fazê-lo. Em vários países, verifica-se que esses produtos estão sendo oferecidos nos formatos mais variados, sempre visando a agregação de valor e comodidade do consumidor.

O crescimento do negócio de saladas minimamente processadas na última década, nos EUA, foi bastante expressivo, movimentando cerca de 3 bilhões de dólares. As saladas oferecidas no mercado americano de hoje lembram muito pouco aquelas que eram comercializadas há 5 ou 10 anos. Isso retrata que o mercado tem a oferecer, constantemente, novidade ao consumidor. Todavia, à medida que o mercado americano parece vivenciar uma nova onda de crescimento, problemas antigos, como consistência na qualidade, ainda precisam ser solucionados. O caminho para o sucesso, segundo alguns processadores e supermercadistas, é ter a certeza de fornecer ao cliente o que ele está buscando toda vez que procurar por uma salada minimamente processada.

Segundo a Del Monte, grande empresa americana que também atua no mercado de frutas e hortaliças minimamente processadas, o mercado americano deve crescer entre 30 e 40% nos próximos 2 ou 3 anos. Um dos novos produtos da empresa é uma bandeja com morangos inteiros ou fatiados que são servidos acompanhados com creme de chocolate ou baunilha (MORETTI, 2007).

Enquanto isso, no Brasil, verifica-se que o setor de minimamente processados ainda apresenta timidez quando se trata de expansão dos mercados. Verifica-se que a comercialização desses produtos está praticamente circunscrita a médios e grandes centros urbanos, como São Paulo, Belo Horizonte, Brasília, Rio de Janeiro e algumas capitais das regiões Nordeste e Sul do Brasil (ROJO; SAABOR, 2002).

No que diz respeito à exposição de frutas e hortaliças minimamente processadas em supermercados no Brasil, verifica-se que o padrão empregado não difere de maneira significativa do observado em outros locais. Todavia, existe uma diferença marcante entre as gôndolas em países desenvolvidos, como Alemanha, Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos, França, Inglaterra, e nos países em desenvolvimento como o Brasil e a China: o controle da temperatura. Enquanto naqueles países o controle no ponto de venda é estrito, isto é, variando muito pouco acima dos 5 ou 6ºC, nesses últimos a temperatura chega a até 20ºC (NASCIMENTO et al., 2003) e, em casos extremos, é comercializada à temperatura ambiente, como verificado em supermercados em Beijing, capital da China, e em certas feiras livres no Brasil.

6. Etapas do processamento mínimo

As etapas do processamento mínimo para hortaliças minimamente processadas deve ser estabelecido de acordo com a particularidade de cada um dos produtos (folhosas, raízes e tubérculos). Entretanto, deve-se garantir que os perigos sejam controlados e se produza um alimento seguro.

Na Figura 2, encontra-se o fluxograma básico de processamento mínimo de hortaliças.

6.1 Colheita e recepção da matéria-prima

Após a colheita, de preferência realizada nas horas mais frescas do dia, as hortaliças devem ser colocadas à sombra e, em seguida, resfriadas. Caso o galpão de processamento seja próximo ao campo de produção, o produto deve ser levado diretamente para a área de processamento, a qual deve estar resfriada. De modo contrário, o produto deve ser acondicionado, no campo, em embalagens apropriadas, e posteriormente transportado para o local de processamento.

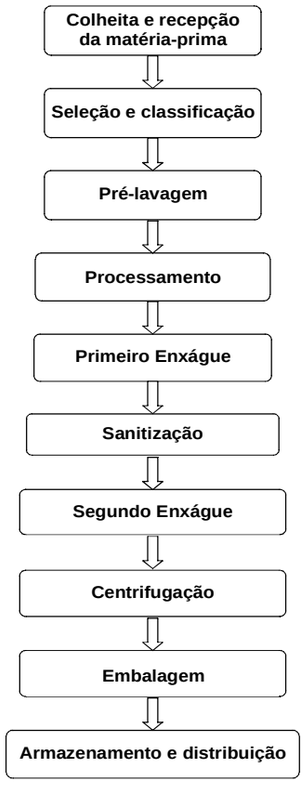


Figura 2: Fluxograma básico de processamento mínimo de hortaliças.

6.2 Seleção e classificação

Nesta etapa, partes das hortaliças que estão com danos mecânicos e os causados por insetos ou doenças são descartadas. As partes das hortaliças selecionadas são então classificadas de acordo com as exigências da agroindústria para a produção de hortaliças minimamente processadas.

6.3 Pré-lavagem

A pré-lavagem consiste na limpeza (com água limpa corrente e de boa qualidade) do material que vem do campo, a fim de remover matéria orgânica e demais impurezas aderidas ao produto.

6.4 Processamento

Antes do processamento propriamente dito, realizam-se as aparas, se for o caso. O corte pode ser realizado manualmente ou com auxílio de equipamentos próprios. Os equipamentos devem ser devidamente sanificados, pois representam uma fonte potencial de contaminação.

6.5 Primeiro enxágue

O primeiro enxágue tem por finalidade remover o suco celular, que foi extravasado com o rompimento das membranas celulares no momento do corte. A retirada dessa matéria orgânica é importante para que se iniba o crescimento de microrganismos, que poderiam utilizá-la como meio de cultura. Além disso, caso a matéria orgânica permaneça, poderá ocorrer reação com o cloro da solução sanitizante, na etapa subsequente, levando à formação de compostos indesejáveis, além de reduzir a eficiência desta solução.

6.6 Sanificação

De acordo com Moretti e Mattos (2007), a sanitização consiste na imersão do produto processado em solução clorada, podendo a concentração variar de 100 até o máximo de 200 mg de cloro ativo por litro de água limpa e com temperatura de 0 a 5^{o}C; o tempo de imersão também varia de acordo com o produto. A sanitização por cloro é geralmente efetiva, comparativamente barata, e pode ser implementada em operações de qualquer tamanho.

6.7 Segundo enxágue

O produto deve ser enxaguado após o tratamento com cloro, num terceiro tanque, com água limpa e tratada (10 mL de cloro ativo por litro de água), preferencialmente a uma temperatura entre 0 e 5^{o}C, com vistas à minimização dos efeitos do corte sobre o metabolismo do tecido vegetal.

6.8 Centrifugação

Esta etapa visa à remoção do excesso de água, acumulado na hortaliça durante as etapas anteriores. O tempo de centrifugação e a velocidade de rotação empregados variam com a hortaliça.

6.9 Embalagem

A embalagem de um alimento deve contê-lo e protegê-lo desde o local de produção até o ponto do consumo. Além de proteger o produto perecível de danos físicos causados por manuseio ou pragas, condições extremas de temperatura e de umidade, é também usada para identificar o produto, a marca de origem e outras informações importantes, como datas de produção e de validade, instruções de preparo, informações nutricionais e modo de armazenamento (SCHLIMME, 1995).

6.10 Comercialização e distribuição

Depois de embaladas, as hortaliças minimamente processadas devem ser armazenadas e comercializadas sob temperatura de 5ºC. O transporte também deve ser refrigerado para evitar a variação de temperatura, de modo que não ocorra condensação de vapor d'água na superfície interna da embalagem. A comercialização em gôndolas abertas, com temperaturas que atingem 10ºC, aumenta os riscos de toxinfecções alimentares (MORETTI, 2007).

7. Conclusões

Ainda existe uma considerável distância entre o setor produtivo e a pesquisa e desenvolvimento. Esforços devem ser envidados a fim de que, cada vez mais, exista maior interação entre o trabalho que é feito nos centros de pesquisa e a real necessidade das agroindústrias nacionais. Nesse sentido, é imperativo que o setor varejista, tendo os supermercados como principal representante, também participe desse esforço na solução dos problemas existentes e no desenvolvimento da tecnologia que contribuirá para que tanto a agroindústria quanto o consumidor brasileiros tenham produtos mais competitivos e acima de tudo de maior qualidade.

Referências

BOLIN, H.; HUXSOLL, C. Effects of preparation, procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 56, n. 4, p. 60-67, 1991.

BRECHT, J. K.; SALTVEIT, M. E.; TALCOTT, S. T.; MORETTI, C. L. Alterações metabólicas. In: MORETTI, C. L. (Org.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. v. 1, p. 154-171.

CAMERON, A. C.; TALASILA, P. C.; JOLES, D. W. Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience,** Alexandria, v. 30, p. 25-34, 1995.

ELLIOTT, J. G. Application of antioxidant vitamins in foods and beverages. **Food Technology,** Chicago, v. 53, n. 2, p. 46-48, 1999.

FANTUZZI, E.; PUSCHMANN, R.; VANETTI, M. C. D. Microbiota contaminante em repolho minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 24, p. 207-211, 2004.

GARG, N.; CHYREY, J. J.; SPLITTSTOESSER, D. F. Effect of processings conditions on the microflora of fresh-cut vegetables. **Journal of Food Protection,** Ames, v. 53, n. 8, p. 701-703, 1990.

HOWARD, L. R.; GRIFFIN, L. E.; LEE, Y. Steam treatment of minimally processed carrot sticks to control surface discoloration. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 59, p. 356-358, 1994.

KADER, A. A.; SALTVEIT, M. E. Atmosphere modification. In: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables.** New York: Marcel Dekker, 2003. p. 229-246.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. **International Journal of Food Science and Technology,** Oxford, v. 37, p. 153-161, 2002.

LAURILA, E.; KERVINEN, R.; AHVENAINEN, R. The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. **Postharvest news and Information,** Wallingford, v. 9, n. 4, p. 53N-66N, 1998.

MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Atividade respiratória e evolução de etileno em alface crespa minimamente processada armazenada sob duas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 32, n. 6, p. 1985-1990, 2008.

MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. Processamento mínimo de minicenoura. In: MORETTI, C. L. (Org.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. v. 1, p. 397-412.

MORETTI, C. L. Panorama do processamento mínimo de frutas e hortaliças. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2007. p. 27-40.

NASCIMENTO, E. F.; MORETTI, C. L.; ZUCHETTO, M. C.; MATTOS, L. M. Avaliação da temperatura de comercialização de hortaliças minimamente processadas no mercado varejista do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43., 2003, Recife. **Anais...** Recife: SOB, 2003. 1 CD-ROM.

PARK, W. P.; LEE, D. S. Effect of chlorine treatment on cut watercress and onion. **Journal of Food Quality,** Wastport, v. 18, p. 415-424, 1995.

PICHIONI, G. A.; WATADA, A. E.; ROY, S.; WHITAKER, B. D.; WERGIN, W. P. Membrane Lipid Metabolism, Cell Permeability, and Ultrastructural Changes in Lightly Processed Carrots. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 59, n. 3, p. 597-601, 1994.

ROJO, F.; SAABOR, A. Praticidade impulsiona a venda de pré - processados. **FruitFatos,** [S. l.], v. 2, n. 2, p. 42-44, 2002.

SALTVEIT, M. E. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ROBINS, R. J. (Ed.). **Phytochemistry of fruit and vegetables.** London: Oxford University Press, 1997. p. 205-220.

SCHLIMME, D. V. Marketing Lightly Processed Fruit and Vegetables. **Hortscience,** Alexandria, v. 30, n. 1, p. 15-17, 1995.

SIMONS, L. K.; SANGUANSRI, P. Advances in the washing of minimally processed vegetables. **Food Australia,** North Sidney, v. 49, n. 2, p. 75-80, 1997.

SOARES, N. F. F.; GERALDINE, R. M. Embalagens. In: MORETTI, C. L. (Org.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. v. 1, p. 154-171.

SHEWFELT, R. L. Quality of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality,** Wastport, v. 10, p. 143-156, 1987.

VANETTI, M. C. D. Microbiologia. In: MORETTI, C. L. (Org.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. v. 1, p. 141-150.

WATADA, A. E.; KO, N. P.; MINOTT, D. A. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 9, p. 115-125, 1996.

ZAGORY, D. Controlled and modified atmospheres: advances in MAP. In: **Postharvest Technology. Fresh-cut:** maintaining quality and safety. California: Davis, 2000. p. 4-5.

ZHUANG, H.; HILDEBRAND, D. F.; BARTH, M. M. Temperature influenced lipid peroxidation and deterioration in broccoli buds during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 10, p. 49-58, 1997.

Capítulo 14

Processamento Mínimo de Frutas

José Fernando Durigan
Maria Fernanda Berlingieri Durigan

1. Introdução

Os produtos minimamente processados (PMP) ou de quarta gama têm se firmado, dada sua praticidade, o que vem ao encontro do pretendido como alimento pelo seu principal comprador que são as mulheres com idade superior a 36 anos, com 1-3 filhos e renda superior a 12,9 salários mínimos, que realizam suas compras de alimentos em supermercados. Os produtos hortícolas mais comuns como PMP são os legumes, seguidos das folhosas e, por último, das frutas.

Esse interesse nos produtos da quarta gama está ligado ao desejo que as donas de casa têm em despender cada vez menos tempo para o preparo das refeições, com o aumento na quantidade de pessoas que moram sozinhas ou em famílias pequenas, em uma população que está envelhecendo. Esses consumidores, especialmente os com maior poder aquisitivo e educação mais refinada, exigem produtos que, além de terem elevado grau de conveniência, devem ser nutricionalmente saudáveis, versáteis e frescos.

A exigência do frescor se faz sentir no consumo de vegetais frescos, que do total dos gastos com alimentação representam 10% nos EUA, 15% na França, 11% na Alemanha, 25% na Itália, 20% na Holanda e até 12% no Brasil. Esta evolução é devida ao aumento nos índices de obesidade e outros problemas nutricionais, principalmente entre crianças e jovens, exigindo campanhas institucionais que visam à educação alimentar, com foco no consumo de frutas e hortaliças, como a merenda escolar em partes do Brasil e a "5-a-day" nos EUA e Europa. Isso acontece, dada a necessidade de se aumentar a ingestão de macronutrientes como as fibras, de micronutrientes como os minerais (K, Mg, Zn, Ca, Se) e as vitaminas (riboflavina, B6, niacina, folatos, C, A, e E), além de fitoquímicos como polifenóis, carotenoides e glicosinolatos.

A saúde, a conveniência, o valor e o sabor são as chaves da indústria de alimentos no mundo, onde se encaixam os produtos minimamente processados. Os produtos com maior sucesso, além de cumprirem com estas exigências básicas, têm preparo fácil e colaboram com a nutrição e/ou com os benefícios do peso adequado, com adição ou conservação de nutrientes (vitaminas, cálcio, fitoesteróis), redução nos conteúdos de calorias e de gorduras, alto teor de fibras, ou elevado conteúdo de energia e proteínas para ganho de massa, ou ainda "diet" para consumidores especiais e, principalmente, que sejam naturais ou orgânicos.

As mudanças nos costumes dos consumidores e que têm influenciado a indústria de alimentos, principalmente na americana (STOAN, 2007), são:

- Maior interesse em se fazer refeições no lar, com alimentos mais saudáveis e com grande preferência pelos congelados ou frescos. Dentre as refeições, o jantar é o preferido para ser realizado no lar, enquanto o café da manhã é o mais realizado fora.

- Alimentos com alta qualidade, como os *premium*, *gourmet* e exóticos. No mundo, a cozinha Mediterrânea está no topo deste interesse (68%), seguida da Latino-Americana (67%), Pan-Asiática (61%), Brasileiro-Argentina (60%) e Tailandesa (60%). Alimentos vegetarianos são os preferidos, com destaque para o uso do gengibre, óleos, vinagre balsâmico e outros condimentos, como os molhos à base de frutas. Dentre as frutas, destacam-se os figos, azeitonas, mangas e mamão, e dentre as saladas de hortaliças, as verdes e as pimentas.

Novos produtos cítricos poderão se adicionados às dietas, como o kunquati, o grapefruit, a kin-kan e laranjas com polpa vermelha, além de diferentes tipos de pera. Carambolas, kiwi, flores e pétalas de rosas, taro, quiabo e néctares são considerados novidades.

- Alimentos com novas formas ou funções deverão receber foco especial. Os aperitivos e os incrementadores de sopas têm apresentado grande crescimento nas vendas, seguidos dos energéticos, das saladas frescas prontas e das ervas e temperos frescos. Merecem destaque, os vegetais frescos e os que podem ser cozidos em micro-ondas, em até dois minutos. As vendas de produtos para vegetarianos, ocasionais ou não, aumentaram. As porções individualizadas são consideradas como tendo elevado grau de conveniência.

- O apelo sensorial dos alimentos também tem aumentado de importância, principalmente os com novas texturas. O "crispness" e o "crunch" são os preferidos. O aroma também tem recebido destaque, com as ervas estimuladoras do apetite, sendo as mais lembradas o alho, pimentas, manjericão, orégano,

salsinha, cebolinha, hortelã, alecrim e açafrão. Outros têm ganhado popularidade, como o tomilho, capim-limão, ginseng, manjericão tailandês, e salsa italiana. Tomates, batatas, soja verde, milho doce, batata doce, couve chinesa e cenouras são alimentos naturais e têm o apelo do reduzido teor de sódio e ausência de sabor amargo Toques florais como a lavanda, a flor do chá, o jasmim, o manjericão-mel e a camomila têm possibilitado novos produtos.

- Alimentos para crianças têm despertado grande interesse, assim como os para grávidas e lactantes, principalmente quando se tem o fantasma da obesidade rondando, pois as estatísticas indicam que os percentuais de jovens obesos continuarão aumentando. Os alimentos gourmet, étnicos e saudáveis são os que têm a preferência.

- Alimentos isentos de ingredientes indesejáveis, como gordura trans, lactose, glúten, sódio, cafeína, colesterol e açúcares em excesso são muito desejados pelos integrantes da faixa etária mais idosa da população, que está em franco crescimento. É muito importante a garantia de que o produto é isento de resíduos de pesticidas, antibióticos e hormônios.

- Alimentos locais ou regionais e que tenham conotação de orgânicos ou produzidos artesanalmente, com indicação de frescor, sanidade, sabor adequado e resultante de agricultura sustentável também têm sua procura aumentada.

- Alimentos saudáveis e que preservam a saúde dos consumidores deverão ter muito destaque, pois há um grande medo das doenças alimentares. Há forte interesse em alimentos vegetais integrais, ricos e com alta biodisponibilidade de cálcio, antioxidantes, fibras, proteínas, omega-3, vitamina D, vitaminas do complexo B, minerais (K, Mg, Zn) e aminoácidos. Os que são boa fonte energética têm a preferência dos atletas. A presença de inulina, probióticos, lactoferrina, isoflavonas, enzimas e co-enzimas, ligninas e fitoquímicos, como os flavonoides, o resveratrol, as antocianinas e os carotenoides são muito desejáveis. Deve-se considerar que a população com mais de 50 anos está aumentando e tem sérios problemas com artrites, alto colesterol, osteoporose, entre as mulheres, e diabetes.

- Bebidas consideradas de nova geração como as energéticas têm apresentado grande crescimento, como as contendo açaí, ginseng, proteínas, cálcio e vitaminas, D, B_2 e C. A água de coco tem aumentado sua presença com a disponibilidade de embalagens convenientes.

- Produtos como “snacks” e em porções como as tiras ou palitos de frutas e hortaliças, para consumo ao longo do dia ou como aperitivos, também têm aumentado sua presença. Destacam-se os produzidos com frutas frescas ou liofilizadas, orgânicas.

Essas observações ganham importância, quando se nota que os grandes distribuidores de PMP são as cadeias de supermercados, havendo a necessidade de diversificação e expansão em direção ao uso institucional e privado, como o sistema de *fast food*, lanchonetes, restaurantes, cadeias ou isolados, além do *catering*. A exportação tem potencial ainda não explorado, pois, apesar do interesse na aquisição de diferentes produtos pelos importadores, ainda não se efetivou, principalmente por falta de competência das estruturas produtoras.

Para que os Produtos Minimamente Processados possam se expandir neste cenário, será necessário que se tenha especial atenção para:

- Vegetais especializados. As frutas sem sementes (melancia e uva), as com cores brilhantes, textura firme, gosto excepcional, casca fina e polpa com alto teor de sólidos solúveis, acima de 12-13 ^{o}Brix, têm aceitação garantida. Há, também, a possibilidade do desenvolvimento de vegetais com altos teores de nutracêuticos, como cenouras roxas com alto teor de antocianina, soja verde com alto teor de isoflavonas e cítricos ricos nos flavonoides hesperidina, limonin e naringin;

- Segurança alimentar. A popularização dos sistemas de boas práticas agrícolas e de fabricação, assim como o desenvolvimento de sistemas e produtos sanitizantes mais seguros e eficazes devem ser priorizados. O estabelecimento de legislação sanitária específica e fiscalizada e de outros parâmetros que permitam nível zero de ocorrência de problemas;

- Educação. Todos os elementos envolvidos na cadeia produtiva e de distribuição devem ter treinamento

específico para o trabalho com PMP, com foco na especialização e competência;

- Cadeia do Frio. Este segmento deve ser tecnicamente adequado, integrado a sistemas de logística para armazenamento e distribuição, e popularizado;

- Embalagens. Elas deverão cumprir o seu objetivo principal, que é a proteção do produto, do processamento ao consumo, mas que, ao ser removida, não se torne um problema ambiental. Entre os parâmetros que devem evoluir, estão o design, a redução no peso, a biodegradabilidade, a reciclagem e a combustibilidade;

- Investimentos. O desenvolvimento de equipamentos especializados, de novos processos e do conhecimento da fisiologia das matérias-primas e dos produtos acabados ainda se faz necessário;

- Exploração de nichos exóticos. Há possibilidade de introdução de frutas e hortaliças "baby", de misturas de frutas com hortaliças, e de frutas ainda pouco populares ou conhecidas, como pitaya, carambola, jaca, pequi, mamei, maracujás, figo-da-índia, gabiroba e mangaba, dentre outras. As polpas congeladas, como a de açaí, bacuri, graviola, uvaia, pitanga e tamarindo, têm grande possibilidade de sucesso;

- Produtos orgânicos. O interesse dos consumidores neste segmento é um dos negócios que têm crescido bastante e ele já representa importante fatia das vendas de produtos hortícolas, com aumento na quantidade e na diversidade de produtos.

A indústria dos Produtos Minimamente Processados ou de Quarta Gama já está estabelecida no Brasil e deverá se expandir cada vez mais, à medida que aumente seu conhecimento e se invista no desenvolvimento de novos materiais e processos que venham ao encontro do desejado pelos consumidores.

2. O processamento mínimo

Como definição geral, tem-se que é o produto "fresco" tornado conveniente, oferecendo ao seu usuário qualidade constante e garantia de sanidade (CANTWELL, 1992; WILEY, 1994). No estado de São Paulo, a Resolução SAA-42, de 19/06/2009, estabelece que os produtos minimamente processados são produtos hortícolas higienizados e embalados, que foram submetidos a processos técnicos, preservando suas características sensoriais naturais, tornando-os prontos para o consumo *in natura* ou para preparo culinário.

Almeida (1998) relata esse processamento como uma série de operações para a obtenção de um produto que ofereça conveniência de uso e características semelhantes à do vegetal *in natura.*

A possibilidade de processamento deste produto na propriedade agrícola tem contribuído para a diversificação das indústrias regionais, reduzindo as perdas pós-colheita, melhorando o manejo dos resíduos, facilitando o transporte e eliminando problemas de ordem fitossanitária. Além disso, esta nova opção para os produtores agrícolas permite maior aproveitamento da produção, agrega valor aos produtos, sendo bastante adequada às micro e pequenas empresas familiares e possibilita a fixação da mão de obra nas regiões produtoras.

Esses produtos já são uma realidade para as oleráceas e já podem ser adquiridos em diferentes mercados, mas as frutas ainda são uma promessa, dada a falta de conhecimento a respeito do comportamento fisiológico dos produtos preparados. Pode-se citar a potencialidade das frutas prontas para o consumo direto, desde o simples descascamento, a divisão das frutas grandes em pedaços personalizados, o preparo em fatias, cubos, bolas, cilindros, ou em gomos, etc. Há também as frutas preparadas para coquetéis, para a produção de tortas e bolos, as prontas para serem preparadas em calda e as saladas de frutas.

O preparo desses produtos, geralmente, implica nas seguintes operações: Seleção da matéria-prima, com a eliminação de todas as unidades indesejáveis; Lavagem e higienização, com água clorada a 200ppm, seguida de resfriamento a 5-10^{o}C; Descasque e/ou de corte sob condição higiênica e de preferência refrigerada (10-12^{o}C); Enxágue e resfriamento com água clorada (20ppm) a 5-10^{o}C; Embalagem; Armazenamento refrigerado; Transporte refrigerado e Comercialização como alimento refrigerado.

2.1 Qualidade

Cantwell (1992) explicou que a demanda desses produtos depende principalmente de fatores que os

tornem visualmente aceitáveis e atrativos. Eles devem ter a aparência de um vegetal fresco, ter boa consistência e não apresentar defeitos. A qualidade das saladas com vegetais minimamente processados está relacionada com a aparência do produto mais perecível presente na embalagem.

O principal parâmetro indicador da qualidade de um produto é sua coloração, pois os consumidores já desenvolveram uma relação entre a cor e a qualidade máxima do produto (KAYS, 1991). Técnicas impróprias ou falhas no processamento podem resultar em várias alterações, como ressecamento, oxidação e consequente escurecimento, murchamento e crescimento microbiano, com prejuízos inevitáveis à qualidade e valor dos produtos (MANZANO et al., 1995).

Além das características ligadas à aparência, que são avaliadas diretamente pelo consumidor, existem outros fatores relacionados com sua composição química e sua segurança, que determinam a qualidade do produto comercializado.

Fatores como a temperatura e a umidade relativa durante o armazenamento, a presença de microrganismos e o tipo de embalagem utilizado, têm grande influência sobre a manutenção da qualidade e devem ser adequados a cada tipo de produto processado.

2.2 Fisiologia

Como em todas as frutas e vegetais, os produtos minimamente processados se deterioram após o processamento, devido à sua própria ação fisiológica e à ação microbiana. O estresse causado pelo processamento resulta em uma descompartimentalização celular que separa as enzimas de seus substratos, levando a várias deteriorações bioquímicas, tornando-os mais perecíveis do que os produtos intactos (CANTWELL; SUSLOW, 2002).

A injúria provoca o rompimento de organelas, modifica a permeabilidade da célula, provoca uma desorganização celular, ativando a síntese do etileno e aumentando a respiração (AGUAYO et al., 2004). No momento do corte, os ácidos graxos livres (polinsaturados) reagem com o O_2 por meio da lipoxigenase, formando hidroperóxidos que levam à perda do valor nutritivo, causam alterações desagradáveis no sabor e no aroma, com a formação de pigmentos escuros. Como consequência da indução da síntese de etileno e do aumento da respiração, têm-se diferenças no grau de maturação entre os tecidos injuriados e não injuriados, aumento na perda de água (exudação) e na evaporação (dessecação); aceleração nas reações de defesa do tecido; modificações na qualidade do produto; e redução na sua vida de prateleira.

2.3 Conservação

A vida útil desses produtos é fundamental para as indústrias processadoras, pois a maioria dos produtos minimamente processados é preparada por produtores nacionais ou regionais. Para os produtores que abastecem o mercado nacional, há a necessidade de, no mínimo, 14 dias de vida útil para esses produtos, devido às grandes distâncias percorridas para a distribuição, mas que têm a vantagem de estarem localizados próximos aos campos de produção, recebendo o produto no seu máximo de qualidade. Os processadores próximos aos centros consumidores trabalham com vegetais que foram colhidos, em média, há 4-7 dias, o que torna a vida útil do produto bastante limitada, após o processamento. De qualquer maneira, esses processadores necessitam de apenas 7 dias de vida útil para seus produtos.

A sanidade e a vida útil dos produtos minimamente processados dependem de muitos fatores, que incluem a qualidade da água e dos ingredientes, do seu histórico, da tecnologia de produção e da interação com microrganismos. Assim, o aumento da sua vida útil pode ser significativamente melhorado por diferentes estratégias de ação, durante toda a linha de produção (GUERZONI et al., 1996).

O uso de facas adequadamente afiadas para o corte dos produtos reduz os danos mecânicos, o escurecimento enzimático e o desenvolvimento de microrganismos, pois diminui os danos à integridade celular e a perda de fluidos internos (BOLIN et al., 1997). A ação dos íons metálicos pode ser evitada com o uso de equipamentos de aço inox.

Quando há necessidade de descascamento, os tratamentos enzimáticos são menos traumáticos que os

abrasivos, com o uso de vapor ou alta pressão. A redução no tamanho das unidades aumenta a intensidade respiratória e a produção do etileno, o que estimula a biossíntese de enzimas, como as pectinases e as fenolases. O aumento na superfície exposta leva a maior desidratação e, consequentemente, maior perda de peso. Tecidos lesionados também aumentam a síntese de metabólitos como as ligninas e as coumarinas, que podem evitar o desenvolvimento microbiano, mas podem prejudicar a qualidade do produto, quanto ao aroma, sabor, coloração e textura, assim como quanto ao valor nutritivo (VAROQUAUX; WILEY, 1994). O conhecimento sobre os efeitos da preparação, manuseio e tratamentos, como o uso de atmosfera modificada e biofilmes na qualidade nutricional dos produtos minimamente processados ainda é pequeno. Isso tem sido indicado pela inativação das vitaminas C e A e compostos fenólicos pela exposição dos tecidos internos do vegetal a luz, ar, degradações enzimáticas e químicas, perda de água (WRIGHT; KADER, 1997; NUNES et al., 1998).

Há, também, falta de informações sobre a perda e geração de compostos biologicamente ativos durante o processamento dos PMP, apesar de se ter indicações de variações que oscilam de 26% de perda a 191% de aumentos nos fenólicos, enquanto a atividade antioxidante variou de 51% de decréscimo a aumento de 442% (REYES et al., 2007).

Existem vários métodos que podem ser combinados para melhorar a preservação dos produtos minimamente processados, como o uso de radiação gama, radiação ultravioleta (200-280 nm), biofilmes como ceras, quitosana e trehalose, e controladores biológicos.

O armazenamento sob refrigeração, o emprego de conservadores químicos, como o cálcio e o ácido ascórbico, a redução do pH, a redução na atividade da água e o armazenamento sob atmosfera controlada ou modificada são outros instrumentos que podem ser efetivos no controle da deterioração fisiológica e microbiana dos produtos minimamente processados.

2.4 Armazenamento refrigerado

A temperatura de armazenamento tem um efeito significativo na perda de qualidade (BEHRSING, 1998); baixas temperaturas conservam os alimentos, retardando ou evitando o crescimento de microganismos e, no caso dos alimentos frescos, inibindo a ação das enzimas autocatalíticas naturais (HERSON; HULLAND, 1980).

Os diferentes organismos presentes nos alimentos têm uma temperatura ótima para crescimento e uma mínima, abaixo da qual não podem se multiplicar. À medida que diminui a temperatura de armazenamento, o crescimento microbiano também vai decrescendo, sendo mínimo na temperatura de crescimento mínimo. As temperaturas mais baixas podem inibir o crescimento de microrganismos, porém sua atividade metabólica continua, ainda que lentamente, até certo limite (GAVA, 1984).

Além de reduzir a atividade metabólica de possíveis microrganismos presentes em um produto processado, a temperatura também tem uma grande influência, no metabolismo do próprio vegetal, com o demonstrado por Teixeira et al. (2001), quando armazenaram pedaços de mamão 'Formosa' a 3ºC, 6ºC e 9ºC e verificaram que as menores temperaturas aumentavam a sua vida útil.

Temperaturas mais baixas de armazenamento retardam o metabolismo do vegetal através da diminuição de sua taxa respiratória e da redução de sua atividade enzimática (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A respiração é o processo central da vida das células, o qual media a liberação de energia através da quebra dos compostos de carbono e a formação dos esqueletos necessários para as reações sintéticas e manutenção do produto após a colheita. Esse processo dá uma indicação geral do metabolismo do produto, indicando sua intensidade (KAYS, 1991). Muitas mudanças podem ocorrer no metabolismo e não serem perceptíveis na respiração; daí a ideia de se indicar o metabolismo de uma forma bastante ampla.

O efeito da temperatura nas taxas respiratórias de diferentes vegetais é demonstrado por Kays (1991). Com a redução da respiração, há, em consequência, uma redução nas perdas de aroma, sabor, textura, cor e demais atributos de qualidade dos produtos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os microrganismos são a principal fonte de prejuízos aos produtos minimamente processados. O

tipo, as espécies e as contagens de microrganismos contaminantes nos produtos variam com os frutos e as hortaliças, práticas de cultivo, e condições higiênicas durante o manuseio e o processamento, sendo a temperatura um fator essencial (ARTÉS-HERNANDEZ et al., 2007).

O controle microbiológico pode ser conseguido com a redução na contaminação inicial, com a higiene nas operações, limpeza do ambiente, higiene e sanidade dos empregados e higienização dos equipamentos, além de um eficiente programa de monitoramento de higiene, como o de Análise de Perigos e dos Pontos Críticos de Controle (HACCP) com avaliação dos perigos e riscos dos alimentos, determinação e estabelecimento dos pontos críticos, estabelecimento de procedimentos para monitorá-los e para correções específicas, capacitação para registros efetivos e ações para verificar a adequação do trabalho ao sistema de preparo (GORNY, 2001).

O desenvolvimento de sistemas de rastreabilidade para indicar a origem e o modo de produção do alimento pode produzir informações específicas de cada situação, que são facilmente incorporadas ao código de barras (ARTÉS, 2004).

Bactérias, assim como fungos e leveduras, podem proliferar na periferia e interior dos tecidos danificados devido à presença dos fluidos celulares, tornando essencial o enxágue, a centrifugação e a secagem com ar frio.

As restrições que têm sido impostas ao uso do cloro, dada a possibilidade indicada em pesquisas quanto à formação e persistência de trialometanos, que são cancerígenos, têm feito com que o O_3 seja usado como desinfetante para alimentos (KIM et al., 1999), assim como a H_2O_2 (SAPERS; SIMMONS, 1998). Ele tem se mostrado potente redutor das populações microbianas, sendo mais efetivo para as bactérias que para os fungos (AGUAYO et al., 2006).

Também é bastante conhecido o efeito fungistático de atmosferas ricas em CO_2, super-ricas em O_2 e suas combinações (AMANATIDOU et al., 1999; ALLENDE et al., 2002; 2004), assim como de produtos naturais como o hexanal, o 2-(E)-hexanal, o hexyl acetato e os óleos essenciais de cítrus (LANCIOTTI et al., 2004).

Os testes rápidos e específicos para os patógenos que podem ocorrer nos PMP ainda devem ser certificados, pois há problemas com Escherichia coli (GILLESPIE, 2007) e, apesar das temperaturas abaixo de 5ºC terem efetividade no controle de bactérias mesofilicas, há os riscos com as psicrofílicas, como a *Yersinia enterocolitica,* a *Salmonella sp, Listeria monocytogenes* e *Aeromonas hydrophila,* que afortunadamente não têm ocorrência comum (BRACKETT, 1994).

2.5 Embalagens

O armazenamento de alimentos sem uma proteção externa (embalagem) conduz à oxidação e à destruição de muitos nutrientes, inclusive das vitaminas (GAVA, 1984). A embalagem funciona como a membrana que foi retirada com o processamento, reduzindo a perda de água, o ataque de microrganismos e outras reações.

Depois da refrigeração, o uso de atmosfera modificada através de embalagens (MAP) tem sido o método mais eficiente para estender a vida útil de vegetais minimamente processados, e vem sendo considerado como mais um passo na conservação desses produtos (WILEY, 1994).

Há dois tipos de atmosferas modificadas citadas por Zagory e Kader (1988), Smith et al. (1990) e Wiley (1994), são chamadas de Atmosferas Modificadas Passivas *(Passive MAP),* aquelas nas quais os produtos são colocados em uma embalagem permeável a gases e em seguida selados, permitindo à respiração reduzir a concentração de O_2 e aumentar a de CO_2 dentro dela, até um estado de equilíbrio desejado. Atmosferas Modificadas Ativas *(Active MAP)* são aquelas onde os produtos são colocados nas embalagens permeáveis a gases, tendo seu volume de ar retirado a vácuo, com posterior injeção de concentrações de O_2, CO_2 e N_2 previamente determinadas, antes de um rápido fechamento.

No interior da embalagem com atmosferas modificadas passivas, os processos respiratórios do vegetal vão modificando a concentração de gases, aumentando as concentrações de CO_2 e diminuindo as de O_2

e etileno. Essas alterações podem reduzir a incidência de microrganismos, as desordens fisiológicas e as deteriorações bioquímicas, que, sozinhas ou em conjunto, resultam em mudanças na cor, na textura, e no sabor, e têm como consequência reduções no valor comercial do produto. As altas concentrações de CO_2 alteram os processos respiratórios, pois inibem várias enzimas atuantes no ciclo de Krebs e outras responsáveis pela oxidação; daí a redução nas desordens fisiológicas e deteriorações bioquímicas (WILEY, 1994).

Se a redução nos níveis de O_2 e/ou acréscimo nos de CO_2 ocorrem de maneira que suas concentrações fiquem abaixo ou acima dos limites tolerados para cada espécie de vegetal, é provável que ocorram reações contrárias às desejadas, devido ao metabolismo anaeróbico do vegetal, intoxicando os tecidos. Essa condição também pode incentivar o crescimento de microrganismos anaeróbicos no produto, como o *Clostrydium botulinum,* que tornam o produto tóxico (WILEY, 1994). Segundo Varoquaux et al. (1996), o risco de botulismo em frutas frescas é improvável, se as condições de distribuição foram respeitadas.

Watada et al. (1996) colocam que é muito importante reconhecer qual o nível mínimo de O_2 que não diminuirá a qualidade ou, ainda, determinar quais os níveis deste gás que tornarão a respiração anaeróbica dominante, relacionando-os com filmes plásticos ou coberturas comestíveis e combinando-os com diferentes temperaturas de armazenamento. A combinação de temperaturas e atmosferas adequadas levam a taxas de respiração reduzidas proporcionando a manutenção da qualidade.

O tipo de filme plástico utilizado na embalagem tem um papel fundamental na modificação da atmosfera, devido à sua permeabilidade e aos seus coeficientes de difusão aos gases (WILEY, 1994). Os filmes de PVC (cloreto de polivinila), PP (polipropileno) e PE (polietileno), são os mais utilizados na embalagem de produtos minimamente processados (CANTWELL, 1992).

O polietileno de baixa densidade (PEBD) é o filme plástico mais usado no Brasil e caracteriza-se pela boa resistência, baixo custo, disponibilidade, transparência, facilidade de termossoldagem, além de ser excelente barreira ao vapor de água, e não ser uma boa barreira ao oxigênio. O PVC é dez vezes menos eficiente que o PEBD como barreira a umidade, mas é seis vezes mais eficiente que o PEBD como barreira ao oxigênio (GAVA, 1984).

2.6 Desafios

A popularização das frutas minimamente processadas ainda tem como desafio: a necessidade de se educar o consumidor para o aproveitamento desta opção; o aumento de sua vida útil, que atualmente exige preparo diário ou semanal para quinzenal e mesmo mensal; a adequação logística das estruturas, permitindo processamento regional; a otimização da cadeia de frio, tanto no sistema produtivo, como no de distribuição e consumo; a fixação de marcas quanto a diferenças individuais, conexão emocional e conhecimento; e investimentos em marketing, pesquisa de novos produtos, opções tecnológicas e adequação de serviços.

3. Processamento mínimo de abacaxi (SOUZA; DURIGAN, 2007)

3.1 Introdução

No Brasil, mais de 90% do abacaxi produzido é consumido *in natura,* com perdas ao redor de 10-15% do produto colhido. Essa perda e a falta de incentivo para sua produção podem ser, em parte, atribuídas à falta de conveniência dessa fruta, que exige descasque trabalhoso e com escorrimento de líquido, contenção em vasilhame adequado e equipamento próprio para consumo.

Seu consumo poderia ser ampliado, se seu grau de conveniência para os consumidores fosse aumentado, ou seja, se ele pudesse ser comercializado já descascado e/ou na forma de rodelas, em embalagens que permitissem o consumo direto e facilitassem sua utilização em serviços de bufete, restaurantes ou lojas de *fast food.*

O processamento dessa fruta leva a alterações químicas, físicas e organolépticas, fazendo com que se tenha perda de vitaminas, cujo indicador é a C, havendo também escurecimento provocado por reações enzimáticas e não enzimáticas, além de alterações organolépticas. Por esse motivo, a escolha dos equipamentos e dos métodos para processamento é fundamental para a manutenção de suas características

de qualidade.

O escurecimento na polpa de abacaxi 'Pérola' cortado em rodelas, quando armazenado a 9ºC, foi devida à ação das polifenoloxidases. O escurecimento deprecia o produto e impede sua comercialização. Abacaxis minimamente processados apresentaram aumento na taxa respiratória na primeira hora após o processamento.

A vida útil do PMP de abacaxi 'Pérola' dos armazenados a 9ºC foi de 6 dias, enquanto os armazenados a 3ºC ou 6ºC, esta vida útil foi de 9 dias.

O controle das condições higiênicas na produção de PMP é fato bastante importante e, em abacaxi 'Pérola', bastante eficiente, pois se detectaram contagens totais muito baixas (< 10^3 UFC/g) e ausência de coliformes durante o armazenamento (SARZI et al., 2002).

3.2 Fluxograma de processamento do abacaxi

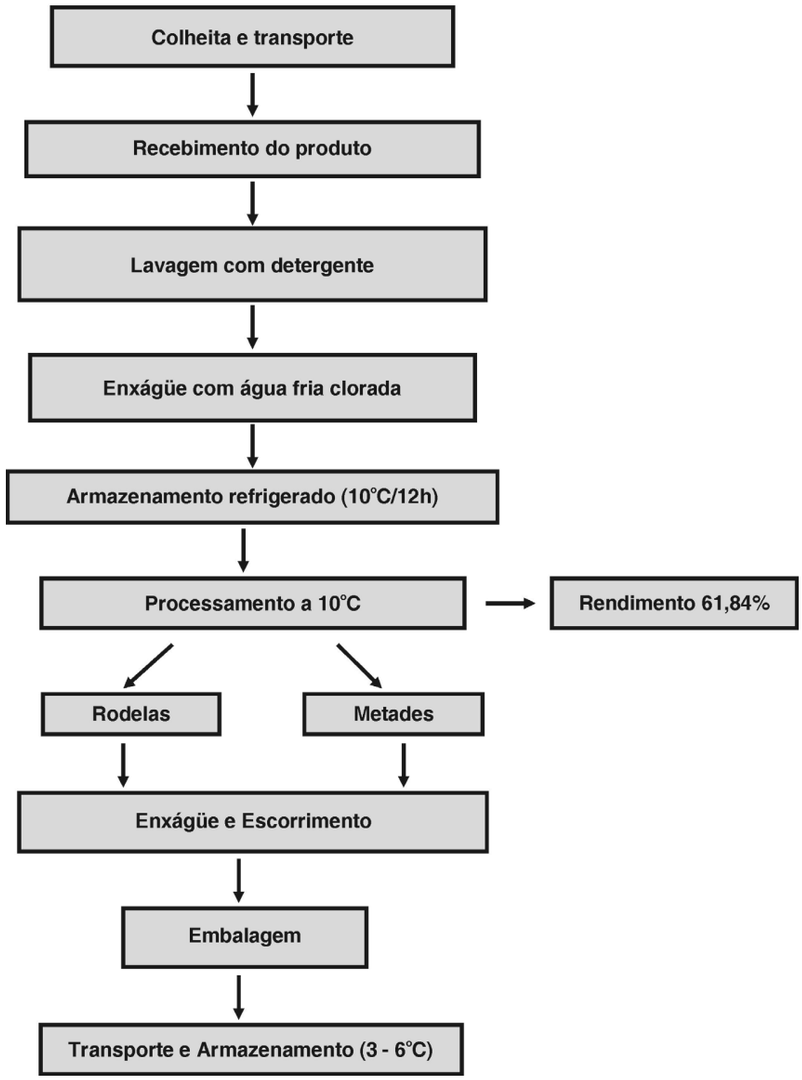


Figura 1: Fluxograma de processamento do abacaxi (SARZI, 2002).

3.3 Descrição das etapas do fluxograma (Figura 1)

Colheita e transporte - Os frutos de abacaxi 'Pérola' devem ser colhidos com qualidade e ponto de

maturação "pintado", de acordo com as Normas de Classificação da CEAGESP, pois, nesse ponto, apresentam as melhores características para o consumo e para o processamento. Os frutos devem ser transportados cuidadosamente para a planta de processamento, em no máximo 24 horas após a colheita.

Recebimento do produto - os frutos por ocasião do recebimento, devem ser novamente selecionados, para tornar o lote mais uniforme quanto ao grau de maturação e quanto à presença de danos mecânicos ou podridões. Em seguida, as coroas são cortadas, deixando-se um "talo" de aproximadamente 2 cm, para facilitar o manuseio, minimizar o estresse e evitar a entrada de patógenos.

Lavagem com detergente - Os frutos selecionados devem ser lavados com detergente neutro e biodegradável e água corrente, para a retirada da sujeira proveniente do campo.

Enxágue com água clorada - Após a lavagem, os frutos devem ser imersos, por 5 minutos, em água fria (5^{o}C) contendo 200 mg de cloro.L^{-1} para higienização e retirada de parte do calor de campo. Deve-se usar fonte de cloro permitida pela ANVISA.

Armazenamento refrigerado - Em seguida, os frutos deverão ser mantidos em câmara fria a 10^{o}C, previamente lavada e higienizada com solução de cloro a 200 mg.L^{-1}, pelo período de 12 horas, para abaixar sua temperatura e para reduzir o metabolismo.

Processamento - Deve ser feito a 10^{o}C, com os utensílios (facas, baldes, escorredores, etc...) previamente higienizados, com solução de cloro a 200 mg.L^{-1}. Os operadores devem estar protegidos com luvas, aventais, gorros e máscaras, procurando proteger ao máximo o produto de prováveis contaminações. Os frutos podem ser submetidos a vários tipos de preparo, com destaque para os descascados e cortados em rodelas de 1,5 cm de espessura (Figura 2) ou descascados e cortados em metades longitudinais (Figura 3).

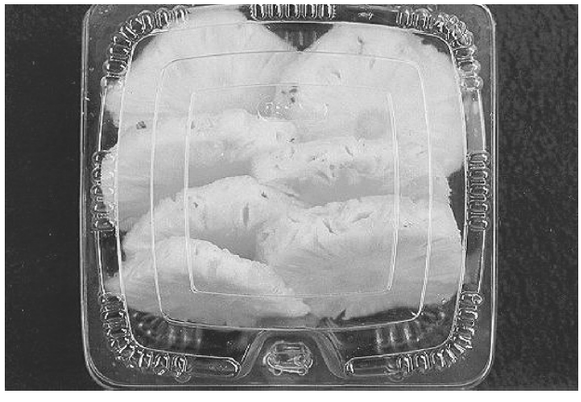


Figura 2: Aspecto geral do abacaxi preparado em rodelas (SARZI, 2002).

Figura 3: Aspecto geral do abacaxi preparado em

metades longitudinais (SARZI, 2002).

O abacaxi também permite outros tipos de preparo, como o corte em cubos, em rodelas sem o cilindro central, em metades longitudinais com a casca ou em metades transversais. O processamento mínimo pode também ser feito para o aproveitamento de partes de frutos que não estejam lesionados ou deformados. Vale lembrar que os frutos devem ser de qualidade e não aqueles que estejam "passados" ou sem condições de serem comercializados.

O processamento dessa fruta pode levar a alterações químicas, físicas e organolépticas, fazendo com que se tenha perda de vitaminas, cujo indicador é a C, havendo também escurecimento provocado por reações enzimáticas e não enzimáticas, além de alterações organolépticas. Por esse motivo, a escolha dos equipamentos e dos métodos para processamento é fundamental para a manutenção de suas características de qualidade.

A imersão dos pedaços em solução de antioxidantes como o ácido ascórbico, pode retardar ou impedir a sua deterioração por oxidação.

Toda a descrição das etapas corresponde ao processamento manual, mas este pode ser feito com alguns equipamentos que se encontram no mercado, o que o tornará mais eficiente.

Como sugestão de equipamentos, tem-se:

- Descascador cilíndrico de abacaxi, de aço inóx ou plástico, que retira a casca e o miolo do fruto, simultaneamente.
- Mult abacaxi, que retira o miolo do fruto manualmente.
- Descascador de abacaxi manual ou pneumático, para descascar e retirar o talo dos frutos, com produção média de até 4000 a 5000 frutos/dia.
- Fatiador tipo facas, com produção média de até 5000 frutos/dia.
- Raspadeira das cascas de abacaxi, para retirar o suco da casca com produção de até 4000 a 5000 frutos/dia.

Enxágue e escorrimento - Para eliminar o suco celular extravasado que poderá facilitar a ocorrência de reações bioquímicas indesejáveis, como escurecimento, dado o contato enzima e substrato, assim como crescimento microbiano, os pedaços devem ser enxaguados com água clorada (20 mg cloro.L^{-1}) e, em seguida, escorridos por 2-3 minutos, para se eliminar o excesso de umidade.

Embalagem - Podem ser utilizadas diferentes embalagens plásticas como as de polietileno tereftalatado (PET) e as bandejas de isopor recobertas com filme de cloreto de polivinila (PVC) esticável, com espessura de 0,017 mm. Outras embalagens também podem ser utilizadas, como as bandejas plásticas, ou copos plásticos.

Armazenamento - Os produtos devem ser armazenados em condições refrigeradas, com temperatura entre 3ºC e 6ºC, a quanto deve ser mantida durante o transporte, o armazenamento e a comercialização.

O armazenamento em temperaturas mais altas prejudica o produto, pois ele terá seu metabolismo acelerado, o que interferirá na sua vida útil. Abacaxis minimamente processados 'Pérola' armazenados a 9ºC tiveram vida útil de 6 dias enquanto que os armazenados a 3ºC ou 6ºC, apresentaram 9 dias de vida de prateleira (SARZI; DURIGAN, 2002).

Essa redução na vida útil do produto está relacionada ao escurecimento observado na polpa e na formação de líquido na embalagem. -Tais problemas fazem com que o produto não esteja mais comercializável, pois sua aparência fica prejudicada.

Se em todo o processamento for respeitada a manutenção da baixa temperatura e ele for realizado com higiene, como foi descrito, ter-se-á um produto de qualidade e comercializável por 9 dias, com segurança e bom para o consumo.

4. Processamento mínimo de carambola (TEIXEIRA, 2007)

4.1 Introdução

Dentre as frutas tropicais utilizadas no processamento mínimo, a carambola é uma das que apresentam maior potencialidade, não só por seu aspecto decorativo, mas também por suas características fisiológicas.

Além de ser consumida como fruta fresca inteira, há também o grande atrativo para sua utilização no

mercado de minimamente processados, que se deve, principalmente, ao formato de estrela que os pedaços apresentam após o corte transversal, os quais podem ser utilizados *in natura* diretamente ou para compor saladas ou misturas com frutas e hortaliças, além das possibilidades como elemento de decoração.

A carambola apresenta, naturalmente, singular adequação ao processamento mínimo, pois não apresenta amolecimento acentuado quando cortada, e, por ser não climatérica, apresenta baixas taxas respiratórias, o que leva a uma maior vida útil. Entretanto, o escurecimento da superfície cortada é de grande importância quando se pretende utilizar o fruto na forma de pedaços refrigerados. Ele ocorre devido ao contato dos compostos fenólicos com a polifenoloxidase endógena e difusão do O_2 atmosférico para o interior do tecido. Isso leva à necessidade de se escolher as cultivares adequadas, cujos frutos apresentam pequeno escurecimento dos pedaços.

Tal reação também pode ser prevenida com a utilização de aditivos e atmosferas com baixa concentração de O_2, além da proteção dos tecidos pela combinação de barreiras preservativas.

4.2 Processamento mínimo

Colheita, transporte e recepção - Dada a possibilidade de escurecimento das partes lesionadas, devem-se tomar todos os cuidados para evitar que isso aconteça. A colheita deve ser realizada com todo cuidado e do mesmo modo, o transporte deve ser feito o mais rápido possível e em caixas adequadas, procurando evitar qualquer dano aos frutos. A recepção deve ser adequada, evitando-se batidas e choques, assim como longos tempos de espera.

Deve-se atentar também para o estádio de maturação, uma vez que os frutos maduros são pouco resistentes ao processamento, e os "verdes" são muito azedos e escurecem rapidamente e não amadurecem. Tem-se recomendado a utilização de frutos no estádio de maturação verde-maduro ou "de vez", que se caracteriza pelo pleno desenvolvimento e coloração amarelada.

Outro cuidado que se deve ter é na escolha das cultivares, uma vez que existem diferenças na suscetibilidade ao escurecimento entre elas. As cultivares Fwang Tung, Kary e Hart são exemplos das que apresentam menor escurecimento quando processadas.

Seleção, padronização e lavagem - Após a recepção, os frutos devem ser selecionados, retirando-se os danificados e fora do padrão, ou seja, frutos pequenos ou grandes demais e/ou em estádio de maturação inadequado, "verdes" ou muito maduros. Em seguida, deve-se realizar uma lavagem em água corrente e detergente neutro para retirar qualquer material estranho (terra, etc.) ou fonte de contaminação (manchas apodrecidas ou machucadas) que possam estar presentes na epiderme dos frutos. Imediatamente, eles devem ser imersos em água clorada, ou seja, contendo hipoclorito de sódio a uma concentração de 200 mg $.L^{-1}$ (100 mL de hipoclorito de sódio, a 2%, em 10 L de água), por 5 minutos, antes de serem mantidos em câmara fria, a 10^0C, por uma noite. Esta etapa é muito importante para minimizar o efeito do corte sobre o metabolismo do produto, pois em temperaturas mais elevadas os efeitos do aumento na respiração devido ao corte serão ainda mais intensos e prejudiciais (Figura 4).

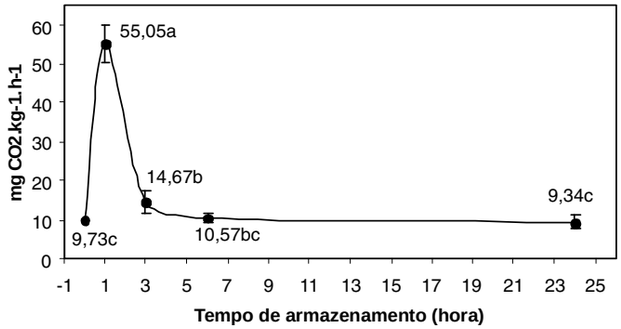


Figura 4: Atividade respiratória dos frutos e pedaços de carambola cv. Fwang Tung antes (0 hora) e após o processamento, durante o armazenamento a 6ºC por 24

horas (TEIXEIRA, 2005).

Processamento - O corte deve ser realizado em ambiente refrigerado a 10^0C, sob condições higiênicas, com todos os balcões, utensílios e contentores plásticos lavados cuidadosamente e desinfetados com hipoclorito de sódio a 200 mg.L^{-1}, estando os operadores devidamente protegidos com luvas, gorros, máscaras e aventais. Os frutos podem ser cortados manual ou mecanicamente e o rendimento médio pode chegar a 76% ou 9 pedaços por fruto. A carambola pode ser processada utilizando-se cortadores destinados ao processamento de tomate. Estes podem ser manuais, que têm opção de corte de 3/16", 1/4" e 3/8", e, para grandes produções, existem cortadores automáticos que podem cortar entre 5 e 40 kg de produto por minuto. Eles apresentam grande rendimento, todavia exigem cuidados quanto ao seu custo e à agregação de preço aos produtos.

Após o corte, os pedaços devem ser enxaguados com água clorada a 200 mg .L^{-1}, a 10^0C. Deve-se utilizar fonte de cloro permitida pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Para evitar e/ou reduzir o escurecimento da superfície cortada, vários produtos podem ser utilizados para imersão dos pedaços, como o ácido cítrico a 1,5% ou 2,5%, o ácido eritórbico a 2%, e o ácido ascórbico a 2%, além da combinação entre os ácidos cítrico e ascórbico, o que é bastante eficiente. Os produtos, depois dos devidos tratamentos, devem ser deixados a escorrer para eliminação do excesso de líquido, por 2 – 3 minutos.

Embalagem - Existe uma infinidade de embalagens disponíveis no mercado. As mais comuns são as de polietileno de baixa densidade, de tereftalato de polietileno (PET), e as bandejas de poliestireno cobertas com filme de cloreto de polivinila (PVC). Dentre as testadas para carambola, os sacos poliolefínicos selados a vácuo têm apresentado os melhores resultados em relação ao escurecimento e à perda de umidade, além da possibilidade de composição com diferentes tipos de bandejas (Figura 5).

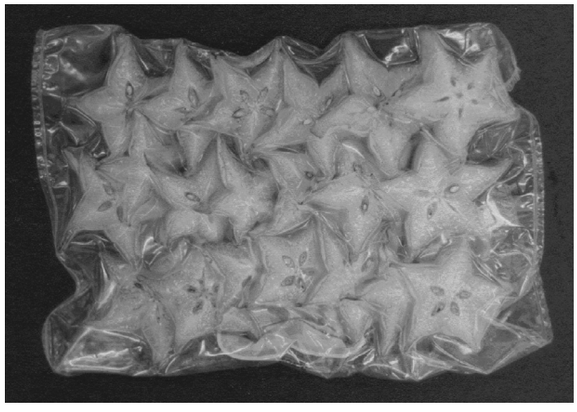


Figura 5: Pedaços de carambola cv. Fwang Tung embaladas em sacos plásticos poliolefínicos selados a vácuo (TEIXEIRA, 2005).

Armazenamento e transporte - Depois de embalados, os produtos de carambola devem ser armazenados e transportados rapidamente sob refrigeração (3 - 6ºC), com os cuidados necessários para se evitar a quebra da cadeia de frio, principalmente quando se utiliza embalagem plásticas seladas a vácuo, pois a elevação da temperatura do produto pode promover modificações severas na atmosfera interna da

embalagem. Recomenda-se a utilização de expositores refrigerados no varejo.

4.3 Fluxograma do processamento

Abaixo fluxograma de processamento da carambola em detalhe (Figura 6).

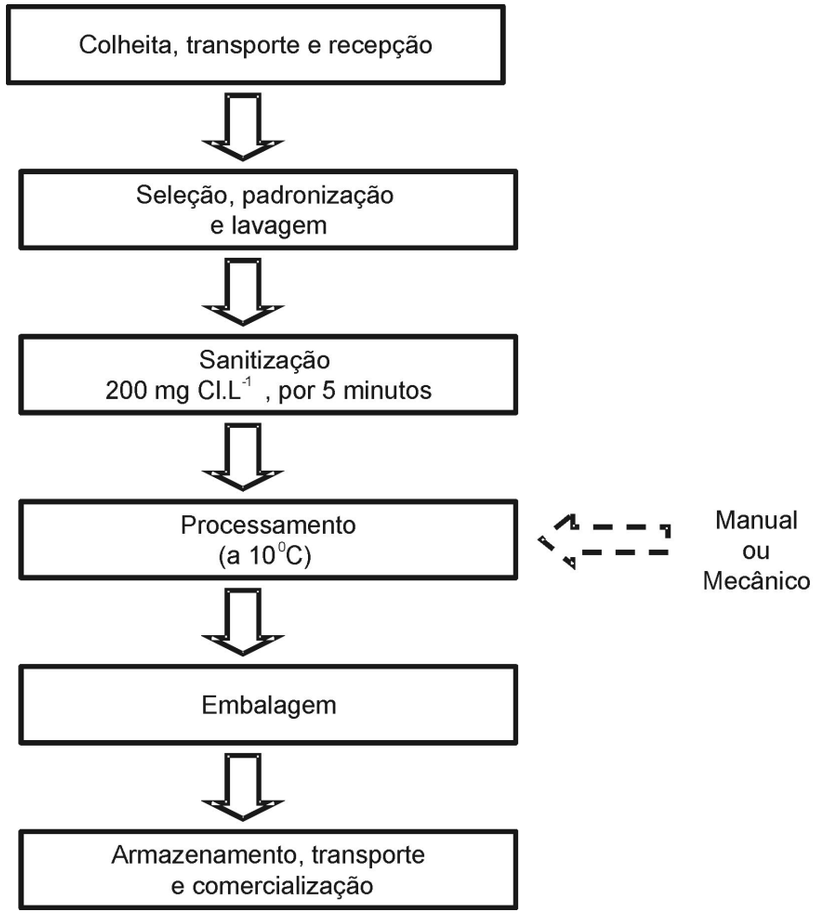


Figura 6. Fluxograma do processamento da carambola (TEIXEIRA, 2007).

5. Processamento mínimo de goiaba (MATTIUZ; DURIGAN, 2007)

Dentre as frutas tropicais, a goiaba é uma das mais apreciadas, pelas suas características de sabor e aroma, e pelo seu elevado valor nutritivo (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A produção dessa fruta destina-se a duas finalidades principais: o consumo ao natural e a industrialização. As cultivares de polpa vermelha predominam no cultivo comercial, já que sua produção pode ser destinada a todos os mercados, além de serem mais valorizadas no mercado interno de frutas frescas. A possibilidade de venda dessa fruta minimamente processada em supermercados brasileiros e estruturas afins é muito grande, dada a existência e a possibilidade de virem integrar as cadeias de distribuição de frutas.

A goiaba pronta para o consumo poderá também atender cadeias de “fast-food”, lanchonetes, restaurantes, nos quais o espaço para a preparação das suas especialidades é cada vez menor e a procura por produtos naturais, saudáveis e com características nutricionais superiores é cada vez maior.

5.1 Etapas do processamento

Ponto de colheita - Não se devem utilizar frutos considerados “verdes”, pois a textura da polpa com

firmeza elevada dificulta o descasque e o escurecimento enzimático intenso, com a exposição dos tecidos ao ar. Os frutos “maduros” apresentam a desvantagem de possuir textura muito branda, cedendo facilmente à pressão do descasque, fornecendo um produto mole e com tendência de perda da integridade, além da baixa resistência ao armazenamento. Portanto, o estádio de maturação “de vez” é o mais adequado para goiabas cuja finalidade é o processamento mínimo. Os dois problemas relativos à rigidez da textura, que dificulta o descasque, e a coloração não adequada do pericarpo, que exige um descasque bastante aprofundado, são resolvidos com o armazenamento dos frutos à temperatura ambiente (22 ± 1°C) por dois dias. Essa prática permitiu que a coloração da polpa evoluísse para próximo da ideal, com textura menos firme, devido à perda de turgidez superficial, facilitando o descasque.

A seguir descrição do fluxograma do processamento mínimo de goiabas (Figura 7).

Fluxograma para o processamento mínimo de goiabas

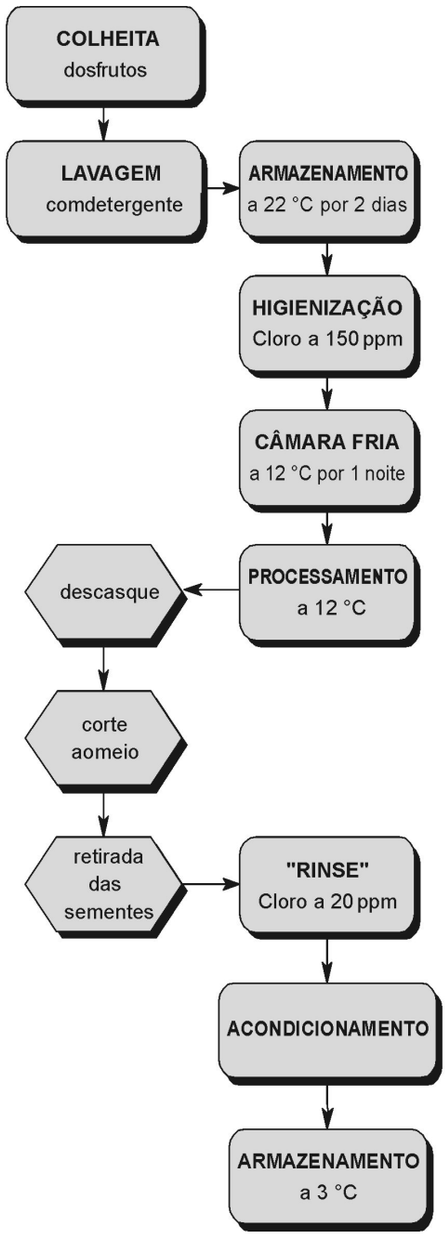


Figura 7: Fluxograma do processamento mínimo de goiaba (MATTIUZ; DURIGAN, 2007).

Colheita - Recomenda-se o emprego de caixas plásticas, devido à facilidade de limpeza e higienização, que deverão estar revestidas com plástico-bolha, o que minimiza a ocorrência de injúrias mecânicas. Para uma colheita adequada, recomenda-se que os colhedores tenham as unhas aparadas ou utilizem luvas, evitando assim possíveis lesões à superfície dos frutos. Recomenda-se efetuar a colheita nas primeiras horas da manhã.

Resfriamento rápido - Tem por finalidade a remoção do calor de campo dos frutos, reduzindo a sua temperatura, com a imersão em tanques com água fria.

Seleção - Após o resfriamento, os frutos podem ser conduzidos por uma esteira de rolos, onde é realizada uma seleção criteriosa dos que serão processados, devendo-se eliminar todos os mal formados, defeituosos, estragados, assim como as possíveis sujidades.

Armazenamento - Esse armazenamento deverá ser realizado a 22°C, por dois dias. Essa prática faz com que os frutos adquiram a coloração e a textura ideais para o processamento.

Lavagem - Após o período de armazenamento préestabelecido, os frutos deverão ser lavados com água contendo detergente tensoativo e biodegradável. Esa lavagem deverá contar com o auxílio de esponja macia, natural ou sintética, para uma maior eficiência na remoção dos microrganismos e sujidades. Em seguida, procede-se ao enxágue dos frutos com água corrente para a eliminação de possíveis resíduos remanescentes do produto.

Higienização ou sanitização - Nessa etapa são utilizadas soluções com produtos à base de cloro e permitidos pela ANVISA. Para a sanitização, procede-se à imersão dos frutos em água resfriada, contendo 150 mg de cloro.L^{-1}, por cinco minutos. O monitoramento do pH da solução é de grande importância para a boa atividade germicida do cloro. Este possui maior efeito sanificante quando o pH da solução estiver entre 6,0 e 7,5. Imediatamente após, levam-se os frutos para local reservado, onde deverão permanecer por uma noite a 12 °C.

Processamento - O processamento deverá ser realizado por pessoas treinadas, utilizando proteção adequada, tais como luvas, avental descartável, avental emborrachado, touca e máscara descartáveis, além de botas de borracha. Deve-se dar preferência a local com temperatura refrigerada, cujo ótimo é em torno de 12 °C.

É imperativo que toda a área destinada ao processamento, assim como os equipamentos e utensílios utilizados nas operações estejam previamente desinfetados com soluções de hipoclorito de sódio ou de amônia quaternária.

O processamento das goiabas compreende algumas etapas. A primeira é o descasque, que poderá ser manual ou mecânico. No processo manual, podem-se utilizar descascadores para legumes, devidamente afiados e desinfetados. Este sistema, além de proporcionar baixa produtividade, é considerado trabalhoso e torna inviável seu emprego em escalas maiores.

Para o processamento mecânico, podem-se utilizar descascadores de laranja adaptados para o descasque das goiabas (Figura 8). Esse método, além de proporcionar um maior rendimento operacional, permitiu reduzir as injúrias devidas à compressão do fruto contra a palma da mão do operário, no descasque manual. Além disso, o aspecto visual do produto final foi melhorado, pois a retirada da casca foi mais uniforme (MATTIUZ, 2002).

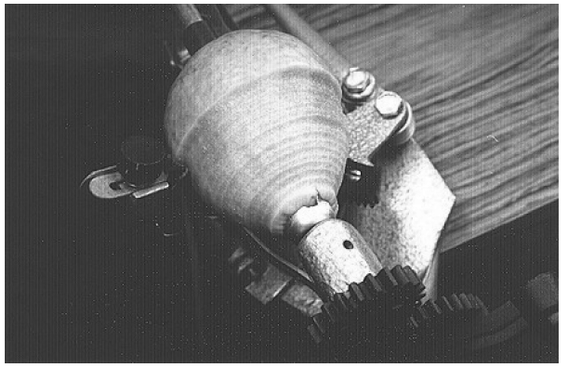


Figura 8: Descascador de laranjas adaptado para

goiabas (MATTIUZ, 2002).

Na etapa seguinte, os frutos são cortados ao meio, longitudinalmente, e as extremidades retiradas com faca muito afiada. A remoção das sementes é feita mediante o emprego de uma colher com bordas afiadas, deixando-se somente o pericarpo externo. Logo após, as metades são enxaguadas com água clorada (20 ppm) e o excesso de água escorrido, em peneiras plásticas, por 2 minutos.

Há, ainda, a possibilidade de produção de goiabas minimamente processadas com a casca, conferindo um efeito visual diferenciado ao produto.

Após este tempo, procede-se ao acondicionamento das metades. Atualmente, o mercado dispõe de uma gama muito grande de embalagens que poderão ser utilizadas para esse fim. Bons resultados são obtidos com o uso de contentores de tereftalato de polietileno (PET) transparente, com tampa e capacidade para 750 mL (Neoform® N-94) (Figura 9). Esse tipo de embalagem se mostrou adequada, pois, além de permitir o empilhamento, possui grande praticidade no manuseio, não provoca injúrias aos produtos e permite uma visão total do produto processado.

Figura 9: Goiabas 'Pedro Sato' minimamente processadas e acondicionadas em embalagem de PET (MATTIUZ, 2002).

Armazenamento - O emprego de embalagens do tipo PET, conjugado ao armazenamento a 3 °C e aos cuidados na desinfecção, mostrou-se eficiente na conservação e manutenção de produtos minimamente processados de goiabas.

6. Processamento mínimo de manga (DONADON et al., 2007)

Mangas maduras são pouco convenientes e requerem preparos especiais para o consumo, como a retirada da casca, separação da semente e fatiamento da polpa. Uma das maneiras de se aumentar as possibilidades de comercialização desta fruta é aumentar-lhe a conveniência durante o período de permanência no mercado, sem alteração na qualidade, através do processamento mínimo.

Além da possibilidade de se produzir o PMP de manga, em conservação razoável, não se deve esquecer que esse produto permitiria agregar valor no mercado desta fruta fresca, ou seja, o processamento de cerca de 5% da produção implicaria na necessidade de se ter estrutura para se preparar e distribuir cerca de 50-85 mil toneladas minimamente processadas.

O processamento mínimo de mangas envolve uma série de etapas que são descrita a seguir (Figura 10).

Figura 10: Fluxograma de processamento mínimo da manga (DONADON et al., 2007).

6.1 Descrição das etapas do fluxograma (Figura 10)

Colheita, transporte e recepção - Mangas devem ser colhidas no ponto de maturação de "vez", apresentando ombros cheios, casca lisa e com brilho e ter cor verde amarelada. Os frutos devem ser uniformes quanto ao ponto de maturação, sem defeitos aparentes e com aroma característico e polpa firme. Imediatamente depois de colhidas, as mangas devem ser cuidadosamente transportadas ao local do processamento.

A observação do ponto de maturação adequado deve ser bastante cuidadosa, pois frutas imaturas não possuem boa qualidade sensorial e as muito maduras possuem uma vida útil bastante curta, pois se deterioram rapidamente. Por esse motivo, mangas "estufadas", ou seja, as que passam por um processo de aceleração na maturação, em que se utiliza o efeito de diferentes temperaturas, não são adequadas para o processamento

mínimo. Além de não apresentarem qualidade organoléptica adequada, têm vida útil reduzida.

A colheita, o transporte e a recepção dos frutos devem ser cuidadosos, procurando sempre minimizar as injúrias e as contaminações, que têm influência decisiva na vida útil dos produtos.

Lavagem com detergente - Imediatamente após a recepção, os frutos devem ser imersos em tanque com água e detergente neutro ($20mL.10^{-1}$), durante 2-3 minutos, antes de serem limpos com esponja e abundantemente enxaguados com água limpa.

Enxágüe com água clorada - Depois de lavados, os frutos devem ser imersos em solução com hipoclorito de sódio a 200 mg. L^{-1}, por 5 minutos, para reduzir a carga microbiana. Em seguida, são deixados a escorrer, por 3 minutos, sob condições de ambiente.

Resfriamento - As mangas devem ser resfriadas, antes do processamento, visando minimizar os efeitos das injúrias do processamento, mantendo-as, por uma noite, em câmara fria a 10ºC, previamente lavada e higienizada com solução de hipoclorito de sódio a 200 mg. L^{-1} (100 mL de hipoclorito de sódio a 2%).

Processamento - Mangas exigem processamento manual, que deve ser feito a 10ºC, com os utensílios (facas, baldes, escorredores, etc...) previamente higienizados, com solução de cloro a 200 $mg.L^{-1}$. Os operadores devem estar protegidos com luvas, aventais, gorros e máscaras, procurando resguardar ao máximo o produto de prováveis contaminações. Os frutos podem ser submetidos a vários tipos de preparo, com destaque para os descascados e cortados em cubos com 25-30mm de aresta, ou fatias com 5-10 mm de espessura ou descascados e cortados em metades longitudinais (Figura 11).

O processamento desta fruta pode levar a alterações químicas, físicas e organolépticas, inclusive com perda de vitaminas, mudança no sabor e coloração, e escurecimento, provocadas por reações enzimáticas e não enzimáticas. Por esse motivo, a escolha dos equipamentos e dos métodos para processamento é fundamental para a manutenção de suas características de qualidade.

Sanitização com água clorada - Os pedaços, antes de serem embalados, devem ser enxaguados com solução contendo cloro livre a 5 $mL.L^{-1}$, para eliminar o suco celular extravasado e desinfetá-los. O produto tratado deve ser escorrido por 2-3 minutos; deve- se usar fonte de cloro permitido pela ANVISA.

Embalagem - O material minimamente processado pode ser embalado em copos plásticos (250mL) de polietileno de baixa densidade (PEBD) com tampa; sacos plásticos de PEBD tipo "ziploc", com filmes de 0,030 mm e capacidade para 500 g; bandejas de polietileno teraflatado (PET) com tampa; ou bandejas de isopor recobertas com filme de PVC (Figura 11).

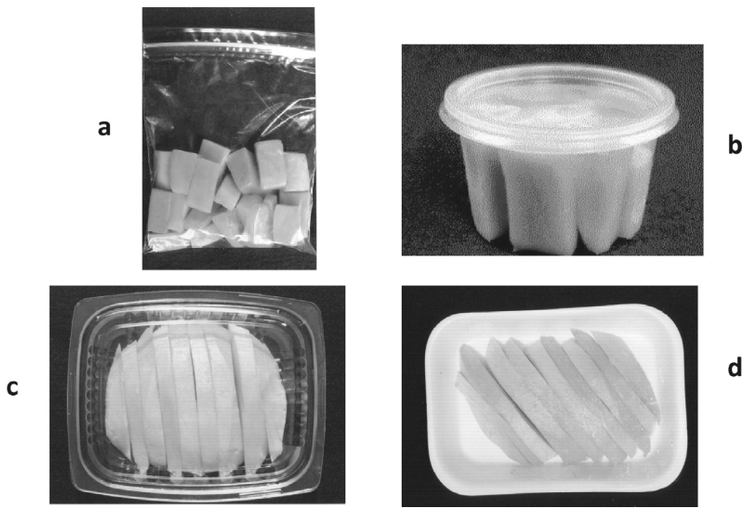


Figura 11: Aspecto geral de produto minimamente processado de mangas 'Parvin', acondicionado em saco plástico (a), copo plástico (b); e de mangas 'Palmer', acondicionado em bandeja PET (c) e em bandeja de isopor recoberta com filme de PVC (d) (SOUZA, 2005).

Armazenamento, Transporte e Comercialização - Os produtos devem ser armazenados, transportados e comercializados em ambiente refrigerado por até 7 - 9 dias. Sugere-se 3-5ºC, com cuidados para que não haja problemas com quebra da cadeia de frio, principalmente durante o varejo, em que se deve utilizar expositores refrigerados.

Frutos das variedades 'Tommy Atkins', 'Parvin' e 'Keitt' têm possibilitado bons resultados quando minimamente processadas, pois apresentam rendimento de 23-55% em PMP e de 25-47% de resíduo de polpa. Necessita-se de mais estudos em relação a outras variedades que possam ser potencialmente utilizadas no processamento mínimo.

Tem-se observado que, se todo o processamento respeitar a necessidade e se houver manutenção da refrigeração e da necessária condição de higiene, ter-se-á um produto de qualidade e que poderá ser comercializável por 11 dias, período adequado e seguro para o consumo.

Referências

AGUAYO, E.; ESCALONA, V. H.; ARTÉS, F. Metabolic behaviour and quality changes of whole and frsh processed melon. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 64, n. 4, p. 148-155, 2004.

AGUAYO, E.; ESCALONA, V.H.; ARTÉS, F. Effect of the cyclic exposure to ozone gas on phytochemical, sensorial, and microbial quality in whole and sliced tomatões. **Postharvest Biology and Technology,** v.34, n.2, p.169-177, 2006.

ALMEIDA, M. E. M. Processamento mínimo de frutas. In: SEMINÁRIO SOBRE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS MINIMAMENTE PROCESSADOS, 1998, Campinas. **Palestra...** Campinas: FRUTHOTEC-ITAL, 1998, 13 p.

ALLENDE, A.; JACCXSENS, L.; DEVLIEGHERE, F.; DEBEVERE, J.; ARTÉS, F. Effect of superatmospheric oxygen packaging on sensorial quality, spoilage, and *Listeria monocytogenes* and *Aeromonas caviae* growth in fresh processed mixed salads. **Journal of Food Protection,** Des Moines, v. 65, p. 1565-1573, 2002.

ALLENDE, A.; LUO, Y.; McEVOY, J. L.; ARTÉS, F.; WANG, C. Y. Micobial ad quality changes in fresh processed baby spinach stored under superatmospheric O2 and/or CO2 atmospheres. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 33, p. 51-59, 2004.

AMANATIDOU, A.; SMID, E. J.; GORRIS, L. G. M. Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated micro-organisms. **Journal of Applied Microbiology,** Oxford, v. 86, p. 429-438, 1999.

ARTÉS, F. Refrigeration for preserving the quality and enhancing the safety of plant foods. **Bulletin of the International Institute of Refrigeration,** Surrey, v.84, n. 1, p.5-25, 2004.

ARTÉS-HERNANDEZ, F.; RIVERA-CABRERA, F.; KADER, A. A. Quality retention and potential shelf life of fresh-cut lemons as affected by cut type and temperature. **Postharvest Biology & Technology,** Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 245-254, 2007.

BEHRSING, J. F. Effect of temperature and size reduction on respiratory activity and shelf life of vegetables. **Acta Horticulturae,** Leuven, v. 464, p.500-506, 1998.

BOLIN, H.; STTAFORD, A.; KING, A.; HUXSOLL, C. Factors affecting the storage stability of sheredded lettuce. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 42, p. 1319-1321, 1997.

BRACKETT, R. E. Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed fruits and vegetables. In: WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables.** New York: Chapman and Hall, 1994. v. 7. p. 269-312.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems: minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops.** Oakland: University of Califórnia, 1992. p. 277-281.

CANTWELL, M.; SUSLOW, T. V. Fresh-cut fruits and vegetables.In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops.** Davis, CA: University of Califórnia, 2002. p. 445-463. Publication 3311.

CHITARRA, M. I. Alterações bioquímicas do tecido vegetal com o processamento mínimo. In: SEMINÁRIO SOBRE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS MINIMAMENTE PROCESSADOS, 1998, Campinas. **Palestra...** Campinas: FRUTHOTEC-ITAL, 1998. 21 p.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças:** fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

DONADON, J. R.; SOUZA, B. S.; DURIGAN, J. F. Processamento mínimo de manga. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2007. p. 275-282.

GARROTT, W. N.; MERCKER, A. E. The commercial potato peeling industry. In: ANNUAL POTATO CONFERENCE, 6., 1954, Ithaca. **Proceedings...** Ithaca: Dept. of Agriculture and Cornell University, 1954. 22 p.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos.** São Paulo: Nobel, 1984. 284 p.

GILLESPIE, J. Lessons from the E. coli outbreak: understanding the complexity of foodborne disease. **California Agriculture,** Davis, n. 2, p. 1-2, 2007. Disponível em: http://californiaagriculture.ucop.edu>. Acesso em: 09 abr. 2007.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VILLEGAS-OCHOA, M. A; MARTÍNEZ-TÉLLEZ, GARDEA, A. A.; AYALA-ZAVALA, F. Improving antioxidant capacity of fres-cut mangoes treated with UV-C. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 72, n. 3, p. S197-S202, 2007.

GORNY, J. R. HACCP for the fresh-cut produce industry. In: GORNY, J. R. (Ed.). **Food safety guideliness for the fresh-cut industry.** Alexandria, VA: IFPA, 2001. p. 1-13.

GUERZONI, M. E.; GIANOTTI, A.; CORBO, M. R.; SINIGAGLIA, M. Shelf life modeling for fresh cut vegetables. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 9, p. 195-207, 1996.

HERSON, A. C.; HULLAND, E. D. **Conservas alimentícias:** procesado termico y microbiologia. Zaragoza: Acríbia, 1980. 451 p.

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

KIM, J. G.; YOUSEF, A. E.; DEVE, S. Application of ozone for enhancing microbiological safety and quality of food: a review. **Journal of Food Protection,** Des Moines, v. 69, p. 1071-1087, 1999.

LANCIOTTI, R.; GIANOTTI, A.; PATRIGNANI, F.; BELLETTI, N.; GUERZONI, M.; GARDINI, F. Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally procesed fruits. **Trends in Food Science and Technology,** Cambridge, v. 15, p. 201-208, 2004.

MANZANO, M.; CITTERIO, B.; MAIFRENI, M.; PAGANESSI, M.; COMI, G. Microbial and sensory quality of vegetables for soup packaged in different atmospheres. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** London, v. 67, p. 521-529, 1995.

MATTIUZ, B. H. **Injúrias mecânicas e processamento mínimo de goiabas:** fisiologia e qualidade pós-colheita. 2002. 120 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) -UNESP-FCAV, Jaboticabal, 2002.

MATTIUZ, B. H.; DURIGAN, J. F. Processamento mínimo de goiaba. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2007. p. 217-228.

NUNES, M.; BRECHT, J.; MORAIS, A.; SARGENT, S. Controlling temperature and water loss to mantain ascorbic acid levels in strawberries during postharvest handling. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 63, p. 1033-1036, 1998.

REYES, L.; VILLARREAL, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. **Food Chemistry,** London, v. 101, n. 3, p. 1254-1262, 2007.

SAPERS, G. M.; SIMMMONS, G. F. Hydrogen peroxide disinfection of minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology,** Chicago, v. 52, n. 2, p. 48-52, 1998.

SARZI, B. **Conservação de abacaxi e mamão minimamente processados:** associação entre o preparo, a embalagem e a temperatura de armazenamento. 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- UNESP, FCAV, Jaboticabal, 2002.

SARZI, B.; DURIGAN, J. F. Avaliação física e química de produtos minimamente processados de abacaxi 'Pérola'. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Cruz das Almas, v. 24, n. 2, p. 333-337, 2002.

SARZI, B,; DURIGAN, J.F.; ROSSI JUNIOR, O.D. Temperatura e tipo de preparo na conservação de produto minimamente processado de abacaxi 'Pérola'. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal, v.24, n.2, p.333-337, 2002.

SOUZA, B. S. Processamento mínimo de manga: ponto de colheita, embalagem, 1-MCP, aditivos, e atmosfera controlada. 2005. 154f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - UNESP-FCAV, Jaboticabal, 2005.

SOUZA, B. S.; DURIGAN, J. F. Processamento mínimo de abacaxi. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2007. p.197-204.

SMITH, S.; RAMASWAMY, H. S.; SIMPSON, B. K. Development in food packaging technology. Part II: storage aspects. **Trends in Food Science and Technology,** Cambridge, v. 1, n. 5, p. 111-118, 1990.

STOAN, A. E. Top 10 food trends. **Food Technology,** Chicago, v. 61, n. 4, p. 23-29, 2007.

TEIXEIRA, G. H. A. Processamento mínimo de carambola. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2007. p. 207-213.

TEIXEIRA, G. H. A.; DURIGAN, J. F.; MATTIUZ, B. H. Processamento mínimo do mamão 'Formosa'. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 21, n. 1, p. 47-50, 2001.

VAROQUAUX, P.; MAZOLLIER, J.; ALBAGNAC, G. The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh cut butterhead lettuce. **Postharvest Biology & Technology,** Amsterdam, v. 9, p. 127-139, 1996.

VAROQUAUX, P.; WILEY, R. C. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: WILEY, R. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables.** New York: Chapman & Hall, 1994. p. 226-258.

WATADA, A. E.; KO, N. P.; MINOTT, D. A. Factors affecting quality of fresh cut horticultural crops. **Postharvest Biology & Technology,** Amsterdam, v. 9, p. 115-125, 1996.

WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables.** New York: Chapman & Hall, 1994. 368 p.

WRIGHT, K.; KADER, A. Effect of controlled atmosphere storage on the quality and carotenoid content of sliced persimmons and peaches. **Postharvest Biology & Technology,** Amsterdam, v. 10, p. 89-97, 1997.

ZAGORY, D.; KADER, A. A. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Technology,** Chicago, v. 42, n. 9, p. 70-77, 1988.

Capítulo 15

Embalagens Utilizadas em Produtos Minimamente Processados

Lucimeire Pilon

1. Introdução

A embalagem tem como funções clássicas conter, proteger e vender o produto nela acondicionado, preservando ao máximo sua qualidade e criando condições que minimizem alterações químicas, bioquímicas e microbiológicas que causam sua degradação (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). As soluções inovadoras na tecnologia de embalagens, bem como as melhorias na cadeia do frio e na tecnologia de processamento, certamente são os fatores que tornam possível a revolução no volume de vendas de frutas e hortaliças minimamente processadas nos últimos tempos (GORNY, 1997; ZHUANG, 2011).

As frutas e hortaliças minimamente processadas são submetidas, frequentemente, a estresses mecânicos, tanto durante o processamento, quanto na distribuição, os quais causam injúrias levando a mais rápida perda de qualidade (BRECHT, 1995). A sua degradação implica nas perdas de umidade, alteração microbiana e fisiológica dos tecidos. Dessa forma, a escolha do material apropriado da embalagem é de extrema importância para assegurar maior vida útil desses produtos.

Os materiais para embalagem de vegetais minimamente processados devem ter alta permeabilidade a gases e etileno ou conter absorvedores de gás para controlar a respiração e produção de etileno. É necessário que o filme selecionado seja de três a seis vezes mais permeável ao CO_2 do que ao O_2 (SCHILIMME; ROONEY, 1994).

A composição gasosa é um dos parâmetros mais importantes relacionados à embalagem, podendo afetar o metabolismo pós-colheita e acelerar a deterioração após o processamento; uma vez que cada fruta e hortaliça necessita de uma específica composição gasosa para estender sua vida útil (ARGENTA et al., 2004).

No entanto, de acordo com Moretti (2007), no Brasil há um grande desconhecimento de possibilidades quando o assunto é embalagem, desde o seu fornecedor até o usuário final, não sendo raro abservar agroindústrias utilizando o mesmo tipo de filme de plástico para brócolis, inflorescência com alta atividade metabólica e, para a cenoura, raiz com atividade metabólica bem inferior.

2. Métodos para modificação da atmosfera nas embalagens

2.1 Embalagens com atmosfera modificada (MAP)

Dentre as mais comuns técnicas utilizadas para estender a vida útil e oferecer segurança aos produtos minimamente processados, estão a manipulação da temperatura e o uso de embalagem com atmosfera modificada (WILEY, 1994).

A embalagem com atmosfera modificada pode estender a vida útil do produto por minimizar as desordens fisiológicas, atividade metabólica e reduzir o crescimento microbiano. Fatores como tipo de filme, espessura, área, peso do vegetal minimamente processado na embalagem, umidade relativa e taxa de respiração influenciam a composição atmosférica em equilíbrio dentro da embalagem (GARCIA; BARRETT, 2005).

Durante o armazenamento sob atmosfera modificada, os níveis de O_2 geralmente são reduzidos e o de CO_2 aumentado (KADER et al., 1989). Dentre as respostas do vegetal para o baixo nível de O_2, incluem a redução da respiração e síntese de etileno, degradação da clorofila e parede celular, e redução da oxidação de compostos fenólicos. A indução da fermentação, acúmulo de acetaldeído, etanol e lactato, e reduzida biossíntese de compostos aromáticos também podem ocorrer nessas concentrações (BEAUDRY, 2000; KADER; SALTVEIT, 2003). Para prevenir as condições de anaerobiose na embalagem, algumas pesquisas sugerem a utilização de filmes microperfurados (HOBSON; BURTON, 1989; LEE et al., 1996). Os filmes microperfurados a laser apresentam alta permeabilidade a gases e capacidade de manutenção da umidade.

É importante determinar previamente a tolerância do produto ao baixo nível de O_2 e alto nível de CO_2, a atmosfera ideal para cada vegetal (geralmente são utilizados 3 a 8% de O_2 e 3 a 10% de CO_2) e sua taxa de respiração, lembrando que a concentração gasosa da embalagem depende da temperatura e duração do armazenamento (SALTVEIT, 2003; ARGENTA et al., 2004).

A modificação da atmosfera ao redor do produto pode ser conseguida por meio da criação de uma atmosfera modificada ativa na embalagem, ou ser gerada ao longo do tempo pela respiração do vegetal na embalagem selada (GARCIA; BARRETT, 2005).

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), a atmosfera modificada passiva é obtida por meio do controle das trocas gasosas através da própria embalagem. O ambiente atmosférico desejado é atingido por meio da respiração do produto e das trocas gasosas (difusão de O_2 e CO_2) através da embalagem com o meio externo. A atmosfera modificada ativa é obtida por meio da reposição da atmosfera do interior da embalagem por misturas gasosas, em concentração preestabelecida. Promove-se o vácuo moderado na embalagem que contém produto e injeta-se a mistura de gases desejada antes da sua selagem.

Uma nova técnica para embalagem de vegetais é a atmosfera modificada ativa não convencional, onde há substituição da pressão parcial do gás atmosférico original com gases nobres (He, Ar ou Xe), óxido nitroso (N_2O), N_2 ou O_2 superatmosférico (ARTÉS et al., 2009). Tomás-Callejas et al. (2011) relataram que o He e o O_2 superatmosférico contribuíram para a preservação da qualidade de acelga minimamente processada.

O uso de embalagem com atmosfera modificada tem feito parte da estratégia de conservação empregada para estender a vida útil de vegetais minimamente processados, e compreender o seu modo de ação vai ajudar a maximizar seu uso seguro e eficaz (GORNY, 1997).

2.1.1 Tipos de filmes poliméricos e seleção de embalagens

A escolha apropriada do material da embalagem é um importante aspecto a ser determinado para a aplicação da atmosfera modificada. Os materiais devem ter baixa taxa de transmissão de vapor de água, permeabilidade a gases, resistência mecânica, e boa capacidade de vedação para assegurar a retenção de gás.

As embalagens utilizadas para produtos minimamente processados incluem sacos de filmes flexíveis, bandejas rígidas com tampas de encaixe (Polietileno Tereftalato - PET e PS) ou termosseladas (PET/PE, PVC/PE, PS/PE), bandejas cobertas por filmes termoencolhíveis ou esticáveis e embalagens *flow-pack.* O filme polimérico mais comumente utilizado em MAP é o polipropileno biorientado (BOPP); outros exemplos são polietileno (PE) com diferentes densidades, polipropileno (PP) monocamada ou laminado ao polietileno, cloreto de polivinila (PVC), poliestireno (PS), e copolímeros de etileno e vinil acetato (EVA) (GARCIA; BARRETT, 2005).

Muitos dos filmes usados para embalagens, isoladamente, não oferecem todas as propriedades mecânicas e de barreira requeridas pelos vegetais minimamente processados (AL-ATI; HOTCHKISS, 2002; ZAGORY, 2000). Sendo assim, muitos desses filmes são combinados por meio de processos como a laminação e coextrusão.

Os materiais de embalagens flexíveis encontrados no mercado brasileiro de produtos minimamente processados foram caracterizados pelo Centro de Tecnologia em Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos - CETEA-ITAL, e classificados em cinco categorias, como filmes esticáveis de PVC, filmes de PEBD, filmes de PP, filmes laminados de BOPP/PEBD ou apenas de BOPPcoex seláveis e filmes poliolefínicos termoencolhíveis (SARANTÓPOULOS, 2011).

Na Tabela 1, encontram-se valores de taxa de permeabilidade a gases e ao vapor d'água de diferentes filmes poliméricos, que podem ser selecionados para embalagem de frutas e hortaliças minimamente processadas.

Tabela 1: Características de permeabilidade a gases e vapor d'água por filmes plásticos de possível utilização em embalagem de vegetais minimamente processados.

Tipo de filme	Permeabilidade[a] (x 10^3)		Transmissão[b]
	O_2	CO_2	Vapor d'água
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	3,9 – 13,0	7,7 – 77,0	6 – 23,2
Polipropileno (PP)	1,3 – 6,4	7,7 – 21,0	4 – 10,8
Polipropileno biorientado (BOPP)	2,0	8,0	6,7
Policloreto de vinila (PVC)	0,6 – 2,3	4,3 – 8,1	> 8
Poliestireno (PS)	2,0 – 7,7	10,0 – 26,0	108,5 – 155
Copolímeros de etileno e acetato de vinila (EVA)	12,5	50,0	40 – 60

[a] $cm^3\ m^{-2}\ dia^{-1}\ atm^{-1}$, (filme de 25 µm de espessura a 22 - 25°C).
[b] $g\ m^{-2}\ dia^{-1}\ atm^{-1}$ (37,8°C e 90% UR).

Fonte: Wiley (1994) e Chitarra e Chitarra (2005).

2.2 Embalagens ativas e inteligentes

As embalagens tradicionais, que protegem o produto atuando de maneira inerte, lentamente estão perdendo espaço para as embalagens ativas e inteligentes. Essas embalagens interagem diretamente com o produto, prolongando sua vida útil, assegurando a qualidade, e proporcionando informações aos consumidores sobre o estado final do produto (BRAGA; PERES, 2010).

A embalagem ativa pode ser definida como a que interage com o produto e o ambiente, com o intuito de prolongar a vida útil, conservar as propriedades sensoriais, mantendo a qualidade e segurança do alimento (SUPPAKUL et al., 2003). Embalagem inteligente consiste em um sistema que monitora as condições do alimento, indicando seu frescor durante o transporte e período de armazenamento (DAINELLI et al., 2008).

As tecnologias de embalagens ativa e inteligente, que têm sido especialmente desenvolvidas para frutas e hortaliças, são os abosorvedores de oxigênio, etileno, controladores de umidade, emissores de gás carbônico, integradores tempo-temperatura, indicadores de gás e voláteis, e radiofrequência (HAN; FLOROS, 2007).

Na Tabela 2, são apresentados os sistemas comerciais de embalagens ativas e inteligentes, selecionados, que são utilizados ou que têm potencial utilização para frutas e vegetais minimamente processadas.

Tabela 2: Sistemas comerciais de embalagens ativas e inteligentes, selecionados, que são utilizados ou com potencial utilização para frutas e vegetais minimamente processadas.

Sistema de embalagem	Nome comercial	Companhia	Forma
Absorvedor de oxigênio	Ageless®	Mitsubishi Gas Chemical Co. Ltd. (Japão)	Sachê e Rótulo
	Freshilizer®	Toppan Printing Co. (Japão)	Sachê
	Oxyguard®	Toyo Seikan Kaisha Ltd. (Japão)	Bandeja plástica
	$ZERO_2$™	Food Science Australia	Filmes
Absorvedor de etileno	N/A	Air Repair Products, Inc.	Sachê e Manta
	Neupalon®	Sekisui Jushi Ltd.	Sachê
	Evert-Fresh®	Evert-Fresh Corporation	Filme
	Bio-Fresh®	Grafit Plastics	Filme
Absorvedor de umidade	Toppan Sheet™	Toppan Printing Co. (Japão)	Folha absorvente
	Thermarite®	Thermarite Pty Ltd. (Australia)	Folha absorvente
Indicadores de tempo-temperatura	CheckPoint®	VITS A.B. (Suécia)	Rótulo adesivo
	eO®	CRYOLOG (França)	Rótulo adesivo
	TTSensor™	Avery Dennison Corp. (EUA)	Rótulo adesivo
Indicadores de gases e voláteis	It's Fresh®	It's Fresh Inc.	Etiqueta
	Freshness Guard®	UPM Raflatac	Tiras de teste
			Biossensor bioquímico
Indicadores patogênicos	Toxin Guard™	Toxin Alert Inc. (Canadá)	Etiqueta

Fonte: Mehyar e Han (2011).

2.2.1 Embalagens ativas para produtos minimamente processados

O desenvolvimento de tecnologias associadas a embalagens ativas resulta das limitações que as embalagens convencionais têm de controlar o ambiente ao redor do produto (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). As embalagens ativas exercem funções adicionais na manutenção da qualidade dos produtos comparada às embalagens tradicionais, pois ingredientes ativos são incluídos no material ou no espaço-livre da embalagem (saches) (LÓPEZ-RUBIO et al., 2004).

De acordo com Day (2008), o uso de filmes e recipientes contendo ingredientes ativos é mais adequado que o de sachês para produtos minimamente processados, já que, devido à alta umidade e transpiração desses produtos, pode haver dissolução do conteúdo hidrofílico do sachê, comprometendo seu uso.

As embalagens ativas devem ser desenvolvidas para controlar o principal fator de deterioração de cada produto em particular. Assim, devem-se entender as reações relacionadas com a perda de qualidade dos produtos hortícolas, nas condições de armazenamento, para que uma embalagem ativa adequada possa ser aplicada (MEHYAR; HAN, 2011).

Na Tabela 3, estão descritos diversos tipos de embalagens ativas e seus principais componentes.

Tabela 3: Principais componentes utilizados em embalagens ativas.

Embalagens ativas	Principais componentes
Absorvedor de oxigênio	Pós de ferro, ácido ascórbico, compostos organometálicos, glicose-oxidase, etanoloxidase
Absorvedor de etileno	Permanganato de potássio, carvão ativado, sílica gel, zeólito, argila
Absorvedor de umidade	Propilenoglicol, poli (álcool vinílico), sílica gel, terra diatomácea, argila
Antimicrobianos	Sorbatos, benzoatos, propionatos, etanol, ozônio, peróxido, dióxido de enxofre, antibióticos, zeólito de prata, enzimas
Emissores de CO_2	Ácido ascórbico, carbonato de ferro + haleto metálico

Fonte: Adaptado de Braga e Peres (2010).

Absorvedores de oxigênio

A presença de oxigênio na embalagem pode desencadear ou acelerar reações oxidativas que resultam em deterioração dos alimentos, como crescimento de microrganismos aeróbicos, odores e sabores estranhos, mudança de coloração, e redução da qualidade nutricional.

Absorvedores de oxigênio são aditivos ativos, utilizados no sistema de embalagem para absorver o oxigênio residual, que permanece depois que a embalagem é selada, e o que é originado a partir da respiração do produto e permeabilidade do material. São comercializados em várias formas: sachês, etiquetas ou rótulos, filmes, cartão e vedantes para tampas ou incorporação direta no material da embalagem (BRODY et al., 2008).

Os absorvedores de oxigênio comerciais, em sua maioria, são encontrados na forma de sachês e têm mecanismos de reação baseados na oxidação do ácido ascórbico, ferro em pó, oxidação enzimática dos ácidos graxos insaturados (ácidos oléico e linoléico) e combinação desses processos (MEHYAR; HAN, 2011).

Absorvedores de umidade

Os controladores de umidade auxiliam no monitoramento da atividade de água do produto, reduzindo o crescimento microbiano e prevenindo a condensação de vapor d'água na superfície da embalagem pelo produto fresco (VERMEIREN et al., 1999). Alguns tipos de absorvedores de umidade, utilizados para modificar a umidade relativa da embalagem, são a sílica gel, argila natural (montmorilonita), óxido de cálcio, cloreto de cálcio e amido modificado (DAY, 2008).

A quantidade de umidade em uma embalagem de frutas e hortaliças é o resultado da transpiração do produto e da permeabilidade ao vapor d'água da embalagem. O processamento mínimo de vegetais pode aumentar a umidade relativa dentro da embalagem devido à maior liberação de água pelo tecido vegetal cortado (MEHYAR; HAN, 2011). É comum a exsudação de líquido de frutas minimamente processadas; assim, podem-se utilizar os absorvedores de líquido (pads) no fundo das embalagens rígidas para a remoção do exsudado e controle da umidade relativa, como se usa para carnes e aves congeladas (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009).

Absorvedores de etileno

O etileno é um dos principais fatores endógenos que estimula a atividade respiratória e, como consequência, antecipa o amadurecimento e a senescência dos tecidos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Dessa forma, a remoção desse gás da embalagem poderá auxiliar no aumento da vida útil das frutas e hortaliças minimamente processadas.

O mais comum absorvedor de etileno utilizado é o permanganato de potássio (KMnO4), que é encontrado somente na forma de sachês, pois não pode entrar em contato com o alimento devido à sua toxicidade. O etileno também pode ser removido por adsorção em superfície ativa, como carvão ativo ou zeólitos, distribuídos como sachês ou incorporado no material de embalagem (BRODY et al., 2008).

Emissores de CO_2

O CO_2 pode ser adicionado nas embalagens devido a alguns efeitos benéficos que pode proporcionar, tais como alteração na função das células microbianas (FARBER, 1991) e redução da taxa respiratória do vegetal (O'BEIRNE; BALLANTYNE, 1987).

Em algumas aplicações, a remoção de oxigênio da embalagem pelo uso de absorvedor de O_2, cria um vácuo parcial que pode resultar no colapso da embalagem flexível. Nesses casos, é desejável a liberação simultânea de CO_2 com o sachê que consome O_2 (BRAGA; PERES, 2010).

A maioria dos processos de emissão de CO_2 é ativada pela umidade gerada pelos alimentos embalados. Sendo assim, esse mecanismo de ativação pode ter aplicações limitadas em alimentos de umidade intermediária, mas pode funcionar bem em alimentos de alta umidade, como frutas e hortaliças minimamente processadas (MEHYAR; HAN, 2011).

Filmes antimicrobianos

As embalagens antimicrobianas baseiam-se na incorporação de conservantes na estrutura do polímero que compõe os filmes, rótulos, etiquetas ou sachês para reduzir, inibir ou retardar o crescimento microbiano presente principalmente na superfície do alimento embalado, onde ocorre a maior parte das reações de deterioração (BRAGA; PERES, 2010).

Os agentes antimicrobianos podem ser utilizados em forma de vapor ou incorporados diretamente nos materiais de embalagem (BRODY et al., 2008), com viabilidade de migrar para a superfície dos alimentos ou ligar-se quimicamente à superfície do filme (HAN, 2004).

São exemplos de agentes antimicrobianos: ácidos, anidridos e sais orgânicos, como ácidos benzoico e sódico, sorbatos e propionatos, anidrido sórbico; enzimas como lisozima e nisina; bacteriocinas como a nisina; fungicidas como benomil e imazalil; polímeros como quistosana e poliamida irradiada; extratos naturais como alil-isotiocianato e extrato de cravo da índia, de alho; gases como etanol e ClO_2, e metais como a prata (zeólito de prata e nitrato de prata) (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). No Japão, os íons de prata e cobre, sais de amônio quaternário e compostos naturais são geralmente considerados agentes antimicrobianos seguros. O zeólito de prata (Ag-zeólito) é o agente mais comum impregnado nos plásticos (PÉREZ-PÉREZ et al., 2006).

2.2.2 Embalagens inteligentes para produtos minimamente processados

Embalagens inteligentes podem detectar e informar as condições do alimento ou do espaço-livre por dispositivos externos ligados a indicadores que mostram a qualidade e a segurança do alimento (RODRIGUES; HAN, 2003).

Os sistemas inteligentes incluem indicadores de tempo-temperatura, composição de gases, segurança e qualidade do produto. O uso desse tipo de embalagens vem aumentando progressivamente, tanto em produtos hortícolas íntegros, como em minimamente processados (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Na Tabela 4, estão descritos diversos tipos de embalagens inteligentes e seus principais componentes.

Tabela 4: Principais componentes utilizados em embalagens inteligentes.

Embalagens Inteligentes	Principais componentes
Indicadores de tempo-temperatura	Mecânicos, químicos e enzimáticos
Indicadores de crescimento de microrganismos	Corantes de pH, todos os tipos de corantes que reagem com metabólitos (voláteis e não voláteis)
Indicadores patogênicos	Métodos químicos e imunoquímicos que reagem com toxina
Indicadores de oxigênio	Tintas redox, enzimáticos, corantes de pH
Indicadores de dióxido de carbono	Químicos

Fonte: Adaptado de Braga e Peres (2010).

Integradores tempo-temperatura (TTI)

O controle preciso da temperatura pode retardar o processo de deterioração de frutas e vegetais. A temperatura é o fator de maior influência na respiração, desenvolvimento de microrganismos, e reações químicas que afetam a atividade metabólica de dos vegetais minimamente processados (WILEY, 1994).

Embalagem com controle de temperatura pode ser uma opção para indicar alterações no produto devido à variação de temperatura. Os Integradores tempo-temperatura são utilizados como indicadores da segurança e qualidade do produto, mediante monitoramento visual da vida útil (mudança de cor ou de movimento), ou de que o tempo-temperatura total excedeu o valor predeterminado (LABUZA, 1996). As reações ocorridas nos indicadores são baseadas em irreversíveis alterações, mecânicas, químicas, enzimáticas ou microbianas (TAOUKIS, 2008).

Os integradores tempo-temperatura têm uma aplicação importante para frutas e hortaliças, especialmente em produtos minimamente processados, para prevenir a deterioração rápida quando há flutuação da temperatura fora da faixa ideal durante o período de armazenamento.

Indicadores de gases e compostos voláteis

O frescor e o amadurecimento de frutas e vegetais podem ser determinados pela medição de gás e compostos voláteis no espaço livre da embalagem. Os indicadores de frescor detectam, quando ocorrem alterações no produto, os metabólitos microbiológicos gerados, tais como oxigênio, dióxido de carbono, diacetil, aminas, etanol e sulfeto de hidrogênio (BRODY et al., 2001).

De acordo com Mehyar e Han (2011), as medições de aroma também têm sido utlizadas para monitorar o grau de fermentação de frutas. O ripeSense® é um indicador desenvolvido para detectar compostos aromáticos desprendidos pelos frutos. O ToxinGuardTM é um exemplo de indicador de frescor que incorpora anticorpos numa embalagem plástica à base de polietileno capaz de detectar patógenos. Sendo assim, mediante diagnósticos visuais, o consumidor pode adquirir produtos frescos e frutas com grau de maturação preferido.

Etiqueta de identificação por radiofrequência (RFID)

A etiqueta de identificação por radiofrequência pode ser considerada como um sensor avançado para obtenção, transporte e armazenamento de informações, visando à identificação automática de produtos e sua rastreabilidade (BRAGA; PERES, 2010).

Essa tecnologia consiste em etiquetas (suporte de dados), leitores (receptores), e sistemas informáticos (software, hardware, networking e base de dados). A etiqueta RFID é incorporada na embalagem, a partir da qual um sensor apropriado é utilizado para coletar os dados sobre a condição do produto. Os dados armazenados nas etiquetas (identificação do produto e seu histórico) são transmitidos para o leitor para decodificação e, após, processados pelo sistema de computador (BRODY et al., 2008; YAM et al., 2005).

Esses dados podem ser coletados em qualquer ponto durante o processamento e distribuição do produto de maneira rápida, o que torna o uso dessa tecnologia mais flexível do que o sistema de código de barras. De acordo com Moretti e Mattos (2007), o uso de código de barras exige que o produto seja "escaneado" de cada vez, enquanto que o leitor de RFID pode ler centenas de etiquetas ao mesmo tempo, tornando ágil o processo de carregamento e de entrega, o que favorece tanto as empresas quanto os consumidores devido aos ganhos em logística.

3. Nanotecnologia em embalagens

A nanotecnologia tem potencial para melhorar as embalagens para alimentos, podendo ocupar uma significativa parcela, nesse setor, em um futuro próximo.

A síntese de nanopartículas pode ser realizada de várias formas, entre elas extração por solvente/evaporação, por cristalização, por hidrólise ácida e via enzimática (DUFRESNE, 2006; BHUSHAN, 2004). A escolha do método depende do tipo e origem do material (vegetais, cerâmicos, poliméricos, entre outros) e de como será sua aplicação na embalagem (DURÁN et al., 2006; WANG et al., 2007; PINNA; NIEDERBERGER, 2008). No entanto, não é o intuito desse item descrever a produção de nanopartículas, pois tais estudos encontram-se bem discutidos na literatura.

De um modo geral, a introdução de nanopartículas em uma matriz polimérica promove, principalmente, melhoras nas propriedades mecânicas (resistência a tração e ruptura) e de barreira (permeabilidade a gases e a vapor d'água) e pode atuar, dependendo da composição, como agente antimicrobiano, com benefícios de qualidade e segurança do alimento (WANG et al., 2007; BELBEKHOUCHE et al., 2011).

Além dos benefícios citados, a incorporação de nanoestruturas pode reduzir custos de manufatura atribuídos à sua escala nanométrica. Nesse contexto, a nanotecnologia mostra-se uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de novos materiais para a indústria alimentícia, incluindo embalagens adequadas à conservação de frutas e hortaliças minimamente processadas.

Atualmente, o grande desafio ao desenvolvimento de embalagens para alimentos baseadas em nanopartículas está relacionado aos possíveis efeitos toxicológicos ao ser humano. Dessa forma, pesquisas adicionais se fazem necessárias nesse sentido.

4. Conclusões

Os grandes avanços vistos pela indústria de alimentos no setor de embalagens nos últimos tempos, dentre eles, o desenvolvimento das embalagens ativas e inteligentes, sem dúvida, oferecem ao consumidor produtos de melhor qualidade e mais seguros. No entanto, embora essas embalagens tenham mostrado eficiência no controle das reações de deterioração de vegetais, pesquisas são necessárias para tornar essas tecnologias instrumentos eficazes para a melhoria da qualidade e segurança de frutas e hortaliças minimamente processadas.

Referências

AL-ATI, T.; HOTCHKISS, J. H. Application of Packaging and Modified Atmosphere to Fresh-cut Fruits and Vegetables. In: LAMIKANRA, O. **Fresh-cut fruits and vegetables:** science, technology, and market. Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 2002. p. 311-344.

ARGENTA, L. C.; MATTHEIS, J. P.; FAN, X.; FINGER, F. L. Production of volatile compounds by fuji apples following exposure to high CO2 or low O2. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** Easton, v. 52, p. 5957-5963, 2004.

ARTÉS, F.; GÓMEZ, P.; AGUAYO, E.; ESCALONA, V.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 51, p. 287-296, 2009.

BEAUDRY, R. M. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. **HortTechnology,** Alexandria, v. 10, p. 491-500, 2000.

BELBEKHOUCHE, S.; BRAS, J.; SIQUEIRA, G.; CHAPPEY, C.; LEBRUN, L.; KHELIFI, B.; MARAIS, S.; DUFRESNE, A. Water sorption behavior and gas barrier properties of cellulose whiskers and microfibrils films. **Carbohydrate Polymers,** Barking, v. 83, p. 1740-1748, 2011.

BHUSHAN, B. (Ed.). **Springer handbook of nanotechnology.** Berlin: Springer, 2004. 1222 p.

BRAGA, L. R.; PERES, L. Novas tendências em embalagens para alimentos: revisão. **Boletim CEPPA,** Curitiba, v. 28, n. 1, p. 69-84, 2010.

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience,** Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-21, 1995.

BRODY, A. L.; STRUPINSKY, E. R.; KLINE, L. R. **Active Packaging for Food Applications.** Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Col., 2001. 217 p.

BRODY, A. A.; BUGUSU, B.; HAN, J. H; SAND, C. K.; MCHUGH, T. H. Innovative Food Packaging Solutions. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 73, n. 8, p. 107-116, 2008.

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

DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SPYROPOULOS, D.; ZONDERVAN-VAN DEN BEUKEN, E.; TOBBACK, P. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v. 19, p. 103-112, 2008.

DAY, B. P. F. Active packaging of food. In: KERRY, J. (Ed.). **Smart packaging technologies for fast moving consumer goods.** Hoboken, NJ: John Wiley, 2008. p. 1–18.

DUFRESNE, A. Comparing the mechanical properties of high performances polymer nanocomposites from biological sources. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology,** Stevenson Ranch, v. 6, p. 322-330, 2006.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C de. **Nanotecnologia:** introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber, 2006. 208 p.

FARBER, J. M. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology: a review. **Journal of Food Protection,** Des Moines, v. 54, n. 1, p. 58-70, 1991.

GARCIA, E.; BARRETT, D. M. Fresh-cut fruit. In: BARRETT, D. M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, H. **Processing fruits:** science and technology. 2nd ed. Boca Raton - FL: CRC Press, 2005. p. 53-72.

GORNY, J. R. Modified atmospheres packaging and the fresh-cut revolution. **Perishables Handling Newsletter,** [S. l.], n. 90, p. 4-5, 1997.

HAN, J. H. Mass transfer modeling in closed systems for food packaging particulate foods and controlled release technology. **Food Science and Biotechnology,** [S. l.], v. 13, n. 6, p. 700–706, 2004.

HAN, J. H.; FLOROS, J. D. Active packaging. In: TEWARI, G.; JUNEJA, V. K. (Ed.). **Advances in thermal and non-thermal food preservation.** Ames, Ia: Blackwell Professional, 2007. p. 167-183.

HOBSON, G.; BURTON, K. The Application of Plastic Film Technology to the Preservation of Fresh Horticultural Produce. **Professional Horticulture,** [S. l.], v. 3, p. 20-23, 1989.

KADER, A. A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E. L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** Boca Raton, v. 28, n. 1, p. 1-30, 1989.

KADER, A. A.; SALTVEIT, M. E. Atmosphere modification. In: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables.** New York: Marcel Dekker,. 2003. p. 229-246.

LABUZA, T. P. An introduction to active packaging for foods. **Food Technology,** Chicago, v. 50, n. 1, p. 68-71, 1996.

LEE, L. Z.; ARUL, J.; LENCKI, R.; CASTAIGNE, F. Methodology for determining the appropriate selectivity of mass transfer devices for modified atmosphere packaging of fresh produce. **Packaging Technology and Science,** [S. l.], v. 9, p. 55–72, 1996.

LÓPEZ-RUBIO, A.; ALMENAR, E.; HERNANDEZ-MUNOZ, P.; LAGARON, J. M.; CATALA, R.; GAVARA, R. Overview of active polymer-based packaging technologies for food application. **Food Reviews International,** New York, v. 20, n. 4, p. 357-387, 2004.

MEHYAR, G. F.; HAN, J. H. Active Packaging for Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: BRODY, A. L.; ZHUANG, H.; HAN, J. H. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables.** Ames-IA: Wiley-Blackwell, 2011. p. 267-284.

MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2007. 531 p.

MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. Sistemas e tecnologias podem prevenir e evitar contaminações. **Visão Agrícola,** Piracicaba, v. 4, p. 75-77, 2007.

O'BEIRNE, D.; BALLANTYNE, A. Some effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging in combination with antioxidants on quality and storage life of chilled potato strips. **International Journal of Food Science and Technology,** Oxford, v. 22, p. 515-523, 1987.

PÉREZ-PÉREZ, C.; REGALADO-GONZÁLEZ, C.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, C. A.; BARBOSA-RODRÍGUEZ, J. R.; VILLASEÑOR-ORTEGA, F. Incorporation of antimicrobial agents in food packaging films and coatings. In: GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G.; TORRES-PACHECO, I. **Advances in Agricultural and Food Biotechnology.** Kerala: Research Signpost, 2006. p. 193-216.

PINNA, N.; NIEDERBERGER, M. Surfactant-free nonaqueous synthesis of metal oxide nanostructures. **Angewandte Chemie International Edition,** [Weinheim], v. 47, p. 5292-5304, 2008.

RODRIGUES, E. T.; HAN, J. H. Intelligent packaging. In: HELDMAN D.R. (Ed.). **Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering.** New York: Marcel Dekker, 2003. p. 528-535.

SALTVEIT, M. E. Is it possible to find and optimal controlled atmosphere? **Postharvest Biology and Technology,** Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 3-13, 2003.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; MORAES, B. B. **Embalagens ativas e inteligentes para frutas e hortaliças.** Campinas: CETEA/ITAL, 2009. p. 1-7. (Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens).

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Embalagem. In: CENCI, S. A. (Ed.). **Processamento mínimo de frutas e hortaliças:** tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. p. 59-70.

SCHLIMME, D. V.; ROONEY, M. L. Packaging of minimally processed fruits and vegetables. In: WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables.** New York: Chapman & Hall, 1994. p. 135-182.

SUPPAKUL, P.; MILTZ, J.; SONNEVELD, K.; BIGGER, S. W. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 68, n. 2, p. 408-420, 2003.

TAOUKIS, P. S. Application of time-temperature integrators for monitoring and management of perishable product quality in the cold chain. In: KERRY, J. (Ed.). **Smart packaging technologies for fast moving consumer goods.** Hoboken, NJ: John Wiley, 2008. p. 61-74.

TOMÁS-CALLEJAS, A.; BOLUDA, M.; ROBLES, P. A.; ARTÉS, F.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Innovative active modified atmosphere packaging improves overall quality of fresh-cut red chard baby leaves. **Food Science and Technology,** London, v. 44, p. 1422-1428, 2011.

VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; VAN BESST, M.; KRUIJF, N.; DEBEVERE, J. Developments in the active packaging of food. **Trends in Food Science & Technology,** Cambridge, v. 10, p. 77-86, 1999.

WANG, X.; YAN, Y.; YOST, M. J.; FANN, S. A.; DONG, S.; LI, X. Nanomechanical characterization of micro/nanofiber reinforced type I collagens. **Journal of Biomedical Materials Research** Part A, Hoboken, v. 83A, n. 1, p. 130-135, 2007.

WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits & vegetables.** New York: Chapman & Hall, 1994. 368 p.

YAM, K. L.; TAKHISTOV, P. T.; MILTZ, J. Intelligent packaging: concepts and applications. **Journal of Food Science,** Chicago, v. 70, n. 1, p. 1-10, 2005.

ZAGORY, D. What modified atmosphere packaging can and can't do for you. In: ANNUAL POSTHARVEST CONFERENCE & TRADE SHOW, 16., 2000, Washington. **Anais…** Washington: Washington State University, 2000. Disponível em: <http://www.nsf.org/business/nsf_agriculture/articles_whatmap.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2011.

ZHUANG, H. Introduction. In: BRODY, A. L.; ZHUANG, H.; HAN, J. H. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables.** Ames-IA: Wiley-Blackwell, 2011. p. 3-8.

Capítulo 16

Legislação de Embalagens para Contato Direto com Alimentos

Elisabete Segantini Saron

1. Introdução

A embalagem tem como funções clássicas conter, proteger e vender o produto nela acondicionado. A função de contenção visa agrupar unidades de determinado produto, de modo a tornar convenientes e eficazes seu manuseio e distribuição. A proteção está relacionada à capacidade da embalagem em preservar ao máximo a qualidade do produto, suportando e protegendo seu conteúdo, bem como minimizando as reações de degradação do alimento, em meio a todas as adversidades encontradas nos meios de distribuição e comercialização até o seu consumo. E, finalmente, a terceira função "vender", além de atrair o consumidor para a compra, também deve informá-lo sobre as características e propriedades do produto nela acondicionado (BORDIN, 1998; SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009).

Quando tratamos de frutas e hortaliças *in natura*, geralmente os produtos são transportados a granel, sendo acondicionados em embalagens tipo caixa, as quais podem ser produzidas com diferentes tipos de materiais, formas e tamanhos. Alimentos mais resistentes, muitas vezes, são acondicionados em embalagens tipo saco, os quais também podem apresentar diferentes variedades de materiais, formas e tamanhos (BORDIN, 1998). Os materiais mais comumente empregados para a fabricação destas embalagens são: madeira, papelão e plástico, no caso de caixas; e plástico, papel e tecido no caso de sacos.

As principais perdas pós-colheita de hortaliças e frutas *in natura* no país, que atingem de 20% a 30% de produtos que saem do campo e chegam ao consumidor final, são, em parte, devidas ao manuseio e uso impróprios das embalagens (LUENGO; CALBO, 2009).

Com o objetivo de minimizar as perdas no setor, nos últimos anos algumas regulamentações foram publicadas. Em 04 de outubro de 1991, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento publicou a Portaria nº 127, que estabelecia normas de embalagens para acondicionamento, manuseio, transporte, armazenagem e comercialização de produtos hortícolas destinados ao mercado atacadista interno. Os materiais, formas e dimensões das embalagens eram especificados de acordo com o tipo de produto a ser acondicionado (BRASIL, 1991; LUENGO; CALBO, 2009). Esta Portaria foi revogada pela Portaria nº 201/06 (BRASIL, 2006).

Em 14 de novembro de 2002, foi publicada a Instrução Normativa Conjunta nº 9, de 12 de novembro de 2002, a qual foi instituída em cooperação entre o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o Ministério da Saúde, através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). A referida Instrução Normativa regulamenta o acondicionamento, manuseio e comercialização dos produtos hortícolas *in natura* (não processados e colocados à disposição para comercialização) em embalagens próprias para a comercialização, visando a sua proteção, conservação e integridade, assegurando a verificação de informações a respeito da classificação dos produtos hortícolas e garantindo a obrigatoriedade da indicação quantitativa e qualitativa do conteúdo líquido da embalagem (BRASIL, 2002; LUENGO; CALBO, 2009).

Sob o ponto de vista toxicológico e/ou sensorial, os materiais de embalagem devem ser cuidadosamente especificados para assegurar que sejam compatíveis com o alimento e que não sejam um veículo de contaminação, tendo-se em conta que não são totalmente inertes e podem transferir substâncias indesejáveis para o alimento (LEMOS; ITO, 2008). Dentre os materiais comumente empregados para uso em contato direto com frutas e hortaliças in natura, existem regulamentos técnicos específicos apenas para materiais poliméricos e celulósicos.

Quando tratamos de embalagens para a comercialização de frutas e hortaliças minimamente processadas, ou seja, produtos frescos, higienizados, cortados, com a retirada das partes não comestíveis e embalados prontos para o consumo ou preparo direto (SARANTÓPOULOS, 1997), ou, ainda, de embalagens ativas (embalagens que, além de atuarem como uma barreira a agentes externos, procuram corrigir deficiências presentes na embalagem passiva, melhorando seu desempenho) ou inteligentes (embalagens que captam e medem variações do ambiente na embalagem ou no seu conteúdo e indicam as alterações ao consumidor) (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). Outros aspectos legais relativos aos materiais de embalagem para contato direto com alimentos estão envolvidos.

A seguir, serão discutidos os princípios e os requisitos gerais da Legislação Brasileira harmonizada com os países pertencentes ao MERCOSUL para materiais poliméricos e celulósicos destinados ao contato direto com alimentos. Também serão feitas breves considerações sobre os órgãos reguladores dos Estados Unidos e da União Europeia, sobre tintas de impressão e sobre o uso de materiais reciclados em contato direto com alimentos.

2. Requisitos gerais da legislação de embalagens para contato direto com alimentos

No Brasil, embalagens, equipamentos e utensílios, destinados ao contato direto com alimentos e bebidas, são regulamentados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) do Ministério da Saúde, havendo em vigor regulamentos específicos de acordo com cada tipo de material.

O objetivo desses regulamentos é garantir que sejam utilizados materiais seguros na elaboração das embalagens, equipamentos e utensílios para acondicionamento e contato direto com alimentos e bebidas, de forma a garantir que não ocorra nenhum tipo de contaminação química acidental proveniente das reações de interação entre os materiais e os produtos de contato.

Os regulamentos técnicos apresentam Listas Positivas de materiais, aditivos e coadjuvantes de fabricação que podem ser utilizados na formulação química dos materiais. As substâncias apresentadas nestas listas são produtos cujo potencial toxicológico é conhecido e que, quando utilizados dentro de critérios preestabelecidos, não apresentam risco de contaminação ao alimento. As substâncias que compõem uma Lista Positiva foram previamente estudadas e analisadas e podem apresentar ou não determinadas limitações para algumas aplicações, definidas como restrições de uso (quando a substância é aprovada para contato com apenas algumas classes de produtos alimentícios e/ou sob condições definidas de temperatura) ou, ainda, apresentam limites de composição e de migração específica.

Uma vez determinada a adequação da formulação do material de embalagem, equipamento ou utensílio para contato com alimentos e bebidas, através da avaliação da Lista Positiva, este deve ser submetido a alguns ensaios de controle. Dentre os parâmetros de controle previstos pela legislação, algumas matérias-primas devem ter a sua pureza determinada quanto à presença de substâncias específicas de conhecimento prévio em relação à sua toxicidade. Além disso, existem ensaios de controle para os materiais acabados, denominados ensaios de migração total e de migração específica.

A migração total tem por objetivo quantificar o total de substâncias transferidas do material de embalagem para o produto alimentício ou simulantes que imitam o comportamento de um grupo de alimentos, nas condições usuais de emprego, elaboração e armazenamento. Este ensaio não pretende identificar a natureza das substâncias migradas e, por consequência, seus resultados não têm correlação direta com a contaminação toxicológica do alimento. No entanto, deve-se ressaltar que o limite de migração total mede a tendência do material em transferir componentes para o alimento e fornece informação sobre o potencial de interação alimento/material de embalagem (BRASIL, 2001; PADULA; ITO, 2006).

A migração específica é a quantidade de um componente de particular interesse toxicológico transferida dos materiais em contato com alimentos para os alimentos ou seus simulantes, nas condições equivalentes de ensaio (BRASIL, 2001).

No intuito de prevenir o risco de contaminação química acidental proveniente das reações de interação entre os materiais e os produtos de contato, foram criadas legislações específicas para os diferentes tipos de materiais utilizados na produção de embalagens destinadas ao contato direto com alimentos, as quais estabelecem um conjunto de procedimentos, princípios e regras que abrangem desde as matérias-primas até o produto final.

3. Materiais poliméricos

Os requisitos relacionados às embalagens e equipamentos plásticos destinados ao contato direto com alimentos estão estabelecidos na Resolução nº 105 de 19 de maio de 1999. Nos últimos anos, esta Resolução sofreu uma série de atualizações, compreendidas pelas seguintes:

- Resolução RDC nº 17, de 17 de março de 2008, que dispõe sobre o regulamento técnico sobre lista positiva de aditivos para materiais plásticos destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos;
- Resolução RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010, que dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos;
- Resolução RDC nº 52, de 26 de novembro de 2010, que dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados a estar em contato com alimentos.

Outra alteração que haverá na Resolução nº 105/99 será a publicação da Consulta Pública nº 114, de 17 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos (BRASIL, 2010a).

A Resolução nº 105/99 e a Resolução RDC nº 17/08 apresentam Listas Positivas, sendo uma de polímeros e resinas (Resolução nº 105/99) e outra de aditivos para materiais plásticos (Resolução RDC nº 17/08). Os componentes listados em ambas as Resoluções podem ser empregados na formulação de materiais plásticos, desde que respeitadas as restrições de uso, os limites de composição e os limites de migração específica de substâncias estabelecidos (BRASIL, 1999a; BRASIL, 2008).

A Resolução RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010, que dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos, apresenta classificação de alimentos e de simulantes de alimentos e condições de tempo e temperatura que simulam a condição real de uso da embalagem com o alimento para a realização de ensaios de migração total. A classificação de alimentos e respectivos simulantes adotados para os ensaios de migração total e de migrações específicas são descritos na Tabela 1 (BRASIL, 2010b).

Tabela 1: Classificação de alimentos e respectivos simulantes adotados para os ensaios de migração total e de migrações específicas.

Tipo de Alimento	Simulante	
Aquosos não ácidos (pH > 4,5)	A	Água destilada ou deionizada
Aquosos ácidos (pH ≤ 4,5)	B	Solução de ácido acético a 3% (m/v) em água destilada ou deionizada
Alcoólicos com conteúdo alcoólico superior a 5% (v/v)	C	Solução de etanol a 10 % (v/v) em água destilada ou deionizada(1)
Gordurosos	D	- Solução de etanol a 95% (v/v) em água destilada ou deionizada ou, - Isooctano ou, - MPPO (óxido de polifenileno modificado); - Solução de etanol a 50% (v/v) em água destilada ou deionizada(2)
	D'	Azeites/óleos comestíveis (azeite de oliva, óleo de girassol, óleo de milho) ou Misturas sintéticas de triglicerídios
Secos		Nenhum simulante é atribuído

(1) Para bebidas com conteúdo alcoólico superior a 10% (v/v), a concentração da solução deverá ser ajustada de acordo com o conteúdo real de etanol do produto no caso desse superar os 10% (v/v);
(2) Simulante gorduroso para produtos lácteos (leite integral, leite condensado, leite desnatado ou parcialmente desnatado, leites fermentados como iogurte e produtos similares, creme de leite, creme de leite ácido e sobremesas lácteas refrigeradas).
Fonte: Brasil (2010b).

A migração de substâncias que conferem cor em materiais plásticos coloridos é realizada utilizando-se, como simulante, óleo de coco (BRASIL, 2010b).

Para as categorias de alimentos citadas e suas combinações, a Resolução RDC nº 51/10 estabelece que os ensaios de migração total sejam realizados com os simulantes apresentados na Tabela 2. A referida Resolução apresenta também uma tabela que estabelece diversos alimentos ou grupos de alimentos com a atribuição de simulantes correspondentes para utilizar nos ensaios de migração total e específica, na qual, para cada alimento ou grupo de alimentos, utilizam-se os simulantes indicados com um "X", usando para cada simulante amostras não analisadas do material a ser avaliado. Frutas, hortaliças e produtos derivados estão classificados no item 4, não sendo recomendado para estes produtos in natura nenhum simulante, porém, quando se trata destes produtos processados, diferentes tipos de simulantes são indicados, e a escolha do simulante dependerá do tipo de processamento e das características do produto acabado.

As condições convencionais de tempo e temperatura que simulam a condição real de uso da embalagem com o alimento para a realização dos ensaios de migração total com os simulantes A, B, C e D' para materiais poliméricos estão apresentadas na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta condições de tempo e temperatura para os ensaios de migração total ou de migrações específicas com os simulantes alternativos classificados como simulante D (BRASIL, 2010b).

Tabela 2: Seleção de simulantes para diferentes classes de alimentos.

Tipo de alimento	Simulante
Aquosos não ácidos	A
Aquosos ácidos	B
Alcoólicos	C
Gordurosos	D ou D’
Aquosos não ácidos e alcoólicos	C
Aquosos ácidos e alcoólicos	B e C
Aquosos não ácidos contendo gorduras e óleos	A e D ou D’
Aquosos ácidos contendo gorduras e óleos	B e D ou D’
Aquosos não ácidos, alcoólicos e gordurosos	C e D ou D’
Aquosos ácidos, alcoólicos e gordurosos	B, C e D ou D’
Alimentos secos não gordurosos	Não é necessário realizar o ensaio de migração
Alimentos secos gordurosos	D ou D’

Fonte: Brasil (2010b).

Tabela 3: Condições convencionais de tempo e temperatura empregados nos ensaios de migração total e de migrações específicas com os simulantes A, B, C e D' para materiais poliméricos.

Condições de contato previsíveis mais críticas	Condições de ensaio equivalentes para simulantes A, B, C e D
Tempo de contato (t)	**Tempo de ensaio**
t ≤ 5 minutos	(1)
5 minutos < t ≤ 30 minutos	30 minutos
30 minutos < t ≤ 1 hora	1 hora
1 hora < t ≤ 2 horas	2 horas
2 horas < t ≤ 4 horas	4 horas
4 horas < t ≤ 24 horas	24 horas
t > 24 horas	10 dias
Temperatura de contato (T)	**Temperatura de ensaio**
T ≤ 5 ºC	5 ºC
5 ºC < T ≤ 20 ºC	20 ºC
20 ºC < T ≤ 40 ºC	40 ºC
40 ºC < T ≤ 70 ºC	70 ºC
70 ºC < T ≤100 ºC	100°C (ou temperatura de refluxo)
100 ºC < T ≤ 121 ºC	121 ºC(2)
121 ºC < T ≤ 130 ºC	130 ºC(2)
130 ºC < T ≤ 150 ºC	150 ºC(2)
T > 150 ºC	175 ºC(1 e 2)

(1) Nos casos em que as condições reais de contato não estiverem adequadamente contempladas, poderão ser utilizadas outras condições, desde que representem as condições de contato previsíveis mais críticas;
(2) Esta condição de temperatura poderá ser usada apenas pelo simulante D'. Para os simulantes A, B e C a temperatura do ensaio de migração será de 100 ºC, durante um tempo igual a 4 vezes o tempo selecionado.

Fonte: Brasil (2010b).

Tabela 4: Condições convencionais de tempo e temperatura empregados nos ensaios de migração total e de migrações específicas com os simulantes D' para materiais poliméricos.

Condições de tempo e temperatura com simulante D´	Condições de tempo e temperatura com simulante D		
	Isooctano	Solução de etanol a 95% (v/v)	MPPO (óxido de polifenileno modificado)
10 d a 5 ºC	12 h a 5 ºC	10 d a 5 ºC	--
10 d a 20 ºC	1 d a 20 ºC	10 d a 20 ºC	--
10 d a 40 ºC	2 d a 20 ºC	10 d a 40 ºC	--
2 h a 70 ºC	30 min a 40 ºC	2 h a 60 ºC(1)	--
30 min a 100 ºC	30 min a 60 ºC(1)	2,5 h a 60 ºC(1)	30 min a 100 ºC
1 h a 100 ºC	1 h a 60 ºC(1)	3 h a 60 ºC(1)	1 h a 100 ºC
2 h a 100 ºC	1,5 h a 60 ºC(1)	3,5 h a 60 ºC(1)	2 h a 100 ºC
30 min a 121 ºC 1 h a 121 ºC	1,5 h a 60 ºC(1) 2 h a 60 ºC(1)	3,5 h a 60 ºC(1) 4 h a 60 ºC(1)	30 min a 121 ºC 1 h a 121 ºC
2 h a 121 ºC	2,5 h a 60 ºC(1)	4,5 h a 60 ºC(1)	2 h a 121 ºC
30 min a 130 ºC	2 h a 60 ºC(1)	4 h a 60 ºC(1)	30 min a 130 ºC
1 h a 130 ºC	2,5 h a 60 ºC(1)	4,5 h a 60 ºC(1)	1 h a 130 ºC
2 h a 150 ºC	3 h a 60 ºC(1)	5 h a 60 ºC(1)	2 h a 150 ºC
2 h a 175 ºC	4 h a 60 ºC(1)	6 h a 60 ºC(1)	2 h a 175 ºC

(1) Para simulantes voláteis, empregam-se temperaturas de até 60 ºC.

Fonte: Brasil (2010b).

Os ensaios de migração total devem ser conduzidos de acordo com as metodologias analíticas descritas nas Normas EN Série 1186 (EN 1186-1 *"Materials and articles in contact with foodstuffs – Plastics - Part 1: Guide to the selection of conditions and test methods for overall migration"* e complementares) (BRASIL, 2010b).

O limite máximo de migração total estabelecido pela Resolução nº 105/99 é de 50 mg de resíduo/kg de produto ou de 8 mg de resíduo/dm² de material polimérico, com uma tolerância analítica de 10%, sendo, portanto, de 55 mg/kg ou 8,8 mg/dm² o valor máximo tolerável (BRASIL, 1999).

Os ensaios de migração específica devem ser conduzidos de acordo com as metodologias analíticas descritas nas Normas EN Série 13130 (EN 13130-1 *"Materials and articles in contact with foodstuffs - Plastics substances subject to limitation - Part 1: Guide to test methods for the specific migration of substances from plastics to foods and food simulants and the determination of substances in plastics and the selection of conditions of exposure to food simulants"* e complementares. Os limites são estabelecidos nas respectivas Resoluções (BRASIL, 1999; BRASIL, 2008; BRASIL, 2010b).

3.1 Materiais poliméricos coloridos

A Resolução nº 52 de 26 de novembro de 2010, que dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados ao contato com alimentos, apresenta requisitos de pureza de metais e outros elementos em corantes e pigmentos, de aminas aromáticas sulfonadas e não sulfonadas em corantes orgânicos e também requisitos de migração específica de metais e outros elementos para materiais poliméricos coloridos acabados, bem como metodologias analíticas de avaliação destes parâmetros (BRASIL, 2010c).

São estabelecidos limites máximos para os elementos antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg), selênio (Se) e zinco (Zn) migrados de corantes e pigmentos empregados na coloração de materiais plásticos coloridos, os quais são apresentados na Tabela 5 (BRASIL, 2010c).

Apresenta também requisitos e ensaios adicionais para uso do pigmento negro de fumo, com limite de composição máximo de 2,5% m/m e limites das migrações específicas de extraíveis em tolueno (limite máximo 0,1% m/m), extraíveis em ciclohexano a 386 nm (inferior a 0,02 UA para cubeta de 1 cm ou inferior a 0,1 UA para cubeta de 5 cm) e conteúdo de benzo (a) pireno (máximo de 0,25 mg/kg).

A migração específica de antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), boro (B), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), estanho (Sn), flúor (F), mercúrio (Hg), prata (Ag) e chumbo (Pb) para embalagens poliméricas coloridas deve ser determinada em simulante de solução aquosa de ácido acético a 3% (m/v), considerando as condições de contato (tempo e temperatura) recomendadas para os ensaios de migração total da Resolução RDC nº 51/10 (BRASIL, 2010b). Os limites máximos estabelecidos para migração específica de metais e outros elementos de embalagens coloridas estão apresentados na Tabela 6 (BRASIL, 2010c).

Tabela 5: Limites máximos de metais migrados em HCl 0,1N de corantes e pigmentos empregados na coloração de materiais poliméricos.

Elemento	Limite de migração específica em HCl 0,1N (%)
Antimônio (Sb)	0,05
Arsênio (As)	0,005
Bário (Ba)	0,01
Cádmio (Cd)	0,01
Chumbo (Pb)	0.01
Cromo (Cr)	0,10
Mercúrio (Hg)	0,005
Selênio (Se)	0,01
Zinco (Zn)	0,20

Fonte: Brasil (2010c).

Tabela 6: Limites máximos de migração específica em embalagens coloridas.

Elemento	Limite de migração específica (mg/kg)
Antimônio (Sb)	0,04
Arsênio (As)	0,01
Bário (Ba)	1
Boro (B)	0,5
Cádmio (Cd)	0,005
Zinco (Zn)	25
Cobre (Cu)	5
Cromo (Cr)	0,05
Estanho (Sn)	1,2
Flúor (F)	0,5
Mercúrio (Hg)	0,005
Prata (Ag)	0,05
Chumbo (Pb)	0,01

Fonte: Brasil (2010c).

4. Materiais celulósicos

No caso específico de materiais celulósicos, a ANVISA publicou, em 08 de março de 1999, a Portaria nº 177/99, que estabelece as disposições gerais para embalagens e equipamentos celulósicos destinados a entrar em contato com alimentos e matérias-primas para alimentos, inclusive aqueles materiais celulósicos revestidos ou tratados superficialmente com parafinas, resinas poliméricas e outros. Aplica-se também a embalagens e equipamentos de uso doméstico, elaborados ou revestidos com papel e cartão, ou embalagens compostas por vários tipos de materiais, sempre que a face em contato com alimentos seja celulósica (BRASIL, 1999b).

Excluem-se desta Portaria embalagens e equipamentos celulósicos destinados a entrar em contato com alimentos que, necessariamente, são descascados para seu consumo (por exemplo: cítricos, nozes com cascas, coco, abacaxi, melão etc.), sempre e quando se assegure que não modifiquem as características sensoriais do alimento e não cedam substâncias prejudiciais para a saúde. A Portaria nº 177/99 também não se aplica às embalagens secundárias fabricadas com papel, cartolina e cartão, sempre que se assegure que não entram em contato direto com alimentos (BRASIL, 1999b).

A Portaria nº 177/99 estabelece uma lista positiva de matérias-primas fibrosas e aditivos que podem ser empregados na fabricação de materiais celulósicos destinados ao contato com alimentos (BRASIL, 1999b). Em casos específicos também podem ser utilizadas as substâncias relacionadas nas "Listas Positivas de Polímeros e Resinas e de Aditivos para Embalagens e Equipamentos Plásticos em Contato com Alimentos" (Anexo II da Resolução nº 105/99 e Resolução RDC nº 17/08). As substâncias utilizadas na formulação do material devem cumprir, com as restrições de uso, os limites de migração e os limites de composição especificamente indicados nos regulamentos técnicos correspondentes (BRASIL, 1999a; BRASIL, 1999b; BRASIL, 2008).

Os limites de migração total e específica para o material acabado estabelecidos pela Portaria nº 177/99 são:

- Migração total: limite máximo 8 mg/dm^2;
- Bifenilas policloradas: limite máximo de 5 mg/kg;
- Pentaclorofenol: limite máximo de 0,1 mg/kg;
- Não deve ser detectada a migração de branqueadores fluorescentes;
- Não deve transferir constituintes antimicrobianos aos alimentos;
- Deve seguir padrão microbiológico compatível com o alimento;
- Migração específica dos elementos cádmio (Cd), arsênio (As), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) para todas as formulações de materiais celulósicos;

- Migração específica dos elementos antimônio (Sb), boro (B), bário (Ba), cobre (Cu), estanho (Sn), flúor (F), prata (Ag) e zinco (Zn), apenas para materiais celulósicos que contenham estes elementos na sua composição.

A Portaria nº 177/99 utilizava-se da classificação de alimentos e simulantes de alimentos recomendados pela Resolução nº 105/99 para a realização dos ensaios de migração total, porém com condições de tempo e temperatura diferentes. Com a publicação da Resolução RDC nº 51/10, a classificação de alimentos e respectivos simulantes adotados para os ensaios de migração total permaneceram os mesmos, conforme descrito na Tabela 7 (BRASIL, 1999b; BRASIL, 2010b). A Tabela 8 apresenta as condições de tempo e temperatura empregados nos ensaios de migração total de materiais celulósicos (BRASIL, 1999b).

Tabela 7: Classificação de alimentos e respectivos simulantes adotados para os ensaios de migração total em material celulósico.

Tipo de Alimento	Simulante
Tipo I: Aquosos não ácidos (pH > 4,5)	A: Água destilada
Tipo II: Aquosos ácidos (pH ≤ 4,5)	B: Solução de ácido acético a 3% (m/v) em água destilada
Tipo IIIa: Aquosos não ácidos contendo óleo ou gordura	A: Água destilada e D: n-heptano
Tipo IIIb: Aquosos ácidos contendo óleo ou gordura	B: Solução de ácido acético em água destilada a 3% (m/v) e D: n-heptano.
Tipo IV: Oleosos ou gordurosos	D: n-heptano
Tipo V: Alcoólicos com conteúdo alcoólico superior a 5% (v/v)	C: Solução de etanol a 15 % (v/v) em água destilada(1)
Tipo VI: Sólidos secos ou de ação extrativa pouco significativa	Não é exigido ensaio de migração. Ocasionalmente pode ser exigido ensaio de migração total com os simulantes água destilada, solução de ácido acético em água destilada a 3% (m/v) ou n-heptano, dependendo do tipo de alimento.

Fonte: Brasil (1999b); Brasil (2010b).

Tabela 8: Condições de tempo e temperatura empregados nos ensaios de migração total de materiais celulósicos.

Condições de contato no uso real	Condições de Ensaio			
	Simulante A	Simulante B	Simulante C	Simulante D
	Água Destilada	Ácido Acético 3%	Etanol 15%	n-Heptano
A) Conservação (t > 24 h)				
T < 5 ºC	20 ºC/48 h	20 ºC/48 h	20 ºC/48 h	20 ºC/30 min
5 ºC < T < 40 ºC	50 ºC/24 h	50 ºC/24 h	50 ºC/24 h	20 ºC/30 min
B) Contato momentâneo (2 h ≤ t < 24 h) a temperatura ambiente	40 ºC/24 h	40 ºC/24 h	40 ºC/24h	20 ºC/15 min
C) Contato momentâneo (t < 2 horas) a temperatura ambiente	40 ºC/2 h	40 ºC/2 h	40 ºC/2 h	20 ºC/15 min
D) Elaboração				
40 ºC < T ≤ 80 ºC	65 ºC/2 h	65 ºC/2 h	65 ºC/2 h	40 ºC/30 min
80 ºC < T ≤ 100 ºC	100 ºC/30 min	100 ºC/30 min	---	50 ºC/30 min
T > 100 ºC	120 ºC/2 h	120 ºC/2 h	---	65 ºC/2 h
D) Elaboração Envasado a quente T > 70 ºC	Encher a temperatura de ebulição e esfriar a 38 ºC	Encher a temperatura de ebulição e esfriar a 38 ºC	---	50 ºC/15 min

min: minutos; h: horas.

Fonte: Brasil (1999b).

Os metais e outros elementos citados anteriormente não devem migrar em quantidades superiores aos limites estabelecidos nos regulamento técnicos correspondentes aos contaminantes em alimentos, apresentados na Tabela 9, com base na Resolução nº 55871/65 e na Resolução nº 685/98 (BRASIL, 1965; BRASIL, 1998).

Tabela 9: Limites máximos de metais em alimentos, em vigor atualmente no Brasil, em µg/kg (ppb)(1).

Elemento	Contaminantes em Alimentos (µg/kg)(1)
Sb	200 - 2.000
As	100 - 1.000
Cd	200 - 1.000
Zn	5.000 - 50.000
Cu	100 - 30.000
Cr	100
Sn	150.000 - 250.000
Hg	10 - 1000
Pb	50 - 2.000

(1) Varia em função do tipo de alimento

Fonte: Brasil (1965); Brasil (1998).

A Portaria nº 177/99 referencia que as metodologias analíticas para a determinação destes elementos estão descritas no Regulamento Técnico correspondente a Ensaios de Migração Específica de Embalagens e Equipamentos Celulósicos em Contato com Alimentos, porém estas metodologias não estão contempladas na referida Portaria.

5. Legislações internacionais de materiais para contato direto com alimentos

5.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a *Food and Drug Administration* (FDA) é o órgão regulador de alimentos, embalagens e materiais destinados ao contato direto com alimentos. Os requisitos definidos pela FDA são publicados no *Code of Federal Regulation* (CFR), no Título 21 – *Food and Drugs* (Alimentos e Medicamentos). De maneira geral, os requisitos de materiais e insumos são divididos em três categorias: boas práticas de fabricação, conformidade de matérias-primas e comprovação do potencial de migração. A legislação americana sobre segurança de alimentos diferencia dois tipos de aditivos para alimentos: os intencionais, ou seja, aqueles que são adicionados ao alimento com um fim específico (antioxidantes, conservantes etc.) e os indiretos, que são substâncias que passam a fazer parte do alimento, devido à migração a partir de materiais que entram em contato com o produto durante a sua fabricação, acondicionamento, transporte e/ou preparo (GARCIA, 2007; LEMOS; ITO, 2008).

Os requisitos de boas práticas de fabricação específicos para materiais para contato direto com alimentos são definidos na Parte 174 - Aditivos indiretos de alimentos: Geral - do Título 21 da FDA, na Seção 174.5 - Requisitos gerais aplicáveis a aditivos alimentares.

Os requisitos para materiais poliméricos são apresentados na Parte 177 - Aditivos alimentares indiretos: polímeros, também do CFR, Título 21 da FDA. Esta parte apresenta diferentes listas de polímeros, resinas e componentes (antioxidantes, estabilizantes, conservantes etc.) que podem ser empregadas na fabricação de materiais poliméricos destinados ao contato com alimentos, com seus respectivos requisitos de pureza de matérias-primas, restrições de uso, limites de composição, limites de migração específica e limites e métodos para a realização de extraíveis de resinas poliméricas.

Os materiais celulósicos são tratados na Parte 176 - Aditivos indiretos: componentes de papel e cartão - do CFR, Título 21 da FDA, que apresenta componentes que podem ser empregados na fabricação de papel e cartão destinados ao contato com alimentos, bem como requisitos de pureza de matérias-primas, restrições de uso, limites de composição, limites de migração específica e limites e métodos para a realização de extraíveis de materiais celulósicos acabados (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2011).

5.2 Comunidade europeia

Na Europa as legislações relativas a materiais de embalagens são publicadas pela Comissão Europeia na forma de Diretivas e Regulamentos. A *European Food Safety Authority* - EFSA é o órgão responsável por estabelecer a orientação científica sobre todas as questões que exercem impacto direto ou indireto na segurança dos alimentos.

Em 14 de janeiro de 2011 foi publicado o Regulamento (EU) nº 10/2011 da Comissão Europeia, relativo aos materiais e objetos de materiais poliméricos destinados a entrar em contato com alimentos. Este regulamento consilidou a Diretiva 2002/72/EC e suas atualizações relativas aos materiais poliméricos a partir de 01 de maio de 2011 e substituirá a partir de 01 de janeiro de 2013 as Diretivas Europeias refererentes às regras básicas para a escolha dos simulantes e da realização dos ensaios de migração total e migrações específicas. O Regulamento (EU) nº 10/2011 trata das boas práticas de fabricação, apresenta Listas Positivas de monômeros, resinas e aditivos que podem ser empregados na formulação de materiais plásticos para contato direto com alimentos, com suas respectivas restrições de uso e de composição, limites de migração total e migrações específicas. Prevê também a necessidade de avaliações específicas para materiais fabricados por nanomateriais, de embalagens ativas e inteligentes, dentre outros (COMMISSION REGULATION, 2011).

A União Europeia não possui regulamento específico para materiais celulósicos. Apesar de a Alemanha pertencer à União Europeia, dispõe de uma legislação específica sobre materiais celulósicos para contato com alimentos, que é muito utilizada como referência. A legislação nacional é a Recommendation XXXVI – Paper and Board for Food Contact do Instituto Federal para Avaliação de Riscos (Federal Institute for Risk Assessment – BfR), que possui as seguintes legislações: Recommendation XXXVI. Paper and board for food contact; Recommendation XXXVI/1. Cooking Papers, Hot Filter Papers and Filter Layers e Recommendation XXXVI/2. Paper and Paperboard for Baking Purposes (LEMOS; ITO, 2008; FEDERAL INSTITUTE FOR RISK ASSESSMENT, 2011).

Outra legislação utilizada na Europa é a Resolução AP (2002)1 - Paper and board materials and articles intended to come into contact with foodstuffs – Version 3 - 11.12.2007, publicada pelo Public Health Committee do Partial Agreement in the Social and Public Health Field do Conselho Europeu, que apresenta requisitos para materiais celulósicos virgens, bem como um documento específico para materiais celulósicos reciclados. Este regulamento é constituído pelos seguintes documentos:

- Documento técnico nº 1 - Lista de substâncias a serem usadas na fabricação de materiais e artigos de papel e cartão destinados ao contato com alimentos (versão 2).
- Documento técnico nº 2 - Guia das condições de testes e métodos de análise para materiais e artigos de papel e cartão destinados ao contato com alimentos (versão 3).
- Documento técnico nº 3 - Guia de materiais e artigos de papel e cartão destinados ao contato com alimentos fabricados com fibras recicladas (versão 2).
- Documento técnico nº 4 - Guia de Boas Práticas de Fabricação para materiais e artigos de papel e cartão destinados ao contato com alimentos (preparado pelo CEPI - *Confederation of European Paper Industries*).
- Documento técnico nº 5 - Guia Prático para usuários da ResAP (2002)1 (versão 2) (COUNCIL OF EUROPE, 2002; LEMOS; ITO, 2008).

De forma geral, esses documentos estabelecem que materiais celulósicos não devem ceder aos alimentos nenhum tipo de contaminante que venha causar perigo à saúde humana ou provocar qualquer tipo de alteração sensorial inaceitável do alimento. Além disso, recomendam que os materiais celulósicos devem ser produzidos de acordo com boas práticas de fabricação, ter a qualidade microbiológica garantida para que não sejam um veículo de contaminação e não devem liberar substâncias antimicrobianas para os alimentos. Estabelecem ainda limites máximos de migração específica de 0,002 mg/dm² para cádmio,

0,003 mg/dm² para chumbo, 0,002 mg/dm² para mercúrio e 0,15 mg/kg para pentaclorofenol (SARON, 2009).

6. Tintas de impressão

No Brasil, tintas de impressão empregadas em embalagens para contato direto com alimentos, por exemplo, impressões internas promocionais, ou externas que tenham contato com a boca, são tratadas como materiais poliméricos para contato direto, devendo atender aos requisitos da Resolução nº 105/99 e de suas atualizações (BRASIL, 1999; BRASIL, 2008; BRASIL, 2010b; BRASIL, 2010c).

Atualmente, não existem legislações ou métodos específicos para a avaliação de tintas de impressão para contato indireto com alimentos, por exemplo, na formação de bobinas plásticas ou poliméricas impressas (na etapa anterior à de formação das embalagens). Nesse caso, o efeito do contato pode levar à transferência de contaminantes da tinta da impressão para a face interna do polímero ou do material celulósico, causado por decalque ou "set-off". Assim, visando o controle desse possível risco de contaminação, as legislações internacionais recentes estabelecem critérios para tintas e vernizes destinados ao contato indireto com alimentos, estabelecendo listas de matérias-primas e pigmentos previamente aprovados com respectivos controles de pureza e controle pelas migrações específicas de metais (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2006; COUNCIL OF EUROPE, 2007).

7. O uso de material reciclado para embalagens com contato direto com alimentos

O emprego de materiais reciclados para uso em embalagens para contato direto com alimentos requer cuidados, pois estes materiais podem apresentar contaminações provenientes do seu processo de fabricação de primeiro uso, como substâncias não aprovadas para contato com alimentos ou insumos como ceras, parafinas, plásticos laminados, adesivos, tintas de impressão, entre outros (BARNES et al., 2007). Além desses fatores, os materiais também estão passíveis a outras fontes de contaminação, como o uso indevido pelo consumidor na estocagem de substâncias tóxicas ou pelo contato com produtos químicos (inseticidas, raticidas etc.) durante sua estocagem antes da reciclagem, que, na melhor situação, são provenientes de coleta seletiva, mas também podem vir de outros sistemas de coleta (GARCIA, 1998).

As legislações nacionais e internacionais referentes aos materiais reciclados para uso em contato com alimentos são unânimes quanto ao princípio de que a embalagem não deve ser veículo de contaminação química para os alimentos. Todas são baseadas na avaliação da eficiência de descontaminação dos materiais pelos processos de reciclagem, os quais geralmente são submetidos à aprovação por agências de saúde dos países específicos e liberados para uso com aplicações específicas de contato com alimentos (BARNES et al., 2007).

Assim, a utilização de materiais reciclados pós-consumo para contato direto com alimentos envolve a definição dos riscos associados ao consumidor pela contaminação da embalagem com resíduos que poderiam vir a migrar para os produtos acondicionados. Há, portanto, um conflito entre requisitos opostos: a exigência por reciclar cada vez mais e a necessidade de garantir que o material reutilizado seja seguro para contato com alimentos (GARCIA, 1998).

8. Conclusão

Apesar de existirem diferenças entre as legislações que regulamentam o uso de materiais destinados ao contato direto com alimentos, tanto as nacionais como as internacionais são claras no princípio de que a embalagem não deve ser veículo de contaminação química para os alimentos. De forma geral, essas legislações estão baseadas nos princípios de boas práticas de fabricação, na restrição ao uso de substâncias potencialmente tóxicas na composição dos materiais e no controle dos potenciais de migração. No que se refere às tintas de impressão e aos materiais reciclados, estes merecem especial atenção no seu uso, uma vez que podem apresentar risco potencial de contaminação aos alimentos.

Referências

BARNES, K. A.; SINCLAIR, C. R.; WATSON, D. H. (Ed.). **Chemical migration and food contact materials.** Boca Raton: FL: CRC Press, 2007. 464 p.

BORDIN, M. R. Embalagens para frutas e hortaliças. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 10, n. 2, 1998. 4 p. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/informativo/v10n2/v10n2_artigo4.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto n° 55.871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto n° 691, de 13 de março de 1962. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Poder Executivo, Brasília, DF, 09 abr. 1965. 8 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 105, de 19 de maio de 1999. Aprova o regulamento técnico sobre disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 95, 20 maio 1999a. Seção 1, p.21-34.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 177, de 04 de março de 1999. Aprova o regulamento técnico sobre disposições gerais para embalagens e equipamentos celulósicos em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 44-E, 08 mar. 1999b. Seção 1, p. 9-14.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Aprova o regulamento técnico - Critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 114-E, 13 jun. 2001. Seção 1, p. 60-61.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução RDC nº 17, de 17 de março de 2008. Dispõe sobre regulamento técnico sobre lista positiva de aditivos para materiais plásticos destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 53, 18 mar. 2008. Seção 1, p. 43-51.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Consulta Pública nº 114, de 17 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 22 dez. 2010a. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/1ca0ac0045235d2fb9acbfb34d2284eb/CP+N%25C2%25BA+114+GGALI.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 27 jun. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n° 127, de 04 de outubro de 1991. Aprova a norma de embalagens para acondicionamento, manuseio, transporte, armazenagem e comercialização de produtos hortícolas destinados ao mercado atacadista interno. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 09 out. 1991. Seção 1, p. 21971-21973.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução Normativa Conjunta n° 9, de 12 de novembro de 2002. Embalagens de produtos hortícolas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 221, 14 nov. 2002. Seção 1, p. 30.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 201, de 01 de agosto de 2006. Revoga Portarias deste Ministério. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 147, 02 ago. 2006. Seção 1, p. 7.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998. Aprova o regulamento técnico sobre princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 183, 24 set. 1998. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010. Dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 244, 22 dez. 2010b. Seção 1, p. 75-79.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 52, de 26 de novembro de 2010. Dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados a estar em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, n. 244, 22 dez. 2010c. Seção 1, p. 79-80.

COMMISSION REGULATION. (EU) n. 10/2011 of 14 January 2011. Relating to plastic materials and articles intended to come into contact with food. **Official Journal of the European Union.** p. 1-89. Disponível em: <http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/legisl_list_en.htm>. Acesso em: 26 jun. 2011.

COUNCIL OF EUROPE. Public Health Committe. **Packaging inks applied to the non-food contact surface of food packaging.** v. 2, 2007. 96 p. Disponível em: <http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/soc-sp/public_health/food_contact/PS%20E%20Inks%20-%20Version%202.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2011.

COUNCIL OF EUROPE. Public Health Committe. Resolution AP (2002)1 **Paper and board materials and articles intended to come into contact with foodstuffs.** 2002. 178 p. Disponível em: <http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/soc-sp/public_health/food_contact/RESOLUTION%20AP-2002-1%20PAPER%20AND%20BOARD.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2011.

FEDERAL INSTITUTE FOR RISK ASSESSMENT. **Paper and board for food contact.** 2011. 15 p. Disponível em: <http://kse.zadi.de/kse/faces/DBEmpfehlung_en.jsp?filter=clear>. Acesso em: 26 jul. 2011.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Lead in Candy Likely To Be Consumed by Small Children.** 2006. Disponível em: http://www.fda.gov/Food/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/GuidanceDocuments/ChemicalContaminantsandPesticides/ucm077904.htm. Acesso em: 25 jul.,2011.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Code of Federal Regulations.** 2011. Disponível em: ?http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm>. Acesso em: 25 jul. 2011.

GARCIA, E. E. C. A reciclagem dos plásticos e o contato com alimentos. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 10, n. 1, p. 8-11, 1998. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/informativo/v10n1/v10n1_artigo4.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2010.

GARCIA, E. E. C. Aprovação de materiais para contato com alimentos nos estados unidos. **Informativo CETEA,** Campinas, v.19, n.1, p. 1- 9, 2007. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/informativo/v19n1/v19n1_artigo1.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2011.

LEMOS, A. B.; ITO, D. Regulamentos de materiais celulósicos para contato com alimentos. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 20, n. 2, p. 1-8, 2008. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/informativo/v20n2/v20n2_artigo2.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2011.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. (Ed.). E**mbalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 256 p.

PADULA, M.; ITO, D. Embalagem e segurança dos alimentos. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 18, n. 2, p. 1-6, 2006. Disponível em: <http://cetea.ital.sp.gov.br/informativo/v18n2/v18n2_artigo2.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2011.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Embalagens para vegetais minimamente processados. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 9, n. 5, p.1-4, 1997.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; MORAES, B. B. Embalagens ativas e inteligentes para frutas e hortaliças. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 21, n. 1, p. 1-7, 2009. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/informativo/v21n1/v21n1_artigo1.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2011.

SARON, E. O uso de materiais celulósicos reciclados para embalagens de alimentos. **Informativo CETEA,** Campinas, v. 21, n. 3, p. 1-5, 2009. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/informativo/v21n3/v21n3_artigo2.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2011.

Embrapa
Instrumentação

Patrocínio:

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA