

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Reducing losses in the fruit and vegetable chains by the analysis of shelf life dynamics

Wigberto Antonio Spagnol^{1*}, Vivaldo Silveira Junior¹, Ericsem Pereira¹, Nelson Guimarães Filho²

¹ Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas/SP - Brasil

² Pleiades S.C.O. Digitais Ltda., Campinas/SP - Brasil

*Corresponding Author

Wigberto Antonio Spagnol, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Rua Monteiro Lobato, 80, Caixa Postal: 6121, CEP: 13083-862, Campinas/SP - Brasil, e-mail: waspagnol@gmail.com

Cite as: Reducing losses in the fruit and vegetable chains by the analysis of shelf life dynamics. *Braz. J. Food Technol.*, v. 21, e2016070, 2018.

Received: June 27, 2016; Accepted: Nov. 08, 2017

Resumo

A estimativa do crescimento populacional mundial de nove bilhões de pessoas, em 2050, estabelece um grande desafio para os próximos anos, considerando os problemas atuais de insegurança alimentar e o fornecimento de alimentos saudáveis, num mundo, predominantemente, de pessoas vivendo em regiões urbanas. A importância da dieta na saúde é indiscutível, sendo que, a cada dia que passa, o consumidor está mais consciente de que a saúde está diretamente relacionada a uma dieta balanceada e segura. As tecnologias aplicadas na pós-colheita de frutas e hortaliças que continuam com seu metabolismo ativo buscam manter a qualidade através dos parâmetros aparência, textura, sabor, valor nutritivo e segurança alimentar, bem como reduzir perdas qualitativas e quantitativas entre a colheita e o consumo. A combinação de tecnologias, como resfriamento rápido, refrigeração e utilização de embalagens com atmosferas modificadas ativas e passivas, aplicadas na pós-colheita, precisa estar aliada a uma adequada gestão de temperatura para cada produto, em toda a cadeia de distribuição. Assim, conforme o histórico de temperatura desde a colheita até os locais de vendas no varejo, a estimativa da vida útil torna-se uma variável altamente dinâmica. Tecnologias de RFID (*Radio Frequency Identification* - Identificação por Rádio Frequência) integradas a sensores podem revolucionar o transporte e o manuseio de produtos perecíveis, por meio de leituras precisas e contínuas das condições do ambiente de conservação durante a logística, interpretadas por modelos matemáticos que estimam a vida útil restante. Esta revisão descreve como a tecnologia, por meio de *chips* RFID integrados a sensores e associados ao uso de modelamentos matemáticos, pode ser incorporada na gestão de Centros de Distribuição, alterando a ênfase, a partir do clássico FIFO (*First In, First Out* - Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair), para uma estratégia de FEFO (*First Expired, First Out* - Primeiro Expirado, Primeiro a Sair). Desta maneira, com o melhor conhecimento da vida útil dos produtos, espera-se menor perda, além de melhor conservação dos produtos.

Palavras-chave: RFID; Vida útil; FLV; Perdas pós-colheita; Sensores; Rastreabilidade.

Abstract

The estimated world population growth of 9 billion people by 2050 provides a major challenge for the next few years, considering the current problems regarding the lack of food safety and provision of healthy food in a world in which most people live in urban areas. The importance of diet in health is unquestionable, and as time goes by, so the consumer is becoming more aware that health is directly related to a balanced and safe diet. Post-harvest technologies for fruits and vegetables, whose metabolisms are still active, have the goal of maintaining the quality by way of the appearance, texture, taste, nutritional value and food safety, and also to reduce qualitative and quantitative losses between harvest and consumption. The combination of technologies such as rapid cooling, refrigeration, and the use of active and passive modified atmospheres applied post-harvest, must be combined with adequate temperature management for each product throughout the whole distribution chain. Thus, according to the temperature history from harvest to the retail locations, the shelf life estimate becomes a highly dynamic variable. Radio Frequency Identification (RFID) technologies with sensors, can revolutionize the



Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

transportation and handling of perishable products through accurate and continuous readings of the conditions of the conservation environment during the logistics, interpreted by mathematical models that estimate the remaining shelf life. This review describes how technology, by way of sensor-integrated RFID chips and associated with the use of mathematical modelling, can be incorporated into the management of Distribution Centres, shifting the emphasis from the classic FIFO (First In, First Out) to a FEFO (First Expired, First Out) strategy. Thus, better knowledge of the shelf life of the products may lead to reduced losses in addition to improving product conservation.

Keywords: *RFID; Shelf life; Fruits and vegetables; Post-harvest losses; Sensors; Traceability.*

1 Introdução

O consumo de frutas e hortaliças tem sido associado a uma dieta saudável no mundo inteiro, sendo que governos nacionais e organismos internacionais têm se dedicado à implementação de políticas nutricionais e campanhas educacionais, para conscientizar a população de aumentar o consumo desses produtos (BASELICE et al., 2014).

Nos países em desenvolvimento, cerca de 30 a 40% da produção é perdida nas etapas de pós-colheita, processamento e distribuição, representando um desperdício de recursos utilizados na produção, como terra, água, energia e insumos (GUSTAVSSON et al., 2011).

No Brasil, segundo Melo et al. (2013), as perdas da seção de frutas e hortaliças representam um custo alto ao setor varejista, girando em torno de 600 milhões de reais por ano, sendo que 86% das perdas de frutas e hortaliças ocorrem durante a exposição do produto para a venda, outros 9% acontecem no transporte e 5%, na armazenagem. Dados da Associação Mineira dos Supermercados (AMIS) também apontam uma perda de 750 milhões de reais em alimentos por ano, considerando supermercados e sacolões (EVANS, 2015). Segundo a ABRAS (2015), as perdas, nas redes varejistas do setor de frutas e hortaliças, são de 8,29% do faturamento líquido, sendo a maior perda entre todos os departamentos.

Frutas e hortaliças são tecidos vivos com metabolismo ativo e sujeitos a mudanças contínuas, depois da colheita (KADER, 2002). Os efeitos do calor sobre reações bioquímicas são geralmente quantificados como Q_{10} , coeficiente que indica quantas vezes aumenta a velocidade de uma reação a cada acréscimo de 10 °C na temperatura (WATSON et al., 2015). Nascimento Nunes et al. (2014) citam, como exemplo, a perda de qualidade de pequenas frutas vermelhas, as quais têm uma temperatura de conservação ideal de 0 °C, sendo que a vida útil é 3 e 9 vezes menor quando mantidas a 10 °C e 30 °C, respectivamente. É de conhecimento comum que frutas e hortaliças requerem temperatura específica, relacionada à sua conservação no armazenamento, na distribuição e durante a exposição em seu ponto de venda no varejo, a fim de proporcionar maior vida útil possível (AUNG; CHANG, 2014).

Segundo Jedermann et al. (2007), frutas e hortaliças são um grande desafio para varejistas, pois determinados

produtos expostos a condições inadequadas, por um pequeno período (a exposição a temperaturas baixas ou elevadas, ou a umidades relativas baixas ou altas), podem sofrer uma queda sensível na qualidade, suficiente para impedir a sua comercialização. De acordo com Heidmann et al. (2013), para diminuir custos da cadeia logística de alimentos perecíveis, é essencial reduzir a deterioração causada durante o transporte, sendo fundamental monitorar a temperatura e a umidade relativa.

Segundo Ruiz-Garcia e Lunadei (2011) e Jedermann et al. (2007), a temperatura é a variável das condições de conservação que tem maior impacto sobre a vida de armazenamento e segurança de frutas e hortaliças, sendo que a sua gestão eficaz é, de fato, o mais importante, além de ser o procedimento mais simples para retardar a deterioração destes produtos.

Cadeia do frio refere-se a um processo de logística de baixa temperatura, a qual utiliza a tecnologia de refrigeração, garantindo condições específicas de temperatura e umidade relativa no contêiner de transporte de frutas e hortaliças, com a finalidade de manter a qualidade dos alimentos (CARULLO et al., 2009). Considerando-se as características específicas de conservação de muitas frutas e hortaliças com curta vida útil, evitar alterações das condições de conservação destes produtos nos diferentes elos da cadeia torna-se fundamental. As variações de temperatura podem ocorrer durante armazenamento, manuseio e transporte. Estudar e analisar gradientes de temperatura dentro de câmaras refrigeradas, contêineres de caminhões ou marítimos, devem ser um dos principais aspectos de segurança da qualidade a serem implementadas pelas empresas (RUIZ-GARCIA; LUNADEI, 2011).

Melhorias na gestão de cadeias de frutas e hortaliças têm sido conseguidas através da aplicação da tecnologia de RFID integrada a sensores, além de esta ser utilizada de forma crescente para a rastreabilidade de alimentos (LAO et al., 2012). Destaca-se a sua eficiência no monitoramento das condições de conservação em cada fase da cadeia de produção e distribuição, na melhoria da eficiência dos processos e no controle da qualidade, proporcionando transparência aos agentes da cadeia, permitindo ações pró-ativas na solução de problemas e na melhoria da precisão da informação para agências governamentais, consumidores e agentes alfandegários (LAO et al., 2012; WOGNUM et al., 2011).

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

A avaliação da vida útil de frutas e hortaliças, decorrente de variações de parâmetros relevantes na perda de qualidade monitorados pelos sensores, envolve a utilização de algoritmo preditivo. A utilização de um algoritmo dinâmico, que pode levar em conta e em tempo real novas informações que afetam a vida útil de um produto, possibilita empregar a estratégia de FEFO (*First Expired, First Out* - Primeiro Expirado, Primeiro a Sair) em vez de FIFO (*First In, First Out* - Primeiro a entrar, Primeiro a Sair) (HERTOG et al., 2014). Desta maneira, a análise inteligente na distribuição de frutas e hortaliças, ao considerar a expectativa de vida útil dos produtos, pode evitar perdas desnecessárias em toda a cadeia de abastecimento, minimizando também as perdas econômicas (LANG et al., 2014). O objetivo principal deste trabalho é destacar o valor social e econômico de novas tecnologias, com foco na redução de perdas e no aumento da qualidade e da segurança de frutas e hortaliças.

2 RFID (Radio Frequency Identification): identificação por rádio frequência

A tecnologia RFID é baseada na utilização de ondas eletromagnéticas (rádio frequência) como meio para comunicar os dados de identificação de um produto. Na Figura 1, é ilustrado o funcionamento de um sistema RFID:

As informações sobre a identificação de um objeto são gravadas nas etiquetas RFID, as quais são lidas por um conjunto de antenas e leitores, sendo então transmitidas por rádio frequência. Os leitores e antenas podem estar localizados em diferentes estágios da cadeia de distribuição (docas de recebimento e expedição; pontos de controle em centros de distribuição e armazéns; pontos de controle de processos de fabricação, etc.). O gerenciamento de grande volume de informações distribuídas ao longo da cadeia de distribuição é realizado por meio de um conjunto de sistemas conhecido como *middleware*, o qual realiza a integração com os sistemas gerenciais

da empresa. Esse fluxo de informação é bidirecional, ou seja, ocorre dos sistemas gerenciais para as etiquetas (fluxo de gravação) e destas para os sistemas gerenciais (fluxo de leitura). Isso possibilita uma integração entre as informações eletrônicas e os sistemas gerenciais. Dessa forma, esse conjunto de sistemas possibilita a gestão do fluxo de informações dos objetos distribuídos ao longo da cadeia de suprimentos, o gerenciamento dos eventos relacionados a esses objetos e a atualização das informações relevantes nos sistemas gerenciais (PEDROSO et al., 2009). Basicamente, as etiquetas RFID podem ser divididas em duas categorias principais, baseadas em como elas se comunicam com o leitor e sua fonte de energia: ativa e passiva (ZOU et al., 2014). As etiquetas RFID ativas contêm uma fonte de alimentação interna (por exemplo, bateria). Assim, o tempo de vida de uma etiqueta dessa categoria é limitado pela energia armazenada. As etiquetas passivas, por outro lado, recebem a energia para sua ativação por reflexão ou por modulação decorrente do campo eletromagnético emitido pelo leitor (KUMARI et al., 2015).

Princípios de operação e bandas de frequência dominam essencialmente o desempenho e as potenciais aplicações de um sistema RFID, em termos de alcance operacional e taxa de dados, bem como do custo. As frequências de RFID variam de alguns kHz de baixa frequência (LF - *low frequency*) a banda de micro-ondas (por exemplo, 2,4 GHz), estendendo-se ainda mais para o UWB (*Ultra-wideband*). Entre estes, as etiquetas de 125 kHz (LF), 13,6 MHz (HF - *high frequency*) e 900 MHz (UHF- *ultra high frequency*) são os mais comuns para sistemas passivos (RUIZ-GARCIA, 2008).

As tecnologias passivas e ativas possuem suas vantagens e desvantagens específicas, dependendo do objetivo da aplicação. Por exemplo, as etiquetas passivas são ideais para identificação de produto, devido ao seu baixo custo, ao passo que as etiquetas ativas possuem capacidade de comunicação à longa distância e capacidades auxiliares para monitoramento remoto de

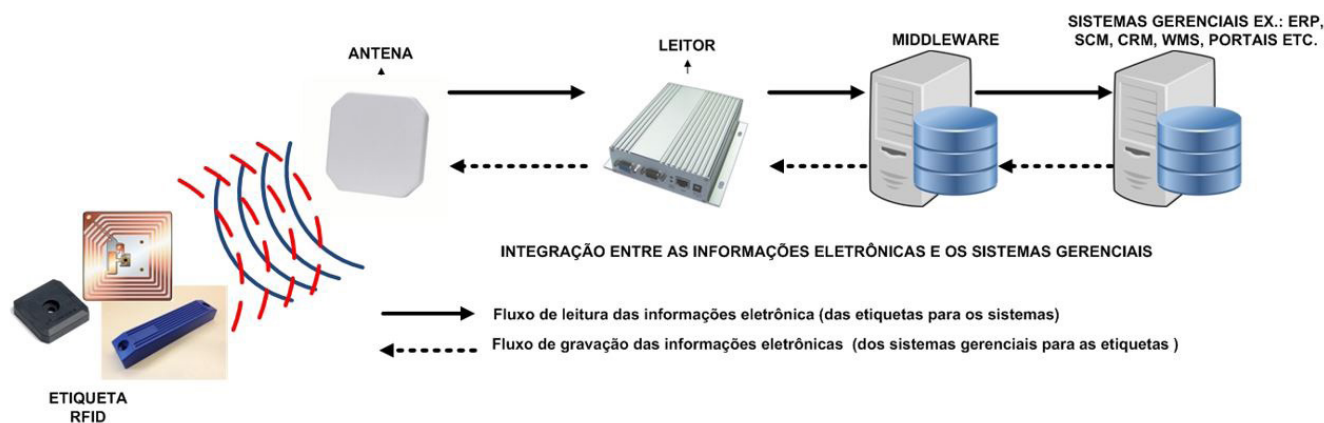


Figura 1. Funcionamento de um sistema de RFID (PEDROSO et al., 2009).

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

temperatura, umidade relativa etc. (COSTA et al., 2013). As áreas de aplicação de etiquetas RFID semipassivas compreendem, basicamente, o monitoramento das condições de conservação de alimentos que exigem a cadeia do frio (ZOU et al., 2014).

Os avanços atuais na tecnologia RFID com sensor têm proporcionado uma nova dimensão para a sua aplicação nas cadeias de alimentos, principalmente nas cadeias de alimentos perecíveis, cuja vida útil é curta (BADIA-MELIS et al., 2015). Esforços de pesquisa têm proporcionado o surgimento de etiquetas inteligentes com múltiplas funcionalidades de detecção e computação, mantendo ou reduzindo o custo quando comparado com o custo de RFID de identificação. A função de detecção por meio de sensores de temperatura, umidade relativa, concentrações de CO₂, de O₂ e de etileno (C₂H₄), fluxo de ar e vibração tem proporcionado o seu uso nas cadeias de distribuição de frutas e hortaliças, e demais alimentos perecíveis, como carnes, peixes, lácteos (ZOU et al., 2014; LLOYD et al., 2013). Um sistema de RFID integrado a sensor proporciona uma forma inovadora de aquisição de dados em tempo real e muito mais ágil para a gestão logística e de Centros de Distribuição (RUIZ-GARCIA, 2008). A tecnologia de RFID apresenta-se como uma eficiente ferramenta na aplicação da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), para a análise da segurança alimentar, proporcionando tanto o monitoramento como o controle dos processos de produção ou manuseio, considerados críticos para a garantia da segurança (LAO et al., 2012).

Amador et al. (2009) monitoraram, por meio de RFID, a temperatura de abacaxis exportados da Costa Rica até um Centro de Distribuição nos EUA. Os resultados mostraram que a precisão de leitura da temperatura pelas etiquetas RFID com sensor foram análogas as de *data logger*, mas apresentaram maior eficiência, com a rápida leitura e maior precisão das condições do ambiente refrigerado. Jedermann et al. (2009) concluíram que etiquetas semipassivas de RFID podem ser usadas para monitorar a temperatura de alimentos refrigerados, identificar áreas problemáticas e antecipar a solução dos problemas com a emissão de alarmes, sendo boas ferramentas com adequado custo-benefício. Mainetti et al. (2013) utilizaram tecnologia de RFID e NFC (*Near Field Communication*) para a rastreabilidade e o monitoramento de cadeia de abastecimento de hortaliças minimamente processadas, desde a produção até a gôndola do supermercado, nas operações de uma empresa de varejo, na Itália. Vários trabalhos publicados sobre a aplicação de RFID na cadeia de distribuição de alimentos perecíveis enfocam a melhoria no controle da qualidade e na eficiência operacional (GRUNOW; PIRAMUTHU, 2013). Chen et al. (2014) desenvolveram, com êxito, um sistema de monitoramento da temperatura durante a distribuição de alimentos, por

meio de RFID passivo integrado a sensor de temperatura, em substituição a RFID semipassivo, com a finalidade de redução de custos. Abad et al. (2009) analisaram a utilização de uma etiqueta inteligente RFID, incluindo capacidades de detecção de temperatura e umidade relativa, para fins de rastreabilidade alimentar e monitoramento ao longo de uma cadeia logística intercontinental de peixes frescos. Verificaram importantes vantagens, destacando a integração dos dados de rastreabilidade em uma plataforma *on-line* e a leitura das condições de conservação dos peixes a qualquer momento da cadeia logística, sem abrir as caixas de poliestireno contendo os peixes e as etiquetas.

2.1 Qualidade e fatores de conservação

Desde a colheita, iniciam-se os desafios dos produtores de frutas e hortaliças, que procuram entregar produtos frescos e de alta qualidade para o mercado. Práticas de pós-colheita adequadas para um determinado produto servem para estabelecer cadeias de frio que mantêm temperaturas ótimas, umidade relativa e desaceleração das taxas de respiração e produção de etileno, utilizando embalagens apropriadas e seguindo protocolos de segurança e saneamento (WATSON et al., 2015). É importante ter a consciência de que a perda de qualidade é acumulativa, ou seja, cada incidente no manuseio errado dos produtos reduz a qualidade final ao consumidor (SARGENT et al., 2007).

2.2 Temperatura

Na pós-colheita de frutas e hortaliças, a respiração é o principal processo a ser controlado. Note-se que a respiração é decorrente de seu metabolismo ativo, sendo dependente das características específicas de cada produto e responsável pelas variações indesejáveis de qualidade (KADER, 2002).

Em geral, a vida útil de armazenamento de frutas e hortaliças varia inversamente com a taxa de respiração. Isso ocorre porque a respiração fornece compostos que determinam a taxa de processos metabólicos diretamente relacionados aos parâmetros de qualidade, como firmeza, teor de açúcar, aroma e sabor (SALTVEIT, 2016). As frutas e hortaliças com taxas mais altas de respiração (brócolis, alface, ervilhas, espinafre e milho doce) tendem a ter uma vida útil mais curta do que aquelas com taxas mais baixas (maçãs, limões, cebolas e batatas) (KAYS, 1991). A temperatura tem um efeito muito grande sobre as taxas de reações biológicas, conforme indica a regra de Van't Hoff, segundo a qual a velocidade de uma reação biológica aumenta de 2 a 3 vezes para cada aumento de 10 °C na temperatura (SALTVEIT, 2016). Um valor chamado de coeficiente de temperatura – Q₁₀ – é utilizado para caracterizar as taxas de respiração de frutas e hortaliças, sendo uma medida das mudanças ou das taxas de reações, para

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

um sistema biológico, como resultado de um aumento de temperatura de 10 °C (NASCIMENTO NUNES et al., 2014). Na maioria das aplicações pós-colheita, o valor de Q_{10} é frequentemente utilizado como um método de avaliação para prever o efeito de um aumento de temperatura nas taxas de respiração e, inversamente, na vida útil pós-colheita. Dentro de uma faixa de temperatura de 5 °C a 25 °C, o valor de Q_{10} , para a maioria das culturas, será em torno de 2,0 a 2,5. Portanto, se Q_{10} é de 2,0 a 2,5 para cada 10 °C de aumento da temperatura, a taxa de respiração aumentará de um fator de 2,0 a 2,5, e a vida útil esperada será 50% a 60% menor (WATSON et al., 2015).

Desta maneira, uma maior ênfase para o controle da qualidade de frutas e hortaliças é colocada no controle da temperatura, seguido da umidade relativa e dos níveis de oxigênio, dióxido de carbono e etileno (ADASKAVEG et al., 2002).

Frutas e hortaliças, tanto na forma intacta quanto minimamente processada, estão sujeitas à ocorrência de diversos danos fisiológicos, que podem ser causados tanto pela exposição a extremos de temperatura (exemplo: dano pelo frio) quanto pelo armazenamento em atmosferas inadequadas, dentre outros fatores (BRECHT et al., 2007).

2.3 Umidade relativa

A perda de água também é uma das principais causas de deterioração que reduzem a comercialização de frutas e hortaliças (RUIZ-GARCIA et al., 2010). Esta perda de água tem um efeito econômico imediato, na medida em que reduz o peso vendável. De acordo com Holcroft (2015), o ponto em que a perda de água afeta a qualidade varia para diferentes frutas e hortaliças.

Por exemplo, hortaliças de folhas demonstram em sua aparência murchamento após cerca de 3% a 5% de perda de água, enquanto que nectarinas demonstram sinal de murchamento após a perda de aproximadamente 19%, considerando-se o teor de água inicial na colheita (HOLCROFT, 2015). As condições de colheita são críticas para a perda de massa de frutas e hortaliças (CANTWELL, 2015). O processo de perda de água pelas frutas e hortaliças ocorre principalmente por transpiração, que inclui o transporte de água pelas estruturas anatômicas dos tecidos vivos (lenticelas, estômatos, cutículas, pedúnculos e regiões de inserção do pedúnculo ao fruto) até a superfície, possibilitando sua evaporação para o ambiente, realizado por meio de convecção (KADER, 2002; HOLCROFT, 2015). Estes fatores intrínsecos são quantificados pelo coeficiente de transpiração ou valor de k (SASTRY, 1985; HOLCROFT, 2015). A maioria das frutas e hortaliças possui um teor de água muito elevado (80% a 95%) no momento da colheita, e mesmo alguns produtos com menor umidade, tais como banana, batata ou abacate, contêm mais de 70% de água (HOLCROFT, 2015).

É possível reduzir este processo de transferência de massa pelo aumento da umidade relativa com o abaixamento da temperatura do ar, minimizando a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura da fruta, reduzindo o déficit de pressão de vapor e, portanto, a perda de água (KADER, 2002; RUIZ-GARCIA et al., 2010).

Déficit de Pressão de Vapor (DPV) é um termo que descreve a força motriz para a perda de água do produto para o ambiente ao seu redor, sendo que o DPV aumenta em temperaturas mais altas, sendo decorrente da diminuição da umidade relativa. Para a determinação do DPV na cadeia de distribuição de frutas e hortaliças, é utilizada a psicrometria, que estuda as propriedades termodinâmicas do ar úmido (RUIZ-GARCIA et al., 2008).

Desta maneira, o monitoramento com sensores, juntamente com o uso das equações psicrométricas, possibilita avaliar de forma rápida e em tempo real as mudanças das condições de umidade relativa e estimar a perda de água e detectar a condensação de água na superfície dos produtos, a qual pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos de deterioração. Este problema é crítico na conservação de uvas frescas, em que a elevada umidade relativa e a água livre favorecem o crescimento de mofo cinzento (*Botrytis cinerea*), enquanto a baixa umidade relativa causa a secagem e o escurecimento da ráquis, afetando seu valor comercial (NGCOBO et al., 2012).

3 Vida útil dinâmica

Os atributos de frutas e hortaliças (aparência, textura, sabor e valor nutritivo) são critérios tradicionais de qualidade, mas cada vez mais a segurança (química, toxicológica e microbiológica) e a rastreabilidade são importantes para todos os gestores, ao longo da cadeia logística, desde o produtor até os consumidores (MCMURRAY et al., 2013).

O termo 'vida útil' é um valor dinâmico relacionado com a real qualidade e o histórico das condições ambientes às quais o produto foi submetido desde a sua colheita. A vida útil refere-se ao intervalo de tempo no qual o produto pode ser armazenado a uma determinada temperatura de referência até que não seja aceito para consumo ou não atenda às exigências de qualidade de consumidores durante a sua venda ou o consumidor considerar impróprio para consumo em casa (HERTOG et al., 2014). A não aceitação para consumo também pode ser determinada pelos agentes da cadeia de distribuição e pode ser controversa. O limite de aceitação da qualidade de um produto depende do mercado consumidor, o qual pode ser fundamentado em propriedades físicas ou bioquímicas, tais como a cor ou a perda de clorofila, a firmeza, o crescimento de bactérias ou o teor nutricional, ou este pode ser definido a partir de uma visão do consumidor, fundamentado na aparência, na textura e no sabor (JEDERMANN et al., 2014a).

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

O objetivo de um modelo de vida útil dinâmico é estimar a validade remanescente do produto, fundamentado na qualidade aceita pelo mercado consumidor, possibilitando a tomada de decisões seguras para a sua logística (HERTOG et al., 2014). Dependendo do produto, a vida útil poderá ser limitada pelo crescimento microbiológico ou por reações enzimáticas e bioquímicas, as quais são todas governadas pela temperatura (NASCIMENTO NUNES et al., 2014). Controlar a vida útil destes produtos perecíveis ao longo da cadeia logística requer um foco em termos de tempo e temperatura (AUNG; CHANG, 2014). Modelos que estimam a deterioração por meio das características físicas, de processos químicos e biológicos são frequentemente descritos por uma cinética simples ou envolvendo vários fatores (BIN et al., 2011). Uma abordagem considerando um único fator de qualidade pode ser usada para estimar a vida útil de frutas e hortaliças, mas somente dentro de um cenário pós-colheita bem definido, no qual o fator que está sendo monitorado é realmente limitador (TIJSKENS; POLDERDIJK, 1996). Labuza (1982) explica que a perda de qualidade, para a maioria dos alimentos, pode ser representada pela taxa de mudança de uma propriedade genérica, em função do tempo. Esta propriedade genérica pode ser interpretada como sendo a limitante da vida útil de um produto. Em se tratando de frutas e hortaliças, cada produto tem propriedades particulares que refletem as alterações de qualidade (CASTELLANOS; HERRERA, 2015). Exemplo de sua aplicação é o estudo da alteração, em características sensoriais e nutricionais, de melões minimamente processados (AMODIO et al., 2013). Em outro estudo foi avaliada a cinética de degradação da qualidade de folhas de rúcula fresca (AMODIO et al., 2015). Uma relação proposta por Arrhenius tem sido utilizada para descrever o efeito da temperatura sobre a taxa de muitas reações relacionadas à queda de qualidade de alimentos (TIJSKENS; POLDERDIJK, 1996). Alguns exemplos de aplicações são os estudos com degradação da cor verde em brócolis (DUARTE-SIERRA et al., 2016), deterioração por fungos em morangos (HERTOG et al., 1999), alteração de coloração verde em pepinos (SCHOUTEN et al., 2002) ou taxas respiratórias de maçãs, chicórias e tomates (HERTOG et al., 1998). Um modelo de estimativa da vida útil de morangos embalados em atmosfera modificada foi parametrizado em função das concentrações de O_2 e CO_2 e da temperatura, confirmando ser um modelo aplicável (HERTOG et al., 1999). Como mencionado anteriormente, o fluxo de água através da superfície da fruta para o meio ambiente é proporcional à diferença de pressão de vapor entre a atmosfera interna do fruto e a do meio ambiente, comportamento que obedece à Lei de Fick (MAHAJAN et al., 2008). O modelo desenvolvido por estes autores mostrou-se válido para descrever a transpiração em cogumelos, estimando adequadamente a perda de massa. Um modelo biológico foi utilizado para prever a vida verde de bananas pós-colheita, desenvolvendo

modelos distintos, em função da temperatura, umidade e atmosfera (JEDERMANN et al., 2014b). Estes autores verificaram que tais fatores têm um importante impacto no período de vida verde dos frutos colhidos, sendo que o estado fisiológico das frutas, no início do transporte, deve ser também levado em consideração para uma melhor previsão da vida verde. Modelos mais complexos podem fornecer maior precisão, mas, em geral, estes contêm mais parâmetros que precisam ser avaliados experimentalmente.

3.1 FIFO (*First In, First Out*) e FEFO (*First Expired, First Out*)

As estratégias comuns de gestão de estoques de frutas e hortaliças nas diferentes etapas das cadeias de abastecimento, as quais visam a uma gestão mais eficiente, incluem FIFO e FEFO (DITTMER et al., 2012). FIFO é a abordagem mais comumente adotada, pois parece ser uma escolha lógica para a rotação de estoques, garantindo que a escolha dos produtos armazenados para a distribuição seja feita com base na sua data de entrada na câmara fria de armazenamento. Este conceito baseia-se na distribuição de produtos armazenados com maior tempo de estocagem, independentemente da análise de sua vida útil remanescente e do seu mercado de destino final (MCMURRAY et al., 2013). Esta abordagem faz a suposição de que todas as frutas e hortaliças que chegam numa data específica têm a mesma vida útil. No entanto, há questionamentos desta suposição, fundamentada nas diferentes condições de manuseio pós-colheita de frutas e hortaliças, como o tempo de espera do produto para ser resfriado para sua temperatura de armazenamento. Uma abordagem FEFO faz suposições diferentes, em termos de prazo de vida útil de um lote de produto. A gestão FEFO só enviará produtos dependendo do seu potencial de vida útil em relação ao seu destino final, assegurando que apenas produtos de qualidade confiável alcancem o mercado de destino; desta maneira, elimina-se a perda de produto durante o transporte (JEDERMANN et al., 2014a). No sistema de gestão FEFO, as frutas e hortaliças com a menor vida útil remanescente (*First Expires*) são comercializadas em mercados próximos, que permitem uma venda mais rápida (*First Out*). Este sistema baseia-se na condição prévia de que a vida útil remanescente de cada palete ou unidade de produto possa ser estimada por um sistema de sensores associado a um modelo matemático preditivo. A avaliação precisa e confiável da vida útil destes produtos é fundamental para a gestão por meio de FEFO (PIRAMUTHU; ZHOU, 2013).

Não há dúvida de que o fornecimento de um sistema automatizado de supervisão/ avaliação da qualidade destes alimentos perecíveis é uma tarefa desafiadora, requerendo conhecimentos especializados de sistemas de sensores, de transmissão de dados, da biologia

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

preditiva e de tecnologia de alimentos, e não somente de tecnologias da cadeia do frio (MCMURRAY et al., 2013). Isso significa monitorar os parâmetros de qualidade relevantes dos produtos e analisar os dados em um algoritmo dinâmico, que precisa considerar – em tempo real – novas informações que afetam a vida útil de um produto (HERTOG et al., 2014). Como exemplo de aplicação deste conceito, Nascimento Nunes et al. (2014) verificaram que diferenças no pré-resfriamento e nas temperaturas de transporte causaram enormes variações na qualidade de amoras, resultando que 57% das frutas recebidas no *packing house* não tinham vida útil suficiente para serem enviadas para mercados mais distantes. Afirmam que, com a abordagem FEFO, realizando a distribuição das frutas para mercados mais próximos, é possível evitar grandes perdas.

Jedermann et al. (2014b) analisaram as condições de conservação de bananas verdes exportadas em contêineres marítimos, por meio de monitoramento remoto complementado com a definição de modelo de estimativa da vida verde. Afirmam que as perdas na cadeia de transporte da banana podem ser reduzidas estendendo a vida verde por condições de transporte otimizadas, com o emprego de ferramentas para monitoramento remoto e previsão de mudanças na vida verde. As diferenças constatadas na vida verde prevista podem ser usadas para implementar estratégias de gerenciamento de armazém baseadas na qualidade, como FEFO. Uysal e Emond (2011) compararam o resultado da eficiência de um modelo de estimativa da vida útil de morangos com a típica inspeção visual de qualidade, realizada em 24 paletes em um Centro de Distribuição de Rede de Varejo, nos EUA. Afirmam que apenas 8% dos paletes foram rejeitados na inspeção visual. No entanto, utilizando o modelo de vida útil, 17% dos paletes deveriam ser rejeitados na recepção, 54% dos paletes deveriam ser colocados imediatamente para a venda e somente 29% dos paletes apresentavam-se em condições de venda com prazo normal.

4 Conclusão

Perdas de frutas e hortaliças frescas podem ser evitadas por meio de uma gestão dinâmica, durante as diferentes fases da cadeia logística destes produtos, desde a colheita e os processos de limpeza, classificação, embalagem, estocagem e transporte, fundamentada na qualidade real do produto. Para uma análise da verdadeira qualidade destes produtos, são necessários dois elementos: modelos de vida útil precisos, associados a um monitoramento eficiente das condições de conservação dos produtos durante todas as etapas de uma cadeia logística, juntamente com a transmissão das informações de forma ágil e até mesmo em tempo real. Na maioria dos casos, é difícil desenvolver um modelo bioquímico para descrever a mudança de propriedades físicas dos

produtos como uma função da temperatura e do tempo. Tecnologia de RFID integrada a sensores é uma ferramenta promissora para monitorar a temperatura e outras variáveis de qualidade dos produtos, transmitindo-as de forma eficiente para a tomada de decisão na gestão da cadeia de distribuição. As soluções de monitoramento devem ser desenvolvidas para cada estratégia de distribuição das diferentes cadeias de frutas e hortaliças, tendo em vista a otimização de custos e de qualidade dos produtos. É importante apontar que não há uma única solução disponível, possível de integrar o cálculo de um modelo de vida útil juntamente com um modelo específico de RFID integrado com sensores. A gestão FEFO pode ser vista não apenas como perspectiva de redução de custos, evitando perdas devido à degradação da qualidade de frutas e hortaliças, mas também como estratégia para uma maior eficiência logística e melhor qualidade dos produtos, para atingir novos mercados.

Referências

- ABAD, E.; PALACIO, F.; NUIN, M.; ZÁRATE, A. G.; JUARROS, A.; GÓMEZ, J. M.; MARCO, S. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 394-399, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.004>.
- ADASKAVEG, J. E.; FORSTER, H.; SOMMER, N. F. Principles of postharvest pathology and management of decays of edible horticultural crops. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd ed. Oakland: University of California, 2002. p. 163-196. (Agriculture and Natural Resources).
- AMADOR, C.; EMOND, J. P.; NUNES, M. C. N. Application RFID technologies in the temperature mapping of the pineapple supply chain. **Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety**, v. 3, n. 1, p. 26-33, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-009-9072-6>.
- AMODIO, M. L.; DEROSI, A.; COLELLI, G. Modelling sensorial and nutritional changes to better define quality and shelf life of fresh-cut melons. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 43, n. 4, p. 6, 2013. <http://dx.doi.org/10.4081/jae.2013.e6>.
- AMODIO, M. L.; DEROSI, A.; MASTRANDREA, L.; COLELLI, G. A study of the estimated shelf life of fresh rocket using a non-linear model. **Journal of Food Engineering**, v. 150, p. 19-28, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.030>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS – ABRAS. **Avaliação de perdas nos supermercados brasileiros**. São Paulo: ABRAS, 2015. Disponível em: <<http://www.abrasnet.com.br/economia-e-pesquisa/perdas/pesquisa-2015>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. **Food**

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

- Control**, v. 40, p. 198-207, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.016>.
- BADIA-MELIS, R.; RUIZ-GARCIA, L.; GARCIA-HIERRO, J.; VILLALBA, J. I. R. Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing technologies: RFID and WSN. **Sensors**, v. 15, n. 3, p. 4781-4795, 2015. PMID:25730482. <http://dx.doi.org/10.3390/s150304781>.
- BASELICE, A.; COLANTUONI, F.; LASS, D. A.; GIANLUCA, N. EU consumers' perceptions of fresh-cut fruit and vegetables attributes: a choice experiment model. In: AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION'S 2014 AAEA ANNUAL MEETING, 2014, Minneapolis, MN. **Proceedings...** Minneapolis: AAEA, 2014.
- BIN, L.; JINHUI, C.; YUNFENG, H. A new method to predict the shelf life of fruits and vegetables. In: 2011 CIGR SECTION INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TOWARDS A SUSTAINABLE FOOD CHAIN FOOD PROCESS, 6., 2011, Nantes, France. **Proceedings...** Nantes: CIGR, 2011.
- BRECHT, J. K.; SALTVEIT, M. E.; TALCOTT, S. T.; MORETTI, C. L. Alterações metabólicas. In: MORETTI, C. L. **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 2007.
- CANTWELL, M. Water loss and postharvest quality: FAO statistical yearbook. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- CARULLO, A.; CORBELLINI, S.; PARVIS, M.; VALLAN, A. A wireless sensor network for cold-chain monitoring. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 58, n. 5, p. 1405-1411, 2009. <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2008.2009186>.
- CASTELLANOS, D. A.; HERRERA, A. O. Mathematical models for the representation of some physiological and quality changes during fruit storage. **Journal of Post-Harvest Technology**, v. 3, n. 1, p. 18-35, 2015.
- CHEN, Y. Y.; WANG, Y. J.; JAN, J. K. A novel deployment of smart cold chain using 2G-RFID-Sys. **Journal of Food Engineering**, v. 141, p. 113-121, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.014>.
- COSTA, C.; ANTONUCCI, F.; PALLOTTINO, F.; AGUZZI, J.; SARRIÁ, D.; MENESATTI, P. A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 353-366, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0958-7>.
- DITTMER, P.; VEIGT, M.; SCHOLZ-REITER, B.; HEIDMANN, N.; PAUL, S. The intelligent container as a part of the internet of things: a framework for quality-driven distribution for perishables. In: 2012 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYBER TECHNOLOGY IN AUTOMATION, CONTROL AND INTELLIGENT SYSTEMS, 2012, Bangkok, Thailand. **Proceedings...** USA: IEEE, 2012.
- DUARTE-SIERRA, A.; CORCUFF, R.; ARUL, J. Methodology for the determination of hormetic heat treatment of broccoli florets using hot humidified air: temperature-time relationships. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p. 118-124, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.010>.
- EVANS, L. Supermercados de Minas descartam 450 mil quilos de alimentos todos os meses. **EM.com.br**, Belo Horizonte, 24 ago. 2015. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2015/08/24/internas_economia.681236/supermercados-de-minas-descartam-450-mil-quilos-de-alimentos-todos-os.shtml>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- GRUNOW, M.; PIRAMUTHU, S. RFID in highly perishable food supply chains: remaining shelf life to supplant expiry date? **International Journal of Production Economics**, v. 146, n. 2, p. 717-727, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.028>.
- GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; OTTERDIJK, R.; MEYBECK, A. **Global food losses and food waste: extent, causes and prevention**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011, p. 1-38.
- HEIDMANN, N.; HELLWEGE, N.; PETERS-DROLSHAGEN, D.; PAUL, S.; DANNIES, A.; LANG, W. A low-power wireless uhf / lf sensor network with web-based remote supervision: implementation in the intelligent container. In: 2013 IEEE SENSORS, 2013, Baltimore. **Proceedings...** USA: IEEE, 2013. p. 1-4.
- HERTOG, M. A. L. T. M.; UYSAL, I.; MCCARTHY, I.; VERLINDEN, B. M.; NICOLATI, B. M. Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management. **Philosophical Transactions A**, v. 372, n. 2017, p. 20130306, 2014. PMID:24797134. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0306>.
- HERTOG, M. L. A. T. M.; BOERRIGTER, H. A. M.; VAN DEN BOOGAARD, G. J. P. M.; TIJSKENS, L. M. M.; VAN SCHAIK, A. C. R. Predicting keeping quality of strawberries (cv. 'Elsanta') packed under modified atmospheres: an integrated model approach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00061-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00061-1).
- HERTOG, M. L. A. T. M.; PEPPELENBOS, H. W.; EVELO, R. G.; TIJSKENS, L. M. M. A dynamic and generic model of gas exchange of respiring produce: the effects of oxygen, carbon dioxide and temperature. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 3, p. 335-349, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00058-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00058-1).
- HOLCROFT, D. **Water relations in harvested fresh products**. Oregon: Postharvest Education Foundation, 2015. (PEF White Paper, 15-01). Disponível em: <<http://www.postharvest.org/Water%20relations%20PEF%20white%20paper%20FINAL%20MAY%202015.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- JEDERMANN, R.; EMOND, J. P.; LANG, W. Shelf life prediction by intelligent RFID technical limits of model accuracy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DYNAMICS IN LOGISTICS, 1., 2007, Bremen, Germany. **Proceedings...** Berlin: Springer, 2007.

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

- JEDERMANN, R.; NICOMETO, M.; UYSAL, I.; LANG, W. Reducing food losses by intelligent food logistics. **Philosophical Transactions A**, v. 372, n. 2017, p. 20130302, 2014a. PMID:24797131. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0302>.
- JEDERMANN, R.; PRAEGER, U.; GEYER, M.; LANG, W. Remote quality monitoring in the banana chain. **Transactions of the Royal Society A**, v. 372, n. 2017, p. 20130303, 2014b. PMID:24797132. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0303>.
- JEDERMANN, R.; RUIZ-GARCIA, L.; LANG, W. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 65, n. 2, p. 145-154, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.08.006>.
- KADER, A. A. Postharvest biology and technology: an overview. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd ed. Oakland: University of California, 2002. p. 39-47.
- KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: Van Nostrand, 1991.
- KUMARI, L.; NARSAIAH, K.; GREWAL, M. K.; ANURAG, R. K. Application of RFID in agri-food sector. **Trends in Food Science & Technology**, v. 43, n. 2, p. 144-161, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.005>.
- LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. 1st ed. Westport: Food & Nutrition Press, 1982.
- LANG, W.; JANSSEN, S.; JEDERMANN, R. The intelligent container: a cognitive sensor net for fruit logistics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSOR NETWORKS (SENSORNETS 2014), 3., 2014, Lisbon, Portugal. **Proceedings...** Lisbon: Scitepress, 2014. p. 351-359. Disponível em: <<http://www.intelligentcontainer.com/en/publications.html>>. **Acesso em: 10 fev. 2016**.
- LAO, S. I.; CHOY, K. L.; HO, G. T. S.; TSIM, Y. C.; POON, T. C.; CHENG, C. K. A real-time food safety management system for receiving operations in distribution centers. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 3, p. 2532-2548, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.105>.
- LLOYD, C.; ISSA, S.; LANG, W.; JEDERMANN, R. Empirical airflow pattern determination of refrigerated banana containers using thermal flow sensors. In: INTERNATIONAL WORKSHOP COLD CHAIN MANAGEMENT, 5., 2013, Bonn, Germany. **Proceedings...** Bonn: University Bonn, 2013.
- MAHAJAN, P. V.; OLIVEIRA, F. A. R.; MACEDO, I. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 281-288, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.021>.
- MAINETTI, L.; MELE, F.; PATRONO, L.; SIMONE, F.; STEFANIZZI, M. L.; VERGALLO, R. An RFID-based tracing and tracking system for the fresh vegetables supply chain. **International Journal of Antennas and Propagation**, v. 2013, p. 1-15, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/531364>.
- MCMURRAY, G.; ARRUDA, C.; BRITTON, D.; EIDENBERG, T.; EVANS, S.; GIBNEY, M.; MACCARTY, U.; MORAN, L.; OPARA, L.; SANER, S.; WEST, J. Food security: a systems approach. In: EU SCIENCE: GLOBAL CHALLENGES AND GLOBAL COLLABORATION, 2013, Brussels. **Proceedings...** Brussels: European Commission, 2013. Disponível em: <www.globalsciencecollaboration.org/.../Food%20Security%20Whitepaper%20for%20>. **Acesso em: 10 fev. 2016**.
- MELO, E. L.; LOPES, J. S.; DEODORO, R. N.; MARUYAMA, U.; GUIMARÃES, A. A. O desafio do planejamento de demanda no setor hortifrutigranjeiro: um estudo de caso da Empresa Nova Casbri. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Alagoas: UFAL, 2013. Disponível em: <www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/45318548.pdf>. **Acesso em: 10 fev. 2016**.
- NASCIMENTO NUNES, M. C.; NICOMETO, M.; EMOND, J. P.; MELIS, R. B.; UYSAL, I. Improvement in fresh fruit and vegetable logistics quality: berry logistics field studies. **Philosophical Transactions A**, v. 372, n. 2017, p. 20130307, 2014. PMID:24797135. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0307>.
- NGCOBO, M. E. K.; DELELE, M. A.; PATHARE, P. B.; CHEN, L.; OPARA, U. L.; MEYER, C. J. Moisture loss characteristics of fresh table grapes packed in different film liners during cold storage. **Biosystems Engineering**, v. 113, n. 4, p. 363-370, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.09.011>.
- PEDROSO, M. C.; ZWICKER, R.; SOUZA, C. A. A adoção de RFID no Brasil: um estudo exploratório. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 10, n. 1, p. 12-36, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712009000100002>.
- PIRAMUTHU, S.; ZHOU, W. RFID and perishable inventory management with shelf-space and freshness dependent demand. **International Journal of Production Economics**, v. 144, n. 2, p. 635-640, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.035>.
- RUIZ-GARCIA, L. **Development of monitoring applications for refrigerated perishable goods transportation**. 2008. 180 f. Thesis (PhD)--Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2008.
- RUIZ-GARCIA, L.; BARREIRO, P.; ANAND, A.; ROBLA, J. I. Modeling psychometric data in real-time fruit logistics monitoring. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATIONS OF MODELLING AS AN INNOVATIVE TECHNOLOGY IN THE AGRI-FOOD-CHAIN: MODEL-IT, 4., 2008, Madrid. **Proceedings...** Belgium: ISHS, 2008. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.802.51>.
- RUIZ-GARCIA, L.; GARCIA-HIERRO, J.; BARREIRO, P.; ROBLA, J. I. Refrigerated fruit storage monitoring using RFID and WSN. In: WORLD CONGRESS OF THE INTERNATIONAL COMMISSION OF AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING (CIGR), 17., 2010, Quebec City, Canadá. **Proceedings...** Canada: CSBE/SCGAB, 2010.
- RUIZ-GARCIA, L.; LUNA DEI, L. The role of RFID in agriculture: applications, limitations and challenges. **Computers and**

Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica

Spagnol, W. A. et al.

Electronics in Agriculture, v. 79, n. 1, p. 42-50, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.08.010>.

SALTVEIT, M. E. Respiration metabolism. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. Washington: USDA, 2016. p. 68-75.

SARGENT, S. A.; RITENOUR, M. A.; BRECHT, J. K.; BARTZ, J. A. **Handling, cooling, sanitation, techniques for maintaining postharvest quality**. Florida: University of Florida, 2007. chapt. 18. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

SASTRY, S. K. Moisture losses from perishable commodities: recent researches and developments. **International Journal of Refrigeration**, v. 8, n. 6, p. 343-346, 1985. [http://dx.doi.org/10.1016/0140-7007\(85\)90029-5](http://dx.doi.org/10.1016/0140-7007(85)90029-5).

SCHOUTEN, R. E.; TIJSKENS, L. M.; VAN KOOTEN, O. Predicting keeping quality of batches of cucumber fruit based on a physiological mechanism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 26, n. 2, p. 209-220, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00017-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00017-0).

TIJSKENS, L. M. M.; POLDERDIJK, J. J. A generic model for keeping quality of vegetable produce during storage and

distribution. **Agricultural Systems**, v. 51, n. 4, p. 431-452, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0308-521X\(95\)00058-D](http://dx.doi.org/10.1016/0308-521X(95)00058-D).

UYSAL, I.; EMOND, J. P. Adaptive and dynamic shelf-life estimation. In: ANNUAL CONFERENCE AND EXIBITION, 9., 2011, Florida. **Proceedings...** Florida: USF, 2011. Disponível em: <www.rfidjournal.net/.../rfid_live2011/np/emond_uysal_412_145_food_agriculture>. Acesso em: 10 fev. 2016.

WATSON, J. A.; TREADWELL, D.; SARGENT, S. A.; BRECHT, J. K.; PELLETIER, W. **Postharvest storage, packaging and handling of specialty crops: a guide for Florida small farm producers**. Florida: University of Florida, 2015. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS127000.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

WOGNUM, P. M.; BREMMERS, H.; TRIENEKENS, J. H.; VAN DER VORST, J. G. A. J.; BLOEMHOF, J. M. Systems for sustainability and transparency of food supply chains: current status and challenges. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 1, p. 65-76, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2010.06.001>.

ZOU, Z.; CHEN, Q.; UYSAL, I.; ZHENG, L. Radio frequency identification enabled wireless sensing for intelligent food logistics. **Philosophical Transactions A**, v. 372, n. 2017, p. 20130313, 2014. PMID:24797140. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0313>.