

TECNOLOGIAS DE RESFRIAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS

COOLING TECHNOLOGIES OF FRUITS AND VEGETABLES

TERUEL, Bárbara J.M.¹

- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

RESUMO

Frutas e hortaliças, de modo geral, têm estrutura celular frágil, elevada atividade de água e metabolismo acelerado, sendo assim, a aplicação de tecnologias de resfriamento é uma forma de atenuar a velocidade dessas alterações, prolongando a vida útil e o tempo de comercialização. Apresenta-se uma revisão, discutindo as tecnologias de resfriamento e abordando aplicações, embalagens, eficiência e custos, visando fomentar seu conhecimento e aplicação no Brasil.

Palavras-chave: ar forçado, gelo, água gelada, vácuo, tempo de resfriamento, custos de resfriamento.

ABSTRACT

Fruits and vegetables, in general, have fragile cellular structure, water activity and accelerated metabolism, being thus, the use of cooling technologies is the way to attenuate to speed of these alterations increasing the useful life of products and commercialization. A revision is presented and discussed about cooling technologies, characteristics, applications, packages, efficiency and cooling costs, having as objective the foment the knowledge and use in Brazil.

Key-words: forced-air cooling, hydrocooling, ice coding, vacuum cooling, coding time, coding cost.

INTRODUÇÃO

Brasil é o terceiro produtor de frutas, superado apenas pela China e Índia (SANTIAGO & ROCHA, 2001). É o oitavo produtor mundial de tomate, e ocupa o sétimo lugar no

processamento deste produto (CAMARGO Filho, 2001). No entanto, de modo geral, ainda reportam-se perdas de frutas e hortaliças da ordem de 30 a 40% (GOMES, 1996).

A maior parte das perdas ocorre devido ao inadequado manejo na colheita, à conservação inadequada, à falta de aplicação de adequadas tecnologias de refrigeração e da cadeia do frio, à embalagens dimensionadas sem atender às exigências dos produtos, às operações de pós-colheita e à inadequada logística.

A refrigeração é um processo que traz benefícios palpáveis, ainda maiores em países de clima tropical, como o Brasil. Particularmente, por ser grande produtor de frutas e hortaliças e ainda pequeno exportador, há grande potencial de mercado, desde que aspectos relacionados à pós-colheita, padrões de qualidade e comercialização sejam atendidos.

A título de exemplo, o mercado árabe foi responsável pelo aumento das exportações brasileiras de frutas em 5%, fechando o ano 2006 com vendas avaliadas em US\$ 480 milhões, contra US\$ 440 milhões em 2005. Destacou-se a exportação de uva, limão, abacaxi e abacate (ANBA, 2007).

¹Eng. Mecânico. Professor Doutor, FEAGRI - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Cx. Postal 6011. CEP 13083-970- Campinas-SP. barbarat@agr.unicamp.br

(Recebido para Publicação em 04/04/2007, Aprovado em 11/06/2008)

Os produtos hortícolas, dentre eles as frutas e hortaliças, são sinônimos de natureza, saúde, sabor, frescor, diversidade, variedade de tamanhos, cores, qualidade, embalagem e origem. São ainda sinônimos de facilidade de preparo, de consumo e de bons negócios. Mas também são sinônimos de falta de confiança entre produtor e varejo, no próprio produto, pela falta de organização, altos custos, pela falta de qualidade na movimentação e no transporte das cargas, da falta de planejamento e utilização de métodos modernos de comercialização e de gerenciamento de perdas. Outros problemas ocorrem com o produtor inovador que tenta colocar um produto diferenciado no mercado e perda de espaço no consumo para produtos industrializados (IEA, 2007).

Frutas e hortaliças quando colhidas, mais do que continuar vivas, seu metabolismo é acelerado e as transformações químicas continuam acontecendo, utilizando as reservas e os compostos orgânicos ricos em energia, como açúcares e amido, com o fim de manutenção da respiração e da produção de energia necessária para se manterem vivas. De todos os processos metabólicos que ocorrem nas frutas e hortaliças após a colheita, a respiração é o mais importante e pode ser afetado por fatores próprios da planta (internos) ou do ambiente (externos), sendo a temperatura o fator de maior influência (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Realizou-se pesquisa bibliográfica sobre tecnologias de resfriamento, abordando tópicos relacionados com as tecnologias de resfriamento, citando aplicações, vantagens, desvantagens e discutindo ainda questões relacionadas com embalagens, necessidade do resfriamento, atraso do resfriamento, tempo de resfriamento, bem como seus custos, visando incentivar a aplicação destas técnicas no Brasil.

DESENVOLVIMENTO

Vida útil de frutas e hortaliças

Será abordada nos próximos tópicos a importância do resfriamento após a colheita, a influência na vida útil de frutas e hortaliças, assim como a influência do intervalo de tempo entre a colheita e resfriamento.

A vida útil de frutas e hortaliças pode ser definida como o período de tempo, desde a colheita até a comercialização,

em que os produtos mantêm os padrões de qualidade exigidos pelo mercado. O aumento da vida útil pode ser conseguido de várias formas, que vão desde a utilização de técnicas de resfriamento rápido, armazenamento refrigerado, armazenamento com atmosfera modificada e/ou controlada, processamento mínimo, uso de filmes comestíveis, congelamento e tratamentos térmicos (JACOBI et al., 2000).

Tecnologias de resfriamento rápido formam parte da cadeia do frio, definida como o conjunto de sistemas e equipamentos que garantem aos produtos se manterem à temperatura e umidade relativa recomendadas, desde a colheita até a comercialização. Compõem também a cadeia do frio, as câmaras de armazenamento refrigerado, o transporte frigorificado (terrestre, aéreo, marítimo ou ferroviário), as gôndolas, os balcões frigorificados e as geladeiras.

No Brasil, de forma geral, a cadeia do frio não está estabelecida e a infra-estrutura é praticamente inexistente em nível de produtor agrícola, sendo a cadeia da maçã uma exceção (CORTEZ et al., 2002a). GAYET (1996) destaca que o empresário não quer investir dinheiro na aplicação de algumas tecnologias, por outro lado investe na contratação de engenheiros, que ficam frustrados pela falta de investimento suficiente na produção e conservação dos produtos hortícolas.

Importância do resfriamento pós-colheita

As tecnologias de resfriamento rápido são consideradas tratamentos pós-colheita de grande importância e eficácia, para manter a qualidade de frutas e hortaliças, aumentando sua vida útil (CORTEZ et al., 2002a; MITCHELL, 2002; FAO, 2006). A qualidade e o frescor do produto são elementos essenciais para a comercialização e o aumento das vendas, melhorando a relação custo-benefício e a satisfação do cliente (SHEWFELT, 1986; MITCHELL, 2002).

Associam-se estas tecnologias à rápida diminuição da temperatura, retirada de significativas parcelas da carga térmica que o produto possui após a colheita e às operações de beneficiamento, e retardamento da atividade respiratória e metabólica. Ao diminuir a carga térmica do produto, as câmaras de armazenamento frigorificado podem ter o

sistema de refrigeração dimensionado para capacidade de refrigeração menor, contribuindo para a diminuição dos custos de resfriamento e do custo final do produto. A aplicação de resfriamento rápido tem se tornado, também, importante estratégia de *marketing*, sendo associada pelos consumidores a produtos frescos e de qualidade (SHEWFELT, 1986; TURK & CEIK, 1993; SULLIVAN, 1996). A deterioração de frutas e hortaliças, por exemplo, pode ocorrer tanto em uma hora a 25°C, como em uma semana, a 1°C, o que destaca a necessidade do resfriamento rápido (SULLIVAN, 1996; MITCHELL, 2002).

Milho verde, por exemplo, precisa ser resfriado logo após a colheita, recomendando-se o resfriamento com água gelada ou com mistura de água e gelo. O transporte e comercialização devem ser feitos logo após o resfriamento, sempre sob refrigeração se não, a comercialização terá que ser feita em um curto intervalo de tempo, num único dia (MARCOS et al., 1999). No entanto quando resfriado previamente, armazenado sob refrigeração e umidade relativa recomendada, em balcões frigoríficos dos supermercados, pode ter uma vida útil de até três dias. Milho verde, mantido a 21°C, pode ter redução diária de mais de 30% no teor de sacarose. Cultivares americanos de milho doce conserva-se a 5°C por até nove dias, com os padrões de qualidade exigidos pelo mercado (BRECHT et al., 1990).

Morangas armazenadas entre 5 e 10°C, sem resfriamento prévio, para exportação, tiveram aumento de podridões causados por *Penicillium spp* e *Botrytis cinérea*, quando transportadas em contêineres marítimos (14 dias a temperatura entre 12 e 14°C) (WRIGHT & GRANT, 1999). Se o produto retornar à temperatura próxima de 20°C ou mais alta, haverá a perda acelerada de permeabilidade das membranas celulares (LEE & YANG, 1996).

As exigências de resfriamento dependem do tipo de produto e cultivar, de suas características, do valor agregado, da comercialização e da vida útil. Para evitar os danos pelo frio, provocados pela exposição dos produtos a temperaturas mais baixas do que aquelas que os tecidos toleram, o resfriamento entre 10 e 13°C seria suficiente (ASHRAE, 1998; PHAKAWATMONGKOL et al., 2004).

Frutas como ameixa, cereja doce, morango, brócolis, maçã, nectarina, pêssego, pêra e uva, podem ser resfriados e armazenados a temperaturas próximas do ponto de

congelamento, enquanto que abacate, abóbora, tomate, abacaxi, banana verde, goiaba, limão, manga, mamão e melancia, devem ser resfriadas e armazenadas em temperaturas mais altas (CHITARRA & CHITARRA, 1990; ASHRAE, 1998; EDEGOU et al., 1997).

Intervalo entre a colheita e o resfriamento

Após a colheita e as operações de beneficiamento, o resfriamento rápido deve ser o primeiro passo. Mas, em geral, na literatura constam poucos trabalhos que quantificam o intervalo de tempo máximo entre a colheita e as operações de resfriamento. Não entanto, alguns trabalhos relatam que quanto maior o intervalo de tempo entre colheita e resfriamento, maior será a perda de qualidade (GUILLOU, 1958; GIBBON, 1972; NUNES et al., 1995; SULLIVAN, 1996; BRACKMANN et al., 2001; MITCHELL, 2002).

Após a colheita de aspargos, por exemplo, o resfriamento com ar forçado ou água gelada, deve ser feito no máximo em até quatro horas, reduzindo-se rapidamente a temperatura até 1°C, evitando assim as perdas de peso e o murchamento (LALLU et al., 2000).

O efeito do retardamento do armazenamento (intervalos de 16; 22 e 28 horas) e do resfriamento (lento em três dias e rápido em seis horas), sobre a qualidade de maçãs 'Gala' foi estudado por BRACKMANN et al., (2001). Frutas rachadas e com perda de qualidade foram observadas em maior percentual, quando o retardamento do armazenamento foi de 28 horas.

No campo, a 30°C, um atraso de seis horas antes de morangos serem resfriados, provocou perdas de até 22% na firmeza das frutas, tornando-as escuras. Após duas horas a 30°C, apenas 80% das frutas possuíam condições para a comercialização. Recomenda-se que após o resfriamento destas frutas o armazenamento e o transporte frigorífico sejam feitos à temperatura próxima de 0°C (NUNES et al., 1995).

Influência do resfriamento rápido na respiração e no metabolismo I

O período que encerra a fase de completo desenvolvimento de frutas e hortaliças é marcado por uma série de características particulares como amadurecimento

da semente, mudanças na taxa de respiratória, alteração da produção de etileno, modificações da permeabilidade do tecido, alteração da atividade enzimática e incremento da produção de substâncias voláteis. Durante a respiração, a energia é liberada em forma de calor, liberando-se CO₂ e consumindo O₂ (CHITARRA & CHITARRA, 1990; KADER, 2002; JONES, 1996). Frutas e hortaliças, de modo geral, têm estruturas sub-celular e celular frágeis, com elevada atividade de água, metabolismo acelerado e com elevada carga microbiana associada e a aplicação de tecnologias de resfriamento contribuem para atenuar a velocidade dessas alterações.

BROSNAN & SUN (2001) relataram que a redução da temperatura de uvas até 9,5°C diminuiu em duas vezes a taxa respiratória, aumentando o tempo de comercialização, com retardo do desenvolvimento de microorganismos e perdas de água por transpiração.

Durante o resfriamento de laranjas 'Valência' com ar forçado, as perdas de peso, após 107 minutos de resfriamento, foram aproximadamente de 1,01±0,32%, com umidade relativa do ar em média de 88,5±2%, valor que pode ser considerado desprezível, para curtos períodos de resfriamento ou armazenamento (GAFFNEY & BAIRD, 1991; TERUEL et al., 2003).

Fica evidente que a temperatura é um dos fatores mais importantes para a degradação dos tecidos vegetais e que determina a velocidade das reações bioquímicas associadas à senescência. O índice de deterioração Q₁₀ (aumento relativo da velocidade de reação química ou processo biológico, provocado pelo aumento de temperatura de 10°C) a 15°C é 2,5 vezes maior que a 0°C.

O resfriamento rápido é essencial para a redução da atividade enzimática, retardamento do amadurecimento de frutas, hortaliças e, inclusive às flores, desenvolvimento de microorganismos e diminuição das perdas de água por transpiração (BROSNAN & SUN, 2001; MITCHELL, 2002).

Laranjas 'Baianinhas' mantidas numa câmara frigorífica à 1°C, perderam apenas 8% do teor de vitamina C após 20 dias de armazenamento; no entanto, as laranjas que ficaram em condições ambientais, perderam 20% do teor de vitamina C após o mesmo período (TERUEL et al., 2000).

Resfriar frutas cítricas, embora tenham vida pós-colheita maior se comparadas com morangos, pêssegos e bananas, se justifica pela manutenção de qualidade e frescor durante o período de estocagem e transporte (KADER, 2002).

Tempo de resfriamento

O tempo de resfriamento de frutas e hortaliças depende de varios fatores, dentre eles, coeficiente de transferência de calor, diferença de temperatura entre o produto e meio de resfriamento, propriedades termofísicas, tamanho e geometria dos produtos, tipo de meio de resfriamento, tipo de embalagem e arranjo dos produtos dentro da mesma. Na tabela 1, por exemplo, observa-se a influência da velocidade no tempo de meio resfriamento de maçãs (BROSNAN & SUN, 2001).

Para quantificar a eficiência do processo de resfriamento, tanto em termos de tempo como de temperatura, são utilizados os parâmetros de tempo de meio resfriamento (*half-cooling time*) e de sete-oitavos do resfriamento (*seven-eighths cooling time*). Estes parâmetros expressam o tempo necessário para resfriar os produtos, em unidade de tempo. O tempo necessário para que o produto diminua a temperatura, desde o valor inicial até a temperatura próxima daquela do meio de resfriamento, é chamado de tempo de meio resfriamento. Já o tempo de sete-oitavos é aquele necessário para resfriar o produto 7/8 da diferença entre a temperatura inicial e do meio de resfriamento (MOHSENIN, 1980; ASHRAE, 1998a).

Tabela 1. Tempo de meio resfriamento, em horas, de maçãs acondicionadas em embalagens e sem embalagens

Tipo de resfriamento	Maças soltas (h)	Maças em embalagens (h)	Maças em filmes e embalagens (h)
Câmara convencional		12,0	22,0
Túnel (3 a 7 m s ⁻¹)		4,0	14,0
Jato com alta velocidade (12 m s ⁻¹)		0,7	
Água gelada	0,3		
Ar forçado (0,7 m s ⁻¹)	1,2		
Túnel (7 m s ⁻¹)	0,5		

Fonte: BROSAN & SUN, 2001.

Também pode ser adotado para quantificar o processo de resfriamento, o Coeficiente de Resfriamento (CR), o qual pode ser calculado através da equação 1, considerando-se a diferença entre a temperatura inicial do produto (Ti), a

temperatura final (Tf), a temperatura do meio de resfriamento (Ta) e tempo final de processo (tf) (MOHSEIN,1980):

$$CR \equiv \frac{\frac{T_i - T_f}{(T_i - T_a) - (T_f - T_a)}}{\ln \frac{T_i - T_a}{T_f - T_a}} \quad (1)$$

Pode-se assumir que o tempo de meio e de sete-oitavos do resfriamento são independentes da temperatura inicial do produto e constantes no tempo. Portanto, se necessárias duas horas para reduzir a temperatura inicial pela metade, serão duas horas a mais para reduzir a temperatura em 25% e mais duas para reduzir a temperatura até 12,5% da temperatura inicial.

O tempo de sete-oitavos do resfriamento é um parâmetro muito usado comercialmente para monitorar a temperatura de resfriamento, já que, quando o produto atinge a temperatura equivalente a este tempo, estará muito próximo da temperatura de armazenamento recomendada e a diferença de temperatura ou calor ainda restante, será eliminada gradualmente, com menor custo nas câmaras de armazenamento.

Quando a taxa de resfriamento assume valores pequenos, a diferença de temperatura entre a polpa e a superfície de frutas e hortaliças pode ser significativa. Em

frutas e hortaliças com grande relação área-volume, como melão e melancia, o gradiente de temperatura pode ser significativo, sendo mais eficiente o processo de resfriamento se submetidas a uma corrente de ar com maior velocidade, embalagens com área efetiva de aberturas ou resfriamento com água gelada.

O tempo de meio e sete-oitavos do resfriamento pode ser expresso como mostrado nas equações 2 e 3 (MOHSEIN, 1980; ASHRAE, 1998a):

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{CR} \quad (2)$$

$$t_{7/8} = \frac{\ln 8}{CR} \quad (3)$$

Aplicando estas equações para determinar o tempo de resfriamento de tomate e pepino, resfriados com água gelada à 0,5°C, DINCER (1995), obteve uma diferença de 14 a 16% e de 11 a 13%, entre os valores calculados e aqueles

obtidos experimentalmente. Uma diferença de 7% foi obtida no tempo de resfriamento de uvas resfriadas com ar forçado ($T_a = 4^\circ\text{C}$ e velocidade do ar de 1 a 2 m s^{-1}) (DINCER, 1995a).

O tempo de resfriamento pode ser determinado também calculando a Taxa Adimensional de Temperatura (TAT), que é definida como a relação entre a temperatura da polpa do produto (T_p), temperatura do meio de resfriamento (T_a) e temperatura inicial do produto (T_i) (MOHSEIN, 1980).

$$TAT = \frac{T_p - T_a}{T_i - T_a} \quad (4)$$

Para aplicar esta equação devem ser conhecidos os valores da temperatura no processo de resfriamento,

podendo-se plotar, num gráfico adimensional, os valores da TAT. Quando a relação atingir o valor 0,5 se haverá atingido o tempo de meio resfriamento e, quando for de 0,125 os sete-oitavos do resfriamento.

A velocidade do resfriamento diminui durante o processo de forma logarítmica, ou seja, há uma queda mais acentuada no início do processo até a metade da diferença entre a temperatura inicial e a do meio de resfriamento, sendo menos acentuada na medida em que a temperatura se aproxima da temperatura do meio de resfriamento. A temperatura da superfície diminui muito mais rapidamente do que a temperatura da polpa dos produtos (Figura 1). Desta forma, no início do processo a maior parcela do calor que os produtos possuem é retirada.

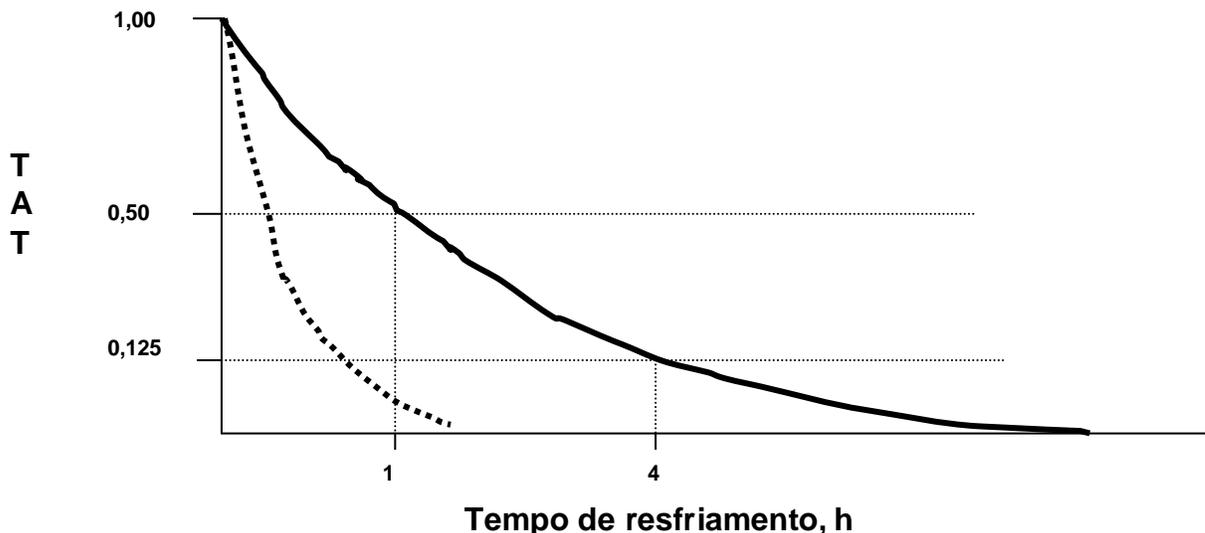


Figura 1. Curva característica de resfriamento. --- Temperatura na superfície (T_s); – Temperatura na polpa (T_c) (Adaptado de CHAU & GAFFNEY, 1990).

Diferenças de até 30% entre o valor de temperatura na superfície e na polpa, de laranjas 'Valência', foram observadas por TERUEL et al. (2001), aplicando técnicas experimentais e simulação computacional através de modelos matemáticos.

Procura-se, com a aplicação de tecnologias de resfriamento, que frutas e hortaliças atinjam a temperatura desejada no menor tempo possível, trazendo os benefícios que a diminuição da temperatura traz para os processos

metabólicos e a vida útil dos produtos (NOVY & KIRCBUSCH, 1986).

O tempo de resfriamento depende de diversos fatores, dentre eles a velocidade do fluido de resfriamento. Por exemplo, maçãs em embalagens, resfriadas numa câmara de estocagem, partindo de uma temperatura de 26°C , atingiram os sete-oitavos do resfriamento em 22 horas. Entretanto, quando resfriadas com ar forçado e velocidade do ar entre 3 a 6 m s^{-1} , o tempo diminuiu para 14 horas (HALL, 1972).

Bananas com temperatura de 35°C, resfriadas com ar forçado (ar a 6 m s^{-1} e temperatura de 4°C), atingiram os sete-oitavos do resfriamento na polpa, em aproximadamente 25 minutos (ANSARI & AFAQ, 1986).

GAFFNEY & BAIRD (1991) propuseram que no início do resfriamento a temperatura do ar seja negativa, submetendo os produtos ao resfriamento controlado, evitando atingir o ponto de congelamento. Uma vez que a temperatura da superfície se aproxime do ponto de congelamento, a temperatura do ar deve ser aumentada gradualmente, obtendo-se menores tempos de resfriamento. Frutas acondicionadas em embalagens de papelão e a granel, foram submetidas ao resfriamento com ar inicialmente a -7°C, aumentando-a gradativamente até 5°C, enquanto a mesma quantidade de produtos foi resfriada com ar a 5°C. Após duas horas as frutas submetidas à primeira condição tinham atingido a temperatura desejada, ao passo que só após sete horas, as frutas resfriadas com ar à 5°C, tinham atingido a condição de resfriamento. Mas esta estratégia deve ser adotada com cuidado, para evitar danos pelo frio ou provável congelamento dos produtos, revertendo-se em perda de qualidade (BAIRD et al., 1988).

Tecnologias de resfriamento rápido

O resfriamento rápido objetiva a retirada do calor do produto após a colheita e operações de beneficiamento, antes que seja armazenado, transportado ou comercializado. O processo de resfriamento pode acontecer em tempos razoavelmente curtos, que vão desde minutos até algumas horas (MITCHELL, 2002).

O resfriamento rápido de frutas e hortaliças pode ser feito com diferentes meios de resfriamento, como: ar forçado (*forced air cooling*), água gelada (*hydrocooling*), gelo (*ice cooling*) e resfriamento a vácuo (*vacuum cooling*) (FRASER, 1991; ASHRAE, 1998a; MITCHELL, 2002).

O sistema deve ser escolhido atendendo a critérios de perecibilidade e vida útil do produto, tolerância ao meio de resfriamento e relação custo-benefício. Tipo de embalagem, temperatura do produto após a colheita, épocas de safra e operações de beneficiamento também devem ser tomados em consideração, evitando a perda de qualidade dos produtos, que os torna impróprios para o consumo e comercialização. Em geral, os sistemas de resfriamento se

encontram nas unidades de beneficiamento ou em centrais de distribuição (WANG, 1993). Segundo TRELEA et al. (1998), na França aproximadamente 40% das frutas produzidas por ano, são resfriadas após a colheita aplicando tecnologias de resfriamento rápido.

Fatores que afetam o resfriamento

Diversos fatores afetam a taxa de resfriamento, fazendo com que aumente ou diminua o tempo necessário para atingir a temperatura ótima para cada produto. Neste tópico serão abordados alguns fatores, apresentando uma discussão sobre os mesmos e resultados de pesquisas desenvolvidas.

Dimensões e forma geométrica dos produtos

A influência das dimensões de frutas e hortaliças nas taxas de resfriamento é diretamente proporcional, sendo que, por exemplo, para velocidade do ar constante, as taxas de resfriamento variam em até 90% com o aumento do diâmetro (MOHSENIN, 1980; GUEMES et al., 1989; GAFFNEY & BAIRD, 1991). A título de exemplo, pêssegos diminuíram a temperatura mais rapidamente que batatas, quando resfriados com ar forçado em condições semelhantes de temperatura e velocidade do ar (MOHSENIN, 1980).

Frutas e hortaliças de dimensões diferentes (melão, manga, goiaba, laranja, ameixa, limão, acerola, pepino, cenoura e vagem) foram resfriadas por imersão, com água à 1°C, partindo de uma temperatura inicial de $25,1 \pm 0,9^\circ\text{C}$, obtendo tempos de resfriamento proporcionais ao volume dos produtos, oscilando entre 8,5 a 124 minutos para as frutas, e de 1,5 a 55 minutos para as hortaliças. O índice de resfriamento dos produtos, relacionando volume e tempo de resfriamento, foi de $1,03$ a $0,1 \text{ min cm}^{-3}$ para as frutas e de $0,06$ a $0,12 \text{ min cm}^{-3}$ para as hortaliças (TERUEL et al., 2004).

Dimensões do leito de produtos

A eficiência do resfriamento pode diminuir com a altura e profundidade do leito (GAFFNEY, 1977; ARIFIN & CHAU, 1987; BAIRD et al., 1988; BOYETTE et al., 1994). Produtos em contato direto com o ar podem se resfriar na primeira hora, entretanto, para a camada mais afastada, o

resfriamento pode demorar até 7 horas. Esta diferença pode ser explicada pelo gradiente de temperatura que se forma ao longo do leito, trazendo consigo a diminuição as taxas de transferência de calor (GAFFNEY, 1977). Na medida que a altura do leito aumenta, podem se formar bolsões mais quentes ou zonas mortas, onde há pouca renovação do ar e a transferência de calor acontece basicamente por convecção natural, a baixa velocidade (BAIRD et al., 1988).

O resfriamento de laranjas a granel com ar forçado, foi estudado por BAIRD et al. (1975), (vazão de ar de $7,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e pressão estática de 1 kPa). As frutas foram acondicionadas em embalagens de papelão, medindo a temperatura em três pontos no leito. O tempo de resfriamento variou de 90 a 150 e 270 minutos, para as frutas posicionadas na entrada do ar, no meio da pilha e na saída do ar na embalagem.

Diferenças de temperatura de 6 a 14°C , entre frutas colocadas na entrada do ar (ponto mais "frio") e aquelas na outra face da embalagem (ponto mais "quente"), quando a velocidade do ar esteve em torno de 1 m s^{-1} , foram constatadas por ALVAREZ & LETANG (1994). Os autores também constataram diferenças de até 20%, entre a temperatura da superfície e temperatura da polpa das frutas.

Embalagem

A embalagem tem um papel muito importante, no só como responsável pela proteção, transporte e comercialização dos produtos, como também no processo de transferência de calor entre produto e meio de resfriamento. A área efetiva para a ventilação e, como consequência, para a efetiva troca de calor, deve ser considerada desde a etapa de projeto da embalagem.

Quando há investimentos em tecnologias de resfriamento, dificilmente mudanças no projeto de embalagem acontecem, adequando-as à necessidade de área de aberturas. Por outro lado, a norma vigente no Brasil, para embalagens (IN009-2000), não contempla nenhuma exigência de área de abertura, apenas a questão de serem paletizáveis. De forma geral, a recomendação é de que as embalagens tenham, no mínimo, de 5 a 10% de área efetiva de aberturas (KADER, 2002).

Além da necessidade de área de aberturas, estas devem estar localizadas na face da embalagem adequada a

cada tipo de resfriamento. Quando aplicado resfriamento com ar forçado, os orifícios das embalagens devem estar posicionadas na face lateral, no mesmo sentido do escoamento do ar. Quando aplicado resfriamento com água e gelo, as embalagens devem ter orifícios também na parte superior e inferior, para permitir o escoamento da água. O tipo de paletização também deverá ser considerado no projeto da embalagem, permitindo a coincidência das aberturas, para garantir o escoamento eficiente do meio de resfriamento (GRIERSON et al., 1970; HASS et al.; 1976; CHAU et al., 1985; ARIFIN & CHAU, 1988; BAIRD et al., 1988, TALBOT & BAIRD, 1990; TALBOT et al., 1992).

Uma questão interessante está relacionada com a geometria dos orifícios e a perda de pressão do ar quando escoar através destes. HASS et al. (1976), constataram que esta perda está diretamente relacionada com a porcentagem efetiva de abertura e pouco influenciada pelas dimensões, geometria ou localização na embalagem.

O efeito da geometria dos orifícios, de embalagens de papelão para morangos, foi testado por ARIFIN & CHAU (1987). As embalagens possuíam área efetiva de abertura entre 13 e 18% (orifícios circulares de 3,8 cm de diâmetro) e de 14% (orifícios circulares de 2,5 cm de diâmetro) e foram submetidas a resfriamento com ar forçado com diferentes velocidades ($0,32$; $0,64$; $1,27$ e $1,90 \text{ m s}^{-1}$). Os autores comprovaram que o tempo de sete-avos do resfriamento variou de 100 a 32 minutos, para as embalagens com maior área de aberturas e de 132 a 50 minutos, para as embalagens com menor área de aberturas

Morangos resfriados desde 28 até 5°C atingiram o tempo de sete-avos do resfriamento em períodos que oscilaram entre 160 e 52 minutos, quando a vazão de ar variou de $1,04$ a $6,24 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Outros autores propõem que para o resfriamento de morango com ar forçado, estes devem ser acondicionados em embalagens com área efetiva de aberturas mínima de 14% (TALBOLT & CHAU, 1991).

O efeito da área efetiva de abertura no resfriamento de banana foi testado por TERUEL et al. (2002a), utilizando embalagens de papelão e plástico com área efetiva de aberturas de 3,5 e 20%, respectivamente. O tempo de resfriamento das frutas foi 45% menor para as embalagens plásticas com 20% de área de abertura.

Dependendo da distribuição de ar, a porcentagem de aberturas nas embalagens pode contribuir significativamente para a homogeneidade do resfriamento, tendo-se no leito menores diferenças de temperatura entre os produtos localizados em diferentes posições, garantindo maior qualidade do resfriamento, como comprovado por CASTRO et al. (2004), quando esferas de gel instrumentadas foram submetidas ao resfriamento com ar, em diferentes condições de vazão e porcentagem de aberturas.

Embalagens de transporte de produtos hortícolas, devem possuir área efetiva de aberturas em dependência também das taxas respiratórias e, quando submetidas ao resfriamento com ar forçado a taxa de ar por quilograma de produto também podem ser maior, dentro dos limites recomendados, para produtos com menor respiração, facilitando a retirada do calor e aumentando a eficiência energética (VIGNEAULT et al., 2006).

As embalagens de transporte de frutas e hortaliças devem ser projetadas respeitando um compromisso entre área de abertura e resistência estrutural das embalagens. Área grande ou mal localizada pode afetar significativamente a função da embalagem com relação à proteção do produto, se estruturalmente não for resistente aos esforços e cargas de paletização, transporte e armazenamento. Com o objetivo de integrar os aspectos geométricos, estruturais e térmicos associados à função da embalagem e ao resfriamento, FUNES et al. (2008) aplicaram um método de projeto de embalagem para produtos hortícolas, baseado em simulação computacional e validação experimental, buscando uma otimização integrada dos aspectos acima mencionados. Para o dimensionamento e otimização estrutural foi utilizado o Método dos Elementos Finitos, implementado pelo programa ANSYS, obtendo-se oito modelos virtuais com 10 e 14% de área efetiva de aberturas e geometria quadrada, retangulares e circulares, partindo do modelo de madeira tipo $\frac{1}{2}$ caixa, Torito, para bananas. A otimização estrutural permitiu uma redução de volume de material da embalagem de 67,3% em relação às condições iniciais de projeto, apresentando-se a ruptura da embalagem, quando submetida a ensaios de compressão (12 orifícios laterais de 60 mm de diâmetro e 10% de área efetiva de abertura), sob cargas entre 5,4 kN e 8,1 kN,

valores estes de 3 a 4 vezes maiores que a condição de projeto imposta (2,0 kN).

Por outro lado, existem estudos que demonstram que a área de abertura das embalagens afeta significativamente os custos de resfriamento, pois será necessário um tempo maior para resfriar o produto até a temperatura desejada, com maior consumo de energia (BAIRD et al., 1988).

No Brasil, grande parte das embalagens utilizadas para o acondicionamento, transporte e comercialização dos produtos hortícolas, possui entre 3 a 7% de área de efetiva de aberturas. Desta porcentagem é aproveitável, durante o resfriamento, como área efetiva, apenas 50% do valor (TERUEL et al., 2000; VISSOTTO et al., 1999). Há também uma grande quantidade de embalagens de madeira que são construídas sem orifícios para ventilação, ou seja, embalagens completamente fechadas (CEAGESP, 2006).

Os arranjos mais comuns, em que frutas e hortaliças são acondicionadas nas embalagens, são os triangulares, quadrado e aleatório, que como comprovado por VISSOTTO et al. (2000), podem não ter influência no tempo de resfriamento dos produtos. Os autores submeteram esferas de gel instrumentadas, simulando laranjas, ao resfriamento com ar forçado acondicionadas em embalagens de papelão usadas comercialmente para exportação (2,5% de área efetiva de abertura). Já outros autores citam que, em dependência de como os produtos são acondicionados e a relação com o escoamento do meio de resfriamento, pode haver influência deste fator no tempo de resfriamento (STANLEY, 1989; BROSNAN & SUN, 2001; MITCHELL, 2002).

Meio de resfriamento

O meio de resfriamento tem influencia direta na eficiência do processo, tipo, propriedades térmicas e físicas, velocidade e temperatura, os quais contribuem para que o processo de transferência de calor seja mais ou menos intenso. Fatores inerentes ao produto, como temperatura e dimensões, não podem ser alterados. Então, a diminuição do tempo de resfriamento pode ser conseguida alterando-se outras variáveis que têm influência no processo de resfriamento, como a vazão diretamente relacionada com a velocidade do fluido de resfriamento.

A velocidade do meio de resfriamento está diretamente relacionada com a transferência de calor por convecção, sendo esta mais intensa na medida que a velocidade aumenta. No entanto, para o dimensionamento dos equipamentos para resfriamento, deve-se considerar a relação custo-benefício, evitando-se, por exemplo, alto consumo de energia, o que se traduz em aumento do custo de resfriamento e custo total do produto e até mesmo danos aos produtos, provocado pela intensificação da transferência de massa, refletida em perdas de peso (FRASER & OTTEN, 1992; BROSANAN & WEN, 2001; KADER, 2002; CASTRO et al., 2005).

Vários estudos têm avaliado a influência da vazão de ar no tempo de resfriamento, comprovando-se que, o tempo diminui na medida em que a vazão de aumenta (ARIFIN & CHAU, 1987; ARIFIN & CHAU, 1988; TALBOT & CHAU, 1991; FRASER, 1991).

Morangos resfriados com ar forçado (velocidade de 5 m s^{-1}) e acondicionados em embalagens de plástico de celofane perfurado, atingiram 4°C em 60 minutos, a partir da temperatura de 18°C (MARTÍNEZ-JÁVEGA et al., 1993).

Quando aplicadas diferentes vazões de ar para o resfriamento de morangos, desde 22°C até 2°C , houve uma redução de 30 a 44% do tempo de sete-oitavos do resfriamento, quando incrementada a vazão desde $0,24$ até $0,40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ como discutido por ÉMOND et al. (1996).

O efeito da aplicação de vazões na direção vertical e horizontal no resfriamento de alface, cenoura e morango, acondicionados em embalagens de plástico (10% de área efetiva de aberturas e taxa de ar de $0,002 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) foi testado por EDEGOU et al. (1997), comparando-se também com o resfriamento nas mesas condições, mas em câmara convencional. Quando resfriados com ar forçado, o tempo de meio resfriamento variou entre 26 e 57 minutos e na câmara convencional o tempo de resfriamento foi de 92 minutos. A diferença no tempo de resfriamento obtido para a direção vertical e horizontal não foi significativo. Já um aumento da velocidade do ar de $0,2$ para $3,6 \text{ m s}^{-1}$, fez diminuir o tempo de resfriamento de kiwi de seis para três horas, com diferentes tipos de embalagens (LAMBRINOS et al., 1997).

Figo 'Roxo de Valinhos' (48 caixas, totalizando 96 kg de frutas), foram resfriados com ar forçado em embalagens

de papelão, tipo exportação, com 3,8% de área efetiva de abertura (taxa de ar de $2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$), obtendo-se tempo de sete-oitavos do resfriamento de 100 minutos (DUSSAN-SARRIA et al., 2006).

Resfriamento com ar forçado

O resfriamento com ar forçado, também conhecido como túnel Californiano, é aplicado em vários países, devido à relativa simplicidade na instalação e operação, poucas limitações com relação ao produto e custos menores se comparado com o resfriamento com água, gelo ou vácuo (DENNIS, 1984). Consiste em colocar os paletes em frente a um ventilador, por cima dos quais se coloca uma lona, forçando o escoamento do ar pelo leito de produtos. O ventilador trabalha como exaustor, criando-se uma diferença de pressão entre a face externa e interna dos paletes.

Os ventiladores são selecionados atendendo a uma vazão de ar pré-estabelecida no dimensionamento do sistema ($0,001$ a $0,006 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ por kilograma de produto a resfriar) e determinada pressão estática (60 a 750 Pa), atendendo à massa de produto a resfriar, tipo de embalagem e tipo de empilhamento, entre os limites recomendados, podendo instalá-los dentro de câmaras frigoríficas já em funcionamento, desde que haja equilíbrio entre vazão de ar dos evaporadores e dos ventiladores. Podem ser projetados e dimensionados para as duas funcionalidades, desde que atendidas as exigências e necessidades de ambos os processos, e haja um adequado dimensionamento dos equipamentos. As câmaras frigoríficas, embora geralmente usadas como único sistema de resfriamento, não possuem uma distribuição do ar eficiente, sendo o resfriamento dos produtos muito lento e não homogêneo (LINDSAY et al., 1983; ASHRAE, 1998a; ASHRAE, 1998b; MITCHELL, 2002).

Paletes de frutas e hortaliças, que serão submetidos ao resfriamento com ar forçado, precisam ser empilhados de forma adequada, evitando que haja espaços entre as embalagens no palete, a lona deve ser colocada de forma correta e a porta não deverá ser aberta durante o processo de resfriamento. As embalagens devem ser paletizadas fazendo coincidir a face de maior área de aberturas com o sentido de escoamento do ar, para permitir a troca de calor eficiente entre o produto e ar resfriado. Estes cuidados,

relativamente simples, muitas vezes não são tomados em consideração, provocando a ineficiência do sistema e maior consumo de energia (PARSONS et al., 1972; HASS et al., 1976; ARIFIN & CHAU, 1988; THOMPSON & CHEN, 1988).

Uvas 'Itália' foram resfriadas com ar forçado à velocidade de $4,5 \text{ m s}^{-1}$, até a temperatura de 4°C , verificando-se que o resfriamento não foi uniforme nos cachos situados em diferentes posições na embalagem (DE CASTRO et al., 2000).

O resfriamento de morango com ar forçado mostrou ser o único processo comercialmente eficaz para a conservação destas frutas, diminuindo a desidratação e a deterioração das mesmas, como mostrado por NUNES et al. (1995) sobretudo, por que pequenos volumes de frutas embaladas foram periodicamente resfriadas, diminuindo o intervalo entre a colheita e o resfriamento.

A qualidade físico-química e a ocorrência de lanosidade em pêssegos 'Chiripa' foram determinadas após o resfriamento com ar forçado e água gelada e posterior armazenamento refrigerado com atmosfera controlada, por KLUCH et al., (2003), comprovando que não houve diferença na qualidade dos produtos quando resfriados com água e ar. No entanto, após três dias de armazenamento, a firmeza da polpa manteve-se mais elevada naqueles que foram resfriados e armazenados a $0,5^{\circ}\text{C}$.

Melões amarelos são geralmente resfriados com ar forçado até temperaturas entre 10 a 15°C , para logo serem armazenados à temperatura próxima de 10°C , devendo-se tomar cuidado para não submetê-los a temperaturas inferiores a 5°C podendo prejudicar o sabor (MICCOLIS & SALTVEIT, 1995).

Como mostrado por BAGSHAW et al. (1994), o resfriamento de lichias em câmaras de armazenamento é relativamente lento, podendo levar até dois dias para atingir 5°C na polpa. Já ALMEIDA (2007) comprovou que, se as lichias são resfriadas rapidamente até 3°C e mantidas sob temperaturas que não ultrapassem na polpa os 5°C , com umidade relativa do ar de até 95%, tendem a serem menos susceptíveis a desidratação e desenvolvimento de doenças.

Pelas vantagens do resfriamento com ar forçado, aplicável a todos os produtos, associado à agregação de valor aos produtos hortícolas, o investimento no Brasil torna-se promissório, desde que o dimensionamento, a instalação

e a operação sejam feitas de forma adequada e coerente com a realidade e características dos produtores e dos produtos, para permitir uma adequada relação custo-benefício.

Resfriamento com água gelada

O resfriamento com água gelada consiste essencialmente em diminuir a temperatura do produto, com água resfriada previamente. O produto pode ser colocado em contato com a água por imersão, aspersão ou lavagem, havendo vários desenhos disponíveis comercialmente, diferenciando-se entre si pela eficiência do resfriamento e custos (ASHRAE, 1998a; MITCHELL, 2002).

O produto, embalado ou a granel, pode ser imerso utilizando esteiras num tanque contendo água, que é circulada por bombas e resfriada previamente. Os produtos resfriados a granel podem ser armazenados sob refrigeração e embalados posteriormente, permitindo maior flexibilidade aos produtores. Quando resfriados por aspersão, a água é pulverizada nos produtos embalados ou paletizados. O tempo de resfriamento dos produtos depende da quantidade, temperatura inicial do produto e vazão de água.

Para realizar o resfriamento com água por aspersão, recomendam-se taxas de $0,6$ a $1 \text{ m}^3 \times \text{m}^2$ de superfície a ser resfriada. Tanto para o resfriamento por aspersão como por imersão, a quantidade de água necessária deve ser calculada aplicando-se o balanço de calor e cálculo de carga térmica do processo. A qualidade da água é muito importante, devendo ser tratada e adicionado cloro, não devendo ultrapassar a quantidade de 80 ppm de cloro livre, para que este aja como desinfetante (ASHRAE, 1998a; CORTEZ, et al., 2002b). THOMPSON & CHEN (1988) propõem concentrações de até 100 ppm, para evitar o acúmulo de fungos e bactérias na água.

Para conseguir maior eficiência no resfriamento com água gelada, em termos de tempo, recomenda-se o contato direto entre produto e água. Quando a água é aspergida, a distribuição pode ser não homogênea, provocando-se um resfriamento também não homogêneo, à diferença da imersão, onde o contato entre a água e o produto é mais direto, ficando todos expostos à mesma condição quase que instantaneamente. Também pode ser feita a combinação de

imersão e aspersão, submergindo inicialmente o produto na água por algum tempo, retirando-os gradualmente e colocando-os no sistema por aspersão (BROSNAN & SUN, 2001).

A combinação de ambas as técnicas pode trazer benefícios à eficiência do resfriamento, obtendo-se tempos até duas vezes menores, se comparado ao tempo quando submetidos os produtos apenas à imersão ou aspersão, pois a água entra em contato diretamente com os produtos na imersão, havendo uma redução da temperatura da superfície muito mais rápida, para logo retirar a outra parte da carga térmica contida nos produtos durante a aspersão.

Recomenda-se o resfriamento com água apenas para produtos que tolerem este meio de resfriamento e que não sejam danificados pelo cloro adicionado, assim como por agentes contaminadores que eventualmente possam ficar na água. A recirculação da água também pode ser um risco, ao provocar contaminação por acúmulo de fungos e bactérias na água, danificando os produtos, desde que as boas práticas de tratamento da água e higienização dos equipamentos não sejam atendidas (GRECO et al., 1998). No entanto, se os devidos cuidados forem tomados, o resfriamento com água torna-se uma opção muito interessante, pois as taxas de transferência de calor são altas, diminuindo-se o tempo de resfriamento ao mesmo tempo em que os produtos são higienizados.

A título de exemplo, o resfriamento de aspargos, combinando lavagem e resfriamento num único processo (água tratada com 100 mg de cloro por litro e pH próximo de 7,0), mostrou-se eficiente, desde que ajustada a concentração de cloro e pH várias vezes por dia, após a análise da água (LALLU et al., 2000). Após o resfriamento de morango com água gelada não houve desenvolvimento de fungos, quando comparado com o ar forçado, já que a água foi tratada com cloro (FERREIRA et al., 1996). Ocorrência de podridões em maior quantidade foi observada em pêssegos resfriados com água gelada a 0,5°C quando comparado com o resfriamento com ar à mesma temperatura (KLUCH et al., 2003).

Uma vantagem do uso de água como meio de resfriamento está relacionada com as perdas de peso, as quais podem ser evitadas, como comprovado por GILLIES & TOIVONEN (1995), quando resfriaram brócolis com água,

comprovando que perderam menos peso que quando resfriaram com gelo. No entanto, HACKETT et al. (1987) não encontraram perda significativa no peso de brócolis resfriados com ar forçado, durante 15 horas e umidade relativa do ar de 95%.

ALMEIDA (2007) relata que para o resfriamento de lichias recomenda-se água gelada, pois o calor das frutas será retirado em tempos menores e sem perda de peso, ao contrário do que quando resfriadas com ar forçado. Isto porque a eficiência do resfriamento com água é maior do que com ar forçado, podendo obter tempos de resfriamento entre 20 a 30 minutos, ao invés de várias horas.

O tempo de resfriamento de laranjas 'Valência' resfriadas em câmara convencional, com ar forçado e com água gelada, foi em média de 380 minutos na câmara convencional, (aproximadamente 6,5 horas), 138 minutos, com ar forçado e de 57 minutos, com água gelada, diferenças entre 63 a 85% entre ambos (TERUEL et al., 2002b).

No resfriamento com água a taxa de transferência de calor é alta, devido aos altos valores do coeficiente convectivo de transferência de calor, que pode ser de até $500 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para água em movimento. No entanto, quando o ar escoa a baixa velocidade, o valor pode ser de apenas $5 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, como nas câmaras convencionais e em torno de $20 \text{ a } 50 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ com ar forçado (ASHRAE, 1998a).

Durante o resfriamento de laranjas 'Valência' com ar e com água gelada, foram determinados os coeficientes convectivos de transferência de calor, aplicando um modelo matemático. Quando resfriadas com ar forçado e velocidade em torno de $1,5 \text{ m s}^{-1}$, o coeficiente foi em média de $56 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ atingindo a condição de resfriamento em 125 minutos. No entanto, durante o resfriamento com água, o coeficiente atingiu valores em torno de $353 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ resfriando-se em 45 minutos, representando diferenças de 84 a 64%, do coeficiente e tempo de resfriamento, respectivamente (TERUEL et al., 2002c).

Tomates cereja foram submetidos a três tipos de resfriamento psicrométrico (ar resfriado por contato direto com serpentina aletada, ar resfriado com água gelada e resfriamento evaporativo do ar), avaliados o pH, sólidos solúveis totais e acidez titulável das frutas após o

resfriamento e comparado com o resfriamento em geladeira a 6°C. Os processos de resfriamento do ar através de serpentina aletada e por contato direto com água gelada se mostraram mais adequados para a conservação da qualidade do produto do que o processo de resfriamento evaporativo do ar (LEAL et al., 2001).

O resfriamento com uma mistura de água e ar, em forma de spray, é uma variante do sistema de resfriamento com água. A vantagem deste sistema é a possibilidade de diminuir a quantidade de água necessária para o resfriamento, diminuindo o potencial de contaminação. Esta variação do sistema tem aplicabilidade em maior variedade de produtos (BROSNAN & SUN, 2001). A título de exemplo, NOOHORM et al. (1988), encontraram tempos de resfriamento menor em pepino, manga e papaia, quando resfriados com uma mistura de água e ar, em relação ao resfriamento com água e ar forçado.

Produtos folhosos não devem ser resfriados com água gelada, porque grande parte da água pode ficar retida nas folhas, conduzindo à deterioração, crescimento de fungos, podridões e a descoloração da superfície (BROSNAN & SUN, 2001). Acerola, ameixa, amora, cereja, goiaba, lichia, maçã, nectarina, pêras, uvas, aspargos, beterraba, brócolis, cenoura, aipo, abóboras, milho doce, nabos e rabanete, podem ser resfriados com água gelada (NOOHORM et al., 1988; KADER, 2002).

As embalagens submetidas ao resfriamento com água devem ser impemeáveis a este meio, evitando a absorção, que provocará a perda de resistência das mesmas, comprometendo a proteção do produto durante as operações de armazenamento e transporte. De igual forma, as embalagens devem possuir orifícios posicionados que possibilitem o escoamento da água, evitando seu acúmulo dentro das embalagens. Devido ao custo relativamente alto do resfriamento com água, sem comparação com ar forçado, estes devem ser usados quando a relação custo-benefício justifique o investimento (BROSNAN & SUN, 2001).

Resfriamento com gelo

O uso de gelo como meio de resfriamento é uma alternativa para aumentar as vantagens do resfriamento com água. A capacidade frigorífica aumenta significativamente, porque o gelo pode fornecer frio de forma prolongada. Ainda

se o gelo for produzido fora do horário do pico das tarifas de energia elétrica, pode se tornar atrativo do ponto de vista econômico. O resfriamento dá-se em função da colocação do gelo acima dos produtos, no interior das embalagens, ou mesmo na parte superior dos paletes, que depois de armazenados e transportados, mantém a temperatura do produto próxima daquela recomendada até a comercialização. O contato com a superfície do produto faz com que o gelo absorva o calor dos produtos durante as operações posteriores à embalagem, havendo a diminuição da temperatura, na medida que o gelo derrete.

O gelo pode ser fabricado em forma de neve (gelo tipo frappé), escamas ou gelo amassado, e dependendo como o gelo for distribuído, poderá haver falta de homogeneidade no resfriamento dos produtos. Misturas de gelo e água podem favorecer a homogeneidade do resfriamento, dependendo do produto e da embalagem (VIGNEAULT & CORTEZ, 2002; MITCHELL, 2002).

O gelo líquido é uma mistura de água e gelo que é preparada misturando o gelo, em pedaços ou escamas, com água, e que é bombeado ou aplicado, no interior das embalagens contendo os produtos. A aplicação pode ser feita por ejetor, por debaixo do qual são transportadas as embalagens com a tampa superior abertas, permitindo o contato direto da mistura com os produtos. Se as embalagens estiverem fechadas o gelo pode ser injetado através dos orifícios laterais.

Em resfriamentos com água, requerem-se embalagens com orifícios superiores e inferiores para o escoamento da água, assim como embalagens de papelão impemeabilizadas. KADER (2002) relata que quando usado gelo para o resfriamento de alface, o peso da embalagem pode aumentar em até 15 kilogramas. Embalagens de madeira também não devem ser usadas para o resfriamento com água ou gelo, pois haverá absorção, facilitando o desenvolvimento de fungos e bactérias.

O resfriamento de brócolis aplicando gelo acima dos produtos, mostrou-se mais eficiente se comparado com ar forçado, mantendo-os mais túrgidos e viçosos, atrasando a senescência e a abertura dos floretes em até uma semana (GILLIES & TOIVONEN, 1995). Ainda recomenda-se que, para curtos períodos de transporte, a aplicação direta de gelo nos produtos pode manter a temperatura dos mesmos

até a comercialização, podendo, nesses casos, não ser necessário o transporte frigorificado.

A decisão de investimento em resfriamento com gelo ou mistura com gelo e água deve tomar em consideração a relação custo-benefício. Embora sejam necessários equipamentos relativamente pequenos, este deve produzir grandes quantidades de gelo, unido à necessidade de embalagens resistentes à água, aumentando os custos. Por outro lado, alguns trabalhos consideram esta tecnologia custosa e ineficiente, destacando que o gelo depositado em toda a superfície do produto provoca danos pelo frio e cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de fungos e podridões (BROSNAN & SUN, 2001). Usando gelo ou mistura de água e gelo, podem ser resfriadas hortaliças como: couve de Bruxelas, couve-flor, rabanete, nabo, cenoura, repolho, brócolis e pepino (ASHRAE, 1998; KADER, 2002).

Resfriamento a vácuo

A tecnologia de resfriamento a vácuo foi introduzida comercialmente em Salinas, na Califórnia, em 1948, para o resfriamento de alface Iceberg. Atualmente, a tecnologia é usada em países de América do Norte e Europa (CORTEZ et al., 2002c). Consiste em retirar o calor dos produtos pela evaporação da água contida neles. A evaporação da água acontece pela redução da pressão na superfície do produto até certo valor, diminuindo assim a temperatura da superfície do produto.

O princípio tem base no resfriamento evaporativo, onde o calor de evaporação da água (calor latente) é fornecido pelo calor sensível do produto, provocando-se a redução da temperatura. O vapor de água é condensado usando refrigeração auxiliar, devendo ser retirado do processo. O resfriamento à vácuo tende a ser mais eficiente se comparado com as tecnologias anteriormente discutidas, reduzindo o tempo de resfriamento dos produtos (THOMPSON & RUMSEY, 1984; HASS & GUR, 1987; TURK & CELIK, 1993).

O processo a vácuo ocorre em duas fases; na primeira fase, a pressão na câmara de vácuo é reduzida desde o valor atmosférico até aproximadamente 20 MBar. Durante esse tempo, a evaporação é lenta e o resfriamento é pequeno, podendo a temperatura do produto se manter

constante até que a pressão de saturação seja atingida. Aproximadamente nessa pressão, a água do produto começa a evaporar e o produto se resfria rapidamente. A pressão é reduzida então até a pressão que corresponde à temperatura final desejada. Na prática, a maioria dos operadores não diminuem a pressão a um valor menor de 6,0 MBar (pressão de saturação que corresponde à temperatura de 0°C), devido ao risco que implica e a possibilidade de congelamento da superfície dos produtos. Operacionalmente, para impedir que a superfície dos produtos congele antes de atingir a temperatura desejada, pode-se desligar a bomba de vácuo, mantendo a temperatura de saturação acima de 0°C (DIRISIO, 1994). No entanto, os gradientes de temperatura são pequenos durante o resfriamento, pelo que é conveniente que haja um monitoramento do processo para evitar congelamento (TURK & CELIK, 1994).

A velocidade do resfriamento é limitada pela transferência de calor e massa, ou seja, a taxa de evaporação da água da superfície e dos tecidos internos. Portanto, o tempo de resfriamento depende da área superficial do produto, peso, volume e facilidade com que a água pode sair dos tecidos, recomendando-se para produtos que possuem grande relação de área-volume (RYDER & WHITAKER, 1980; GRITTANI & PASQUALONE, 1988). Como o resfriamento dos produtos dá-se em função da quantidade de água evaporada, um produto com capacidade calorífica de 1092 kJ kg⁻¹ terá, teoricamente, uma perda de 1% de água para cada 6°C de redução de temperatura (RYDER & WHITAKER, 1980).

A alface é um dos produtos que pode ser resfriado a vácuo com êxito, pois a área de superfície é grande e com numerosas folhas que liberam água com rapidez e facilidade, resfriando-se em menor tempo (RYDER & WHITAKER, 1980). O tempo de resfriamento destes produtos pode estar entre 20 a 30 minutos, sendo necessárias várias horas para resfriá-las em câmaras frigoríficas convencionais (PASQUALONE, 1986; TURK & CELIK, 1994; KIM et al., 1995).

O resfriamento a vácuo, seguido de armazenamento a 0°C, pode aumentar a vida útil de alface em até 40 dias, como comprovado por KIM et al. (1995a), que também

submeteu o mesmo produto ao resfriamento em câmaras frigoríficas, tendo então a vida útil reduzida para 20 dias.

O resfriamento de cogumelos à vácuo, até a temperatura até 1°C, foi feito em 20 minutos, sendo que em câmara frigorífica o tempo variou de 8 a 13 horas. Morangos resfriados à vácuo demoraram 24 minutos para atingirem a temperatura de 1°C, não sendo reportadas perdas de peso significativas (PASQUALONE, 1986). Aproximadamente 30 minutos após o início do resfriamento a vácuo, hortaliças de forma e tamanho variados, podem atingir temperaturas

entre 14 e 1°C, como mostrado por BROSANAN & SUN (2001) (Tabela 2).

Os investimentos para resfriamento a vácuo são maiores se comparado à sistemas com ar, água ou gelo, destacando que a aplicação é restringida a produtos com vida útil limitada, onde é necessário curtos tempos de resfriamento. A implementação da tecnologia se justifica principalmente para grandes produtores ou cooperativas de produtores, embora existam equipamentos portáteis com menor custo (BROSANAN & SUN, 2001).

Tabela 2. Temperatura de hortaliças após 30 minutos de resfriamento à vácuo

Produto	Temperatura (°C)	Produto	Temperatura (°C)
Cenoura	14,0	Ervilha	6,0
Vagem	12,0	Brócolis	5,5
Couve-flor	10,5	Milho	4,5
Aspargo	7,0	Alface	1,0
Aipo	7,0	Cebola verde	1,0

Fonte: BROSANAN & SUN, 2001.

Devem-se tomar em consideração também, para investir no resfriamento a vácuo, os limites de perda de água permitidos para cada produto sem afetar a qualidade, pois como dito, a cada 5 a 6°C de redução de temperatura, evapora-se até 1% da água contida nos produtos.

Uma solução que pode ser adotada é o uso de sacos plásticos perfurados para embalar os produtos, pois como mostrado por TURK & CELIK (1993), haverá menores perdas de água, traduzidas em perdas de peso. Outra prática que pode ser adotada é a pulverização de água sobre os produtos, antes de serem colocados na câmara a vácuo. A pulverização da água pode se dar aplicando estratégias de controle e sem interferência de operadores na aplicação, garantindo doses adequadas ao tipo de produto (SUN, 1999). A título de exemplo, a pulverização de água acima de alfaces contidas em sacos plásticos perfurados, reduziu as perdas de água entre 1 a 2%, se comparado com o resfriamento sem pulverização (PASQUALONE, 1986).

Cogumelos frescos (variedade *Pleurotus*) foram resfriados a vácuo, comprovando-se que para cada 3-4°C foram obtidas perdas de peso de aproximadamente 1%. A aspersão prévia com água destilada promoveu uma maior

homogeneidade do resfriamento e compensou a perda de peso efetiva associada ao processo (APATI & FURLAN, 2006).

Produtos como espinafre, escarola, aspargos, ervilhas verdes, brócolis, couve de Bruxelas, repolho, couve-flor, aipo, milho doce, salsinha, cebolinha e cogumelos, poderiam ser resfriados a vácuo. No entanto, à escala comercial apenas são resfriados, alface, couve-flor, aipo, repolho, espinafre e cogumelos (SUN, 1999a).

Custos de resfriamento

Na avaliação de investimento em tecnologias de resfriamento, um critério a ser tomado em consideração são os custos envolvidos, pois estes contribuem significativamente na formação do preço final do produto. Os custos relacionados ao resfriamento variam em dependência dos custos fixos e variáveis de cada sistema. O custo capital, consumo de água e energia elétrica, assim como as tarifas, incidem com a maior parcela no custo total.

Uma alternativa para a diminuição do consumo de energia elétrica durante o resfriamento, respeitando a qualidade do produto e do resfriamento, está na aplicação

de técnicas de automação e controle, relacionando, por exemplo, a quantidade de massa de produto com vazão de ar dentro dos limites recomendados, como comprovado por TERUEL et al., (2008). Os autores propuseram um equipamento micro-processado, desenvolvido com interface homem-máquina, através do qual é introduzida pelo usuário a massa de produto em kilogramas, gerando-se uma resposta para atuação do inversor de frequência, para variação da rotação no motor do ventilador de ar forçado, variando-se a vazão. Por ser de fácil manuseio, instalação e operação, e com valor de investimento acessível ao produtor agrícola, somado à economia de energia que pode gerar e que fará com que o tempo de retorno do investimento seja menor do que dois anos, a tecnologia pode se tornar uma solução, visando também a qualidade dos produtos.

A título de exemplo, para o resfriamento de 700 kg de produtos, com vazão nominal de $3.960 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (equivalente a $0,002 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ kg produto}^{-1}$), a potência útil mecânica é de 3,73 kW. Se reduzida a rotação, a potência útil mecânica se reduz para 3,1 kW, o que pode gerar economia no consumo de energia elétrica, num ano, de até 82%.

O custo capital pode ser minimizado com o uso de equipamentos e tecnologias com adequada relação custo-benefício e, em alguns casos específicos, até com o transporte do sistema até o campo. Na Califórnia, os resfriadores a vácuo são transportados até os locais da colheita durante o ano, podendo ser usados sem custo adicional (GAFFNEY & TALBOT, 1988; GAFFNEY & BAIRD, 1991; FRASER & OTTEN, 1992).

O consumo de energia elétrica também pode ser sensivelmente diminuído, se alguns cuidados e boas práticas forem adotados. Dentre as tecnologias de resfriamento, aquele que usa ar forçado tem mostrado melhor relação custo-benefício, devido ao custo capital e custos variáveis menores. Desde o ponto de vista da cadeia do frio, quando implementado o resfriamento rápido antecedendo o armazenamento refrigerado, o dimensionamento dos equipamentos de refrigeração para esta finalidade será feito para a retirada de cargas térmicas menores, em função da diminuição do gradiente de temperatura, trazendo redução nos custos fixos e variáveis. A temperatura inicial dos produtos e a recomendada além do tipo de embalagem, como já foi discutido, afetam

significativamente o tempo de resfriamento e, ao mesmo tempo, os custos (KADER, 2002).

A estimativa dos custos de resfriamento permite avaliar o investimento em refrigeração, em termos do custo final dos produtos e de tempo de retorno do investimento, obtendo subsídios para a tomada de decisão. Alguns trabalhos reportados na literatura, têm apresentado resultados do cálculo destes custos, com base em metodologias da área de estudos econômicos. GAFFNEY & BOWMAN (1971), por exemplo, determinaram os custos de resfriamento de frutas cítricas resfriadas com ar forçado (3 milhões de embalagens de 40 kg cada uma), acondicionadas em embalagens de papelão e a granel. Nas frutas resfriadas nas embalagens de papelão, o custo foi de US\$ 0,53 por caixa, sendo que a granel o custo por kilograma resfriado foi de US\$ 0,62. Outros estudos reportam custos de US\$ 0,50 à US\$ 0,95 por kilograma de produto, com velocidade do ar entre 0,3 a 2 m s^{-1} .

A influência do tempo de resfriamento no custo foi estudada por BAIRD et al. (1988), sendo de US\$ 0,10 à US\$ 0,14 por kilograma, quando resfriados a granel em cinco horas. Para produtos acondicionados em embalagens com área efetiva de aberturas de 1% de área efetiva o tempo de resfriamento foi de seis horas com um custo de US\$ 0,43 por kilograma. Os cálculos também mostraram que, para um tempo de resfriamento dos produtos de duas horas, em embalagens com área efetiva de abertura de 9%, o custo pode diminuir para US\$ 0,06 por kilograma.

Os custos de resfriamento também podem ser significativamente maiores quando usadas câmaras de armazenamento refrigerado como única opção de resfriamento, como mostra o estudo desenvolvido por TERUEL et al. (2002d), quando resfriaram laranjas 'Valência' com ar forçado e em câmara frigorífica, utilizando embalagens plásticas (20% de área efetiva de abertura) e de papelão (3% de área efetiva de abertura). Quando resfriadas com ar forçado, os custos foram de R\$ 0,27 e R\$ 0,41 por caixa de 20 kg, para as embalagens plásticas e de papelão, respectivamente. Já quando resfriadas utilizando a câmara frigorífica, os custos quase dobraram, aumentando para R\$ 0,34 e R\$ 0,65, para os dois mesmos tipos de embalagens.

Dependendo da avaliação previa do custo de resfriamento e da contribuição deste no custo total do

produto, o investimento em uma determinada tecnologia de resfriamento pode ser ou parecer inviável, ou, até mesmo, a não avaliação e desconhecimento prévio podem desestimular o investimento. Sendo assim, recomenda-se que haja uma avaliação prévia do investimento, fazendo-se a estimativa dos custos fixos, variáveis e de resfriamento, tempo de retomo do investimento e viabilidade do mesmo, para cada situação em particular, atendendo ao produto (valor agregado, época de safra, volume produzido, vida útil, tolerância ao meio de resfriamento), tipo de embalagem, operações de beneficiamento, logística e aspectos mercadológicos, assim como aos aspectos financeiros relacionados com o empreendimento e empreendedor, para que haja a seleção adequada do tipo de resfriamento a ser recomendado em cada situação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do resfriamento após a colheita e durante as operações de armazenamento, transporte e comercialização foi discutido através de resultados de pesquisas, visando a aplicação para frutas e hortaliças. É importante destacar que a retirada do calor do produto logo após a colheita se traduz, não só na redução do tempo de resfriamento, como também na redução do intervalo de tempo entre a colheita e as operações de beneficiamento e de resfriamento.

O investimento em tecnologias de resfriamento no Brasil contribuirá de forma significativa na redução de perdas, quantitativas e qualitativas, de frutas e hortaliças, agregando valor, com aumento do tempo de vida útil, atingindo novos mercados e consolidando os que já existem.

Ressalta-se ainda que não basta apenas resfriar, é indispensável que frutas e hortaliças para o consumo *in natura* sejam mantidas na cadeia do frio até a mesa do consumidor, contribuindo positivamente para a satisfação do cliente e garantindo lucro aos produtores.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, G.; LETANG, G. Transferts de chaleur et de matiere au sein d'un échangeur de type "palette". **Revue du Froid**, France, v. 47, p. 47-49, 1994.

ANBA. Agência de notícias Brasil-Árabe. <http://www.anba.com.br/noticia.php?id=11961>. Acesso em 07 de janeiro de 2007.

ANSARI, F.A.; AFAQ, A. Precooling of cylindrical food products. **International Journal of Refrigeration**, France, v.9, n.5, p.161-163, 1986.

ARIFIN, B.B., CHAU, K.V. Forced air cooling of strawberries. **American Society of Agricultural Engineers: ASAE**, Paper no. 87-6004, St. Joseph, USA, 1987.

ARIFIN, B.B., CHAU, K.V. Cooling of strawberries in cartons with new vent hole designs. **ASHRAE Transactions**, EUA, v.92, n.1, p.1415-1426, 1988.

ASHRAE. Commodity Storage Requirements. In: **Refrigeration Systems and Applications Handbook**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1998, cap. 25. p.2-3.

ASHRAE. Methods of precooling Fruits, Vegetables and Cut Flowers. In: **Refrigeration Systems and Applications Handbook**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1998a, cap. 10. p.1-10.

ASHRAE. Refrigerated Warehouse Design. In: **Refrigeration Systems and Applications Handbook**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1998b, cap. 24. p.1-13.

ALMEIDA, G.H. Pós-colheita de Lichia. Portal Toda Fruta. http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=8728. Acesso em 07 de janeiro de 2007.

APATI, G.P.; FURLAN, S.A. Resfriamento a Vácuo de Cogumelos Comestíveis *Pleurotus streatus*. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.9, n.4, p.249-256, 2006.

BAIRD, C.D.; GAFFNEY, J.J.; KINARD, D.T. Research facility for forced-air precooling of fruits and vegetables. **Transactions of the ASAE**, EUA, v.18, p.1-3, 1975.

BAIRD, C.D.; GAFFNEY, J.J.; TALBOT, M.T. Design criteria for efficient and cost effective forced-air cooling systems for fruits and vegetables. **ASHRAE Transactions**, EUA, v.94, p.1434-1453, 1988.

BAGSHAW, J.; UNDERHILL, S.J.; DAHLER, J. Lychee hydrocooling. **Queensland Fruit and Vegetable News**, Australia, v.16, p.12-13, 1994.

- BOYETTE, M.D.; ROHRBACH, R.P. A low-cost, portable, forced-air pallet cooling system. **American Society of Agricultural Engineers**, EUA, v.9, n.1, p.97-104, 1994.
- BRACKMANN, A.; HUNSCHE, M.; LUNARDI, R. Efeito do atraso no início do armazenamento e do tempo de pré-resfriamento sobre a qualidade da maçã 'Gala'. **Revista Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.25, n.1, p.143-148, 2001.
- BRECHT, J.K.; SARGENT, S.A.; HOCHMUTH, R.C.; et al. Postharvest quality of supersweet sweet corn cultivars. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Florida, v.103, p.283-288, 1990.
- BROSNAN, T.; SUN, D.W. Precooling techniques and applications for horticultural products- a review. **International Journal of Refrigeration**, France, v.24, p.154-170, 2001.
- CAMARGO FILHO, W. P. Perspectivas dos mercados de tomate para indústria e mesa. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.31, n.5, 2001.
- CASTRO, L.; VIGNEAULT, C.; CORTEZ, L.A. Container opening design for horticultural produce cooling efficiency. **Food, Agriculture & Environment**, Canada, v.2, n.1, p.135-140, 2004.
- CASTRO, L. R. VIGNEAULT, C.; CORTEZ, L. A. Effect of container openings and airflow rate on energy required for forced-air cooling of horticultural produce. **Canadian Biosystem Engineering**, Canada, n.21, p.3.1-3.9, 2005.
- CEAGESP. Central de Abastecimento do Estado de São Paulo. A embalagem de manga. Um exemplo de desrespeito ao mercado interno. Disponível em: www.ceagesp.gov.br/qualidade/tecnicas/estudos/anexos/a_embalagem_de_manga_pdf/download Acesso em 10 de dezembro de 2006.
- CHAU, K.V.; GAFFNEY, J.J. A finite difference model for the heat and mass transfer in products with internal heat generation and transpiration. **Journal of Food and Science**, EUA, v.3, p.484-487, 1990.
- CHAU, K.V.; GAFFNEY, J.J.; BAIRD, C.D.; et al. Resistance to air flow of oranges in bulk and in cartons. **Transactions of ASAE**, EUA, v.28, n.6, p.2083-2088, 1987.
- CHITARRA, F.M.; CHITARRA, A.B. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças. Fisiologia e Manuseio**, Lavras, 1990. 293 p.
- CORTEZ, L.A.; HONORIO, S.; NEVES Filho, L.C; et al. Importância do resfriamento para frutas e hortaliças no Brasil. In: CORTEZ, L.A.; HONORIO, S.; MORETTI, C. L (Eds). **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2002a, cap. 1, p.17-34.
- CORTEZ, L.A.; VIGNEAULT, C.; CASTRO, L. Método de resfriamento rápido por água gelada. In: CORTEZ, L. A.; HONORIO, S.; MORETTI, C. L (Eds). **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2002b, cap. 12, p. 273-281.
- CORTEZ, L.A.; SIQUEIRA, V.; AFONSO, M.R. A Método de resfriamento rápido a vácuo. In: CORTEZ, L. A.; HONORIO, S.; MORETTI, C. L (Eds). **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2002c, cap. 14, p. 311-330.
- DE CASTRO, J.V.; PARK, K.J.; HONÓRIO, S.L. Determinação de curvas de resfriamento de uvas 'Itália' em dois sistemas de acondicionamento. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.1, p.34-44, 2000.
- DENNIS C. Effect of storage and distribution conditions on the quality of vegetables. **Acta Horticulturae**, Bélgica, v.163, p. 85-104, 1984.
- DINCER, I. An effective method for analyzing of precooling process parameters. **International Journal of Energy Research**, USA, v.19, p.95-102, 1995.
- DINCER, I. Air flow precooling of individual grapes. **Journal of Food Engineering**, EUA, v.26, p.243-249, 1995a.
- DIRISIO T. Steam ejector vacuum systems keep food processors cool. **Food Processing**, EUA, v.1, p.73-74, 1994.
- DUSSAN-SARRIA, S.; HONORIO, S.L.; NOGUEIRA, D.H. Precooling parameters of 'Roxo de Valinhos' figs (*Ficus carica* L.) packed in a carton Box. **Fruits**, France, v.61, n.6, p. 401-405, 2006.
- EDEGOU, I.; FEDDES, J.; LEONARD, J. Comparison between vertical and horizontal air flow for fruit and vegetable precooling. **Canadian Agricultural Engineering**, Canada, v.39, n.2, p.107-112, 1997.
- ÉMOND, J.P.; MERCIER, F.; SADFA, S.O. et al. Study of parameters affecting cooling rate and temperature distribution in forced-air precooling of strawberry. **Transactions of the ASAE**, EUA, v.39, n.6, p.2185-2191, 1996.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<http://www.fao.org/docrep/005/Y4358E/y4358e05.htm#TopOfPage>. Acesso em 07 de janeiro de 2007.

FERREIRA, M.D.; BARTZ, J.A.; SARGENT S. A. et al. An assessment of the decay hazard associated with hydrocooling strawberries. **Plant Disease**, EUA, v.80, n.10, p.1117-1122, 1996.

FRASER, H. W. **Forced-air rapid cooling of fresh Ontario fruits and vegetables**. Toronto: Ministry of Agriculture and Food. AGDEX 202-736. 4p, 1991.

FRASER, H.; OTTEN, L. Predicting $7/8$ cooling times for peaches by comparing heat transfer modeling and field measurement methods. **American Society of Agricultural Engineers**. ASAE, EUA. Paper no. 92-6016. 10 p, 1992.

FUNES, R.A.; CORREIA, E.; TERUEL, B.M. Tecnologias para desenvolvimento de embalagens para produtos hortícolas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1 (no prelo), 2008.

GAFFNEY J.J.; TALBOT M.T. Design criteria for efficient and cost effective forced air cooling systems for fruits and vegetables. **ASHRAE Transactions**, EUA, v.92, p.1434-1441, 1988.

GAFFNEY, J. J.; BAIRD, C.D. Factors affecting the costs of forced air cooling of fruits and vegetables. **ASHRAE Journal**, EUA p. 40-49, 1991.

GAFFNEY, J.J. Engineering principles related in the design of systems for air cooling of fruits and vegetables in shipping containers. In: International Conference on Handling Perishable Agricultural Commodities, n. 29. **Proceedings**. Michigan State University. 1977.

GAFFNEY, J.J.; BOWMAN, E.K. An engineering/economic evaluation of different concepts for precooling citrus fruits. **ASHRAE Symposium Bulletin**. 4-70. USA: Department Agriculture. 1971.

GAYET, J.P. Frutas do Brasil: quantidade e qualidade em desnível. **Revista Agroanalysis**. Rio de Janeiro, p.1-6, 1996.

GIBBON, J.M. Some observations of temperatures and cooling rates of vegetables in commercial cold stores. **Journal of Agricultural Engineering Research**, EUA, v.17, n.4, p.332-337, 1972.

GILLIES, S.L.; TOIVONEN, PM. Cooling method influences the postharvest quality of broccoli. **HortScience**, EUA, v.30, n.2, p. 313-315, 1995.

GOMES, M.S. **Conservação pós-colheita: frutas e hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-SPI, Coleção Saber, n.2. 1996. 134p.

GRECO, R. J.; ROBSON, M.G.; MEYER, L.W. et al. Hydro-coolers: are they a mechanism for pesticide transfer. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, EUA, v.60, n.5, p.685-692, 1998.

GRIERSON, W.; BENNETT, A.H.; BOWMAN. E.K. Forced - air precooling of citrus fruits on a moving conveyor. **United States Department of Agriculture**, EUA, ARS 52-40, 1970.

GRITTANI, P.; PASQUALONE, S. Vacuum pre-refrigeration of strawberries and influence of the treatment on their physical mechanical properties. **Rivista di Ingegneria Agraria**, Italy, v.10, p.933-939, 1988.

GUEMES, D.R.; PIROVANI, M.E., PENTIMA, J.H. Heat transfer characteristics during air precooling of strawberries. **Revue du Froid**, France, v.12, p.169-173, 1989.

GUILLOU R. Some engineering aspects of cooling fruits and vegetables. **Transactions of the ASAE**, EUA, v.1, n.1, p.938-942, 1958.

HACKETT, J.M.; MOREY R.V.; THOMPSON, D.R. Precooling of fresh market broccoli. **Transactions of the ASAE**, EUA, v.30, n.5, p.1489-1493, 1987.

HASS, E.; FELSENSTEIN G.; SHITZER A. et al. Factors affecting resistance to air flow through packed fresh fruit. **ASHRAE Transactions**, EUA, v.82, n.2, p.548- 551, 1976.

HASS, E.; GUR, G. Factors affecting the cooling rate of lettuce in vacuum cooling installations. **International Journal of Refrigeration**, France, v.10, p.83- 86, 1987.

IEA. **Instituto de Economia Agrícola**. <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=563>. Acesso em 05 de janeiro de 2007.

JACOBI, K.K; MACRAE, E.A.; HETHERINGTON, S.E. Effects of hot air conditioning of 'Kensington' mango fruit on the response to hot water treatment, **Postharvest Biology and Technology**, EUA, v.21 p.39-49, 2000.

KADER, A.A. **Postharvest technology of horticultural crops**, 3. ed. Publication n. 3311. Oakland: Cooperative Extension of University of California. Division of Agriculture and Natural Resources, 2002, 535p.

KIM, B.S.; KIM, D.C.; LEE, S.E. et al. Freshness prolongation of crisphead lettuce by vacuum cooling.

- Agricultural Chemistry and Biotechnology**, EUA, v.38, n.3, p.239-247, 1995.
- KLUCH, H.D. W; MELLO, A.M.; FREITAS, S. T. et al. Efeito do pré-resfriamento e condições de armazenamento sobre a qualidade físico-química e lanosidade de pêssegos cv. Chiripá. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.9, n.3, p.269-272, 2003.
- LAMBRINOS, G.; ASSIMAKI, H.; MANOLOPOULOU, H.; et al. Air precooling and hydrocooling of Hayward Kiwifruit. **Acta Horticulturae**, Belgium, v.444, p.561-566, 1997.
- LALLU, N.; YEARSLEY, C.W.; ELGAR, H.J. Effects of cooling treatments and physical damage on tip rot and postharvest quality of asparagus spears. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, New Zealand, v.28, n.1, p. 27-36, 2000.
- LEAL, P.M.; TADEU, G.; HONORIO, S.L. Avaliação da qualidade do tomate cereja quando submetido a diferentes processos de resfriamento. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.1, p.82-90, 2001.
- LEE, K.A.; YANG, Y. Effects of low temperature and CA on quality changes and physiological characteristics of chilling injury during storage of squash (*Cucurbita moschata*). **Journal of the Korean Society for Horticultural Science**, Korea, v 39, n.4, p.402-407, 1998.
- LINDSAY, R.T.; NEALE, M.A.; MESSER, H.J. Ventilation rates for positive ventilation of vegetables in bulk bins. **Journal Agricultural Engineering Research**, EUA, v.28, n.1, p.33-44, 1983.
- MARCOS, S.K.; HONORIO, S.L.; JORGE, J.T. et al. Influência do resfriamento do ambiente de armazenamento e da embalagem sobre o comportamento pós-colheita do milho verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.41-44, 1999.
- MARTÍNEZ-JÁVEGA, J.M., CUQUERELLA, J.M.; DEL RIO, M. A. et al. Effects of precooling, packaging film, modified atmosphere and ethylene absorber on the quality of refrigerated Chandler and Douglas strawberries. **Food Chemistry**, EUA, v.48, p.183-193, 1993.
- MICCOLIS, V.; SALTVEIT, M.E. Influence of storage period and temperature on the postharvest characteristics of six melon (*Cucumis melo L., Inodorus Group*) cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, EUA, v.5, n.3, p.211-219, 1995.
- MITCHELL, F.G. Cooling of horticultural commodities. In: KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. Division of Agriculture and Natural Resources. Davis: University of California, n. 3311, 2002. 295p
- MITCHELL, F.G. Packages for horticultural crops. In: KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**, 3. ed. Publication n. 3311. Oakland: Cooperative Extension of University of California. Division of Agriculture and Natural Resources, 2002, 535p.
- MOHSENIN, N.N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York. USA. 1980, 405 p.
- NOOHORM, A.; ILLANGANTILEKE, S.G.; GUZMAN, J.D. Precooling studies of tropical fruits and vegetables. **American Society of Agricultural Engineers**. ASAE, EUA, Paper no. 88-6588, 1988.
- NOVY, M.; KIECKBUSH, T.G. Equações para o cálculo do tempo de resfriamento em leitos de frutas esféricas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n.6, p.1-16, 1986.
- NUNES, M.C.N.; BREACHT, J.K.; MORAIS, A.M et al. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. **Postharvest Biology and Technology**, EUA, v.6, n.1-2, p.17-28, 1995.
- PARSONS, R.A.; MITCHELL, F.G.; MAYER, G. Forced-air cooling of palletized fresh fruit. **Transactions of the ASAE**, EUA, v.15, n.4, p.729-731, 1972.
- PASQUALONE, S.B. Experimental trials on the vacuum precooling of various vegetable and fruit products. **Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura**, Italy, v.48, n.2, p.45-50, 1986.
- PHAKAWATMONGKOL, W; KETSA, S.; VAN DOORN, W. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars, **Postharvest Biology and Technology**, EUA, v.32 p.115-118, 2004.
- RYDER, E.J.; WHITAKER, T.W. The lettuce industry in California: A quarter century. **Horticultural Reviews**, EUA, v.2, p.164- 207, 1980.
- SANTIAGO, M.M. D.; ROCHA, M.B. O mercado de frutas e as estimativas dos preços recebidos pelos fruticultores no Estado de São Paulo, 1990-2000. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.31, n.2, 2001.

- SHEWFELT, R.L. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. **Food Technology**, EUA, v.5, p.70-77, 1986.
- STANLEY, R. The influence of temperature and packaging material on the post harvest quality of iceberg lettuce. **Acta Horticulturae**, Belgium, v.244, p.171-177, 1989.
- SULLIVAN, G.H. DAVENPORT, L.R, JULIAN, J.W. Progress in new crops: Precooling: key factor for assuring quality in new fresh market vegetable crops. Arlington (VA): ASHS Press. p.521-524, 1996.
- SUN, D.W. Comparison of rapid vacuum cooling of leafy and non-leafy vegetables. **American Society of Agricultural Engineers**, ASAE, EUA, paper n.996117, 1999.
- SUN, D.W. Effect of pre-wetting on weight loss and cooling time of vegetables during vacuum cooling. **American Society of Agricultural Engineers**. ASAE, EUA, paper n.996119, 1999a.
- TALBOT, M.T., BAIRD, C.D. Evaluating commercial forced-air precoolers. **American Society of Agricultural Engineers**. ASAE, EUA, paper n.91-6021, 1990.
- TALBOT, M.T.;BAIRD, C.D., SARGENT, S.A. et al. **Improving forced –air cooler performance**. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Circular AE 108. 1992. 9 p.
- TALBOT, M.T.; CHAU, K.V. Precooling strawberries. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Florida. **Circular 942**. 1991. 8p.
- TERUEL, M.B.; CORTEZ, L.A.; LEAL, P.M.; NEVES Filho, L.C. Caracterização pós-colheita de laranjas `Baianinha` submetidas ao armazenamento refrigerado e a condições ambientais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.46-48, 2000.
- TERUEL, B.M.; CORTEZ, L.A.; LEAL, P.M.; LIMA, A.G. Estudo teórico do resfriamento com ar forçado de frutas de geometrias diferentes. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.21, n.2, p.228-235, 2001.
- TERUEL, B.M.; CORTEZ, L.A.; LEAL, P.M.; NEVES Filho, L.C. Resfriamento de banana-prata ar forçado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.142-146, 2002a.
- TERUEL, M.B.; CORTEZ, L.A.; NEVES Filho, L.C. Estudo comparativo do resfriamento de laranja Valência em três sistemas de resfriamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p. 481-486, 2002b.
- TERUEL, B.M.; CORTEZ, L.A.; LIMA, A.G. Heat Transfer during Fruit Cooling using Forced Air and Water. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.5, p.131-138, 2002c.
- TERUEL, M.B.; CORTEZ, L.A.; LEAL, P. M.; NEVES Filho, L.C. Avaliação preliminar dos custos de resfriamento de laranja *in natura*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.86-90, 2002d.
- TERUEL, M.B.; CORTEZ, L.A.; NEVES FO, L.C. Estudo comparativo do resfriamento de laranja Valência com ar forçado e com água. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.174-178, 2003.
- TERUEL, B.; KIECKBUSCH, T.; CORTEZ, L.A. Cooling parameters for fruits and vegetables of different sizes in a hydrocooling system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.6, p.655-658, 2004.
- TERUEL' B.M.; SILVEIRA, P.; MARQUES F.; CAPPELLI' N. Interface homem máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando economia de energia. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3 (no prelo), 2008.
- THOMPSON, J.; RUMSEY, T.R. Determining product temperature in a vacuum cooler. **American Society of Agricultural Engineers**. ASAE, EUA, paper n.84-6-543, 1984.
- THOMPSON, J.F.; CHEN, Y.L. Comparative energy use of vacuum, hydro, and forced air coolers for fruits and vegetables. **ASHRAE Transactions**, EUA, v.92, p.1427-1433, 1988.
- TRELEA, I.C.; ALVAREZ, G.; TRYSTRAM, G. Nonlinear predictive optimal control of a batch refrigeration process. **Journal of Food Process Engineering**, EUA, v.21, p.1-32, 1998.
- TURK, R.; CELIK, E. The effects of vacuum cooling on the quality criteria of some vegetables. **Acta Horticulturae**, Belgium, v.368, p.825-829, 1994.
- TURK, R.; CELIK, E. The effects of vacuum precooling on the half cooling period and quality characteristic of iceberg lettuce. **Acta Horticulturae**, Belgium, v.343, p.321-324, 1993.

VIGNEAULT, C.; GOYETTE, B.; CASTRO, L.R. Maximum slat width for cooling efficiency of horticultural produce in wooden crates. **Postharvest Biology and Technology**, EUA, v.40, p.308-313, 2006.

VIGNEAULT, C.; CORTEZ, L.A. Método de resfriamento rápido com gelo. In: CORTEZ, L.A.; HONORIO, S.; MORETTI, C.L (Eds). **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2002, cap. 13, p. 283-309.

VISSOTTO, F.Z.; KIECKBUSCH, T.G; NEVES Filho, L.C. Pré-resfriamento de Produtos-modelo Utilizando Ar-forçado. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.3, p.1-10, 2000.

VISSOTTO, F.Z.; KIECKBUSCH, T.G.; NEVES Filho. L.C. Pré-resfriamento de frutas e hortaliças com ar forçado. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.33, p.106-114, 1999.

WANG, C.Y. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. **Horticultural Review**, EUA, v.15, p.63-95, 1993.

WRIGHT, P.J.; GRANT, D.G. Effects of pre-shipping storage conditions on buttercup squash quality rots. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, New Zealand, v.27, n.4, p.337-343, 1999.