

# ESTIMATIVA DA COMPOSIÇÃO GASOSA EM EMBALAGEM DE ATMOSFERA MODIFICADA CONTENDO MANGAS (*Mangifera indica* L.) CV. KEITT<sup>1</sup>

YAMASHITA, Fábio<sup>2</sup>; TELIS-ROMERO, Javier<sup>2</sup> & KIECKBUSCH, Theo Guenter<sup>3</sup>

## RESUMO

Foram determinadas as taxas de respiração e a perda de peso e composição gasosa no interior da embalagem, de mangas embaladas individualmente em filme de polietileno de baixa densidade com espessura de 24,5 µm, armazenadas a 7°C (80-90% UR); 12°C (75-85% UR); 17°C (70-80% UR); 22°C (65-75% UR) e 25°C (65-75% UR). A partir dos resultados experimentais e equações de transferência de massa foram calculadas a permeabilidade da casca da manga ao vapor de água e a concentração de gás carbônico do espaço livre, após ter sido atingido um estado estacionário de transferência de massa. A concentração de gás carbônico calculada foi comparada com a obtida experimentalmente, tendo sido encontradas diferenças, dependendo da temperatura, entre -16% e 29%. A permeabilidade calculada da casca foi cerca de 600 vezes maior que a do filme plástico.

**Palavra chave:** manga, embalagem de atmosfera modificada, composição gasosa.

## SUMMARY

GASEOUS COMPOSITION ESTIMATION IN MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING OF MANGOS (*Mangifera indica* L.) CV. KEITT. Respiration and weight loss rate, and gaseous composition inside the packaging of mangos cv. Keitt individually sealed in a low-density polyethylene film, 24.5 µm thick, stored at 7°C (80-90% RH); 12°C (75-85% RH); 17°C (70-80% RH); 22°C (65-75% RH) e 25°C (65-75% RH) were determined. After mass transfer had reached a steady state, mango peel permeability to water vapor and concentration of carbon dioxide inside the packaging were calculated using experimental results and mass transfer equations. Calculated peel permeability was 600 times greater than plastic film. Experimental and calculated carbon dioxide concentration were compared and, according temperature, were founded differences between -16% and 29%.

**Key words:** mango, modified atmosphere packaging, gaseous composition.

## 1 - INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é o segundo fruto tropical mais produzido no mundo, apesar disso, existe apenas um pequeno comércio internacional e o Brasil produziu em 1995, aproximadamente 700.000 toneladas e exportou menos de 2% deste total (4). O alto custo das mangas é devido, principalmente, ao transporte aéreo da carga. Atualmente o transporte marítimo é uma alternativa bastante utilizada

pelos exportadores, por ser mais barato e permitir volumes maiores de carga. Entretanto, devido ao tempo longo de transporte, o fruto nem sempre apresenta uma qualidade satisfatória na chegada ao país importador (7). A embalagem de atmosfera modificada, quando bem dimensionada e associada à refrigeração, aumenta a vida de prateleira de frutos e hortaliças frescas através da manutenção de uma composição gasosa satisfatória no interior da embalagem, que reduz a atividade metabólica do produto (5, 13). O acompanhamento da composição gasosa é importante, pois caso o sistema de embalagem não seja adequado, haverá o desenvolvimento de sabor e odor não característicos pelo produto, comprometendo a sua vida útil. Entretanto, esse acompanhamento exige equipamentos e análises de alto custo, tornando-o inviável para produtores e exportadores de frutos. Outra vantagem do uso da embalagem é reduzir a perda de peso causada pela transpiração, e que pode alterar as características originais de sabor, aparência, textura e valor nutricional do produto (11). A casca da manga é razoavelmente permeável ao vapor de água, mas não foi encontrada na literatura consultada dados sobre essa permeabilidade, que permitiria prever qual a perda de peso do produto não embalado ao longo do período de armazenagem e a necessidade de se utilizar um sistema de umidificação da câmara frigorífica. O objetivo do trabalho foi prever a concentração de gás carbônico no espaço livre da embalagem e calcular a permeabilidade da casca da manga ao vapor de água, a partir dos dados de permeabilidade do filme, perda de peso do produto e das equações de transferência de massa no estado estacionário.

## 2 — MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 — Material

Foram utilizadas mangas cv. Keitt, em estágio de maturação completo, polpa firme, casca verde ou levemente avermelhada, provenientes da região de Uberlândia M.G. Brasil, com peso médio de 397 ± 44 g. Os frutos fora dos padrões de peso e estágio de maturação foram descartados, assim como os que apresentavam manchas, doenças e injúrias mecânicas. Para a embalagem, das mangas foi utilizado um filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 24,5 µm de espessura e gramatura de 25,0 g/m<sup>2</sup>, produzido pela Gil Plásticos Ind. Com. Emb. Ltda.

### 2.1.1 — Preparo das amostras

A embalagem das mangas foi feita em sacos de PEBD de 200 x 300 mm, seladas à vácuo (91 kPa), sem injeção posterior de gases, numa seladora Selovac modelo CV 60. A embalagem ficou aderida a casca e o espaço livre restringiu-se a região do pedúnculo do fruto. Após o acondiciona-

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 29/7/97. Aceito para publicação em 29/7/97.

<sup>2</sup> Depto Engenharia e Tecnologia de Alimentos - UNESP - C.P. 136 - CEP 15054-000 - S. J. Rio Preto SP.

<sup>3</sup> Depto Termofluidodinâmica - Fac. Eng. Química - UNICAMP - C.P. 6066 - CEP 13081-970 - Campinas SP.

mento, as mangas foram pesadas, codificadas e armazenadas em câmaras frigoríficas com as seguintes faixas de temperaturas e de umidade relativa: 7°C ± 1°C (80-90% UR); 12°C ± 1°C (75-85% UR); 17°C ± 1°C (70-80% UR); 22°C ± 3°C (65-75% UR) e 25°C ± 3°C (65-75% UR).

## 2.2 – Métodos

As mangas foram armazenadas por um período máximo de 33 dias. As análises de taxa de respiração, perda de peso e composição gasosa no interior da embalagem foram realizadas ao longo do período de armazenagem.

### 2.2.1 – Determinação da taxa de respiração

O método de determinação da taxa de respiração foi baseado na capacidade de soluções básicas reagirem com o CO<sub>2</sub>, retendo-o em solução na forma de íon carbonato (6, 9). Nesse sistema o ar ambiente passa através de um tubo contendo lã de vidro embebida em solução de KOH 1N e é borbulhado diretamente em uma solução de KOH 1N, para retirada do CO<sub>2</sub>. O ar, isento de CO<sub>2</sub>, percola pelas mangas, dispostas dentro de um dessecador de 10 litros mantido no interior da câmara frigorífica. O ar aspirado do dessecador contendo CO<sub>2</sub> e vapor de água, provenientes da respiração e transpiração dos frutos, é borbulhado em um tubo contendo uma solução de HCl 1N, que desumidifica-o sem reter o CO<sub>2</sub>; e posteriormente por 2 tubos em série contendo solução de KOH 1N que reage com o CO<sub>2</sub> presente. A cada 24 horas são retiradas alíquotas de 2 ml dos tubos contendo solução de KOH, reagindo com excesso de BaCl<sub>2</sub> formando BaCO<sub>3</sub>. Esta solução é titulada com HCl 0,1 N e, através de cálculos estequiométricos, determina-se a taxa de respiração em mg CO<sub>2</sub> / kg produto.h.

### 2.2.2 – Determinação da permeabilidade e da composição gasosa no interior da embalagem

As taxas de permeabilidade foram determinadas pelo método de aumento de concentração, que consiste na utilização de células de difusão, nas quais dois corpos de prova são fixados, formando duas câmaras externas e uma intermediária, estanques à atmosfera. A intervalos pré-determinados são retirados alíquotas de gás permeante e analisados por cromatografia gasosa. A permeabilidade do filme ao vapor de água foi obtida junto ao fabricante da embalagem.

A determinação da composição gasosa consistiu na coleta de alíquotas de 300µl de gás, utilizando uma seringa hermética, através de um septo de silicone colocado na região da embalagem localizada junto ao pedúnculo do fruto.

Ambas as análises foram realizadas em cromatógrafo a gás da CG Instrumentos Científicos, série 2527, equipado com detector de condutividade térmica e colunas Peneira Molecular 5A e Porapak Q, e um integrador Processador Shimadzu modelo CR4A, de acordo com PADULA *et al.* (8).

### 2.2.3 – Estimativa da perda de água

Foi utilizado o modelo linear (eq. 1) para estimar a perda de água por transpiração, onde o déficit de pressão de vapor é a diferença entre a pressão de vapor do meio externo e a pressão de vapor da polpa da manga. O coeficiente de transpiração, por sua vez, resulta de duas resistências em série (eq. 2) (10).

$$N_t = k_t DPV \quad (1)$$

$$1/k_t = \Pi_{v \text{ casca}} + 1/k_g \quad (2)$$

onde:

$N_t$  = taxa de transpiração (g/kg.dia)

$k_t$  = coeficiente de transpiração (g/m<sup>2</sup>.dia.kPa)

DPV = déficit de pressão de vapor (kPa)

$\Pi_{v \text{ casca}}$  = permeabilidade da casca ao vapor de água (g.µm/m<sup>2</sup>.dia.kPa)

$k_g$  = coeficiente de transferência de massa (g/m<sup>2</sup>.dia.kPa)

A fim de poder interpretar os dados de perda de peso, exclusivamente em termos de taxa de transpiração, é necessário descontar o efeito da respiração na diminuição de massa, assumindo quociente respiratório unitário, ou seja, para cada mol de O<sub>2</sub> (PM = 32 g/g-mol assimilado tem-se a expiração de um mol de CO<sub>2</sub> (44 g/g-mol). Desta maneira, o efluxo líquido de massa devido à respiração pode ser representado pela eq. 3 e a taxa de água evaporada na transpiração pela eq. 4.

$$N_t = (12/44).N_{CO_2} \quad (\text{g} / \text{kg.dia}) \quad (3)$$

$$N_t = N_p - N_r \quad (\text{g} / \text{kg.dia}) \quad (4)$$

onde:

$N_r$  = taxa de perda de peso líquida devido a respiração (g/kg.dia)

$N_{CO_2}$  = taxa de produção de CO<sub>2</sub> (g/kg.dia)

$N_t$  = taxa de perda de peso devido a transpiração (g/kg.dia)

$N_p$  = taxa de perda de peso (g/kg.dia)

### 2.2.4 – Permeabilidade da casca ao vapor de água

A permeabilidade da casca ao vapor de água pode ser estimada, descontando-se a influência da convecção externa sobre o valor de  $k_t$  calculado e assumindo a manga como uma esfera com mesma área específica. Para esferas, a correlação para o coeficiente de transferência de massa (eq. 5) é dado por Ranz e Marshall (1) e para o cálculo da difusividade do vapor de água no ar, utilizou-se a eq. 6 (3).

$$Sh = k_g.d.R.T/D_v.PM = 2,0 + 0,6.Re^{0,5}.Sc^{0,33} \quad (5)$$

$$D_v = 1,732.10^{-9}.T^{1,685} (101,325/P) \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (6)$$

onde T é expresso em K e deve ser ≤ 400K e P é a pressão ambiente, em kPa.

Sh = número de Sherwood

d = diâmetro (m)

R = constante universal dos gases (kPa.m<sup>3</sup>/g-mol.K)

T = temperatura absoluta (K)

$D_v$  = difusividade do vapor de água no ar (m<sup>2</sup>/dia)

PM = peso molecular (g-mol)

Re = número de Reynolds

Sc = número de Schmidt

P = pressão atmosférica (kPa)

### 2.2.5 – Perda de peso de mangas embaladas

A perda de peso por transpiração das mangas embaladas com filmes de PEBD pode ser estimada pela eq. 7.

$$m \cdot N_t = [DPV] / \left[ \left( \frac{l}{A \cdot \Pi_v \text{ casca}} \right) + \left( \frac{l}{\Pi_v \text{ emb} + 1/\text{kg}} \right) \cdot \left( \frac{1}{A_{PEBD}} \right) \right] \quad (7)$$

onde:

$m$  = massa do produto (kg)

$\Pi_v \text{ emb}$  = permeabilidade da embalagem (mg.µm/cm<sup>2</sup>.dia.kPa)

$A_{PEBD}$  = área superficial da embalagem (m<sup>2</sup>)

$l$  = espessura do filme (µm)

### 2.2.6 – Modelagem da modificação da atmosfera no interior de embalagens poliméricas

Se o produto embalado mantiver constante sua taxa de respiração, atingir-se-á um equilíbrio no qual o O<sub>2</sub> está sendo consumido na mesma taxa em que ele entra na embalagem e o CO<sub>2</sub> está sendo produzido na mesma taxa na qual ele sai da embalagem. Normalmente, pode-se desprezar a resistência à convecção de massa na superfície externa da embalagem assim como a difusão no espaço vazio (ar) no interior da mesma. Desta forma, apenas a permeabilidade da embalagem controla o processo de transferência de massa do O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, e um balanço de massa conduz a equação clássica de regime permanente em membranas (eq. 8) (1).

$$N_{CO_2} = \Pi_{CO_2} \cdot A \cdot P \cdot (y_{CO_2}^i - y_{CO_2}^e) / l \quad (8)$$

onde:

$\Pi_{CO_2}$  = permeabilidade da embalagem ao CO<sub>2</sub> (mg.µm/cm<sup>2</sup>.dia.kPa)

$A$  = área superficial da fruta (m<sup>2</sup>)

$y_{CO_2}^i$  = fração molar de O<sub>2</sub> no interior da embalagem

$y_{CO_2}^e$  = fração molar de O<sub>2</sub> ambiente

$l$  = espessura do filme (µm)

A simplicidade desta equação é apenas aparente. Valores de permeabilidade são geralmente levantados a temperatura ambiente e poucos materiais de embalagem têm a energia de ativação de permeação dos gases conhecida. Mais complexa e menos estudada ainda é a dependência da taxa  $N_{CO_2}$  em relação a concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> em contato com o fruto.

A permeabilidade dos filmes varia de acordo com a equação de Arrhenius (eq. 9) (2).

$$\Pi_x = \Pi_x^* \exp(-E_x^P / R \cdot T) \quad (9)$$

onde:

$\Pi_x$  = permeabilidade ao gás x (m.µm/cm<sup>2</sup>.dia.kPa)

$\Pi_x^*$  = fator de permeabilidade pré-exponencial para o gás x (mg.µm/cm<sup>2</sup>.dia.kPa)

$E_x^P$  = energia de ativação da permeação do gás x (kJ/g-mol)

Para o filme de polietileno de baixa densidade tem-se os seguintes valores (2):

$$\Pi_{CO_2}^* = 1,39 \cdot 10^7 \text{ mg.µm/cm}^2 \cdot \text{dia.kPa}$$

$$\Pi_{O_2}^* = 2,81 \cdot 10^6 \text{ mg.µm/cm}^2 \cdot \text{dia.kPa}$$

$$E_{O_2}^P = 43,1 \text{ kJ/g-mol}$$

$$E_{CO_2}^P = 34,3 \text{ kJ/g-mol}$$

## 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 – Características do filme de polietileno de baixa densidade

espessura = 24,5 ± 0,8 µm

permeabilidade ao vapor de água =

$$0,4352 \text{ mg.µm/cm}^2 \cdot \text{dia.kPa a } 28^\circ\text{C} - 90\% \text{ UR}$$

permeabilidade ao O<sub>2</sub> =

$$0,2466 \text{ mg.µg/cm}^2 \cdot \text{dia.kPa a } 25^\circ\text{C} - 0\% \text{ UR} - 1 \text{ atm de gradiente de pressão parcial de O}_2$$

permeabilidade ao CO<sub>2</sub> = 1,1280 mg.µm/cm<sup>2</sup>.dia.kPa a 25°C – 0% UR - 1 atm de gradiente de pressão parcial de CO<sub>2</sub>

### 3.2 – Perda de peso da manga durante a armazenagem frigorificada

Houve, em todos os ensaios, um comportamento linear ( $p < 0,01$ ) da perda de peso das mangas armazenadas a 7, 12, 17, 22 e 25°C em função do tempo, tanto para as embaladas com PEBD como para as sem embalagem. A partir do coeficiente angular das retas foram calculadas as taxas de perda de peso (eqs. 1,3 e 4). As mangas embaladas apresentaram taxas de perda de peso ( $N_p$ ) de 0,248 g/kg.dia a 12°C; 0,355 g/kg.dia a 17°C e 0,634 g/kg.dia a 22°C. As taxas de perda de peso das não embaladas estão na Tabela. 1.

**TABELA 1.** Taxas de perda de peso ( $N_p$ ), taxa de perda de peso líquido devido à respiração ( $N_r$ ), taxa de transpiração ( $N_t$ ) e razão entre taxa de transpiração e o déficit de pressão de vapor ( $N_t/DPV$ ), para mangas cv Keitt não embaladas.

Temperatura (°C)	U.R. (%)	$N_p$ (g/kg.dia)	$N_r$ (g/kg.dia)	$N_t$ (g/kg.dia)	$N_t/DPV$ (g/kg.dia.kPa)
7	80-90	4,062	n.d.	3,940*	26,267
12	75-85	5,548	0,137	5,411	18,659
17	70-80	7,552	0,220	7,332	14,664
22	65-75	10,205	0,336	9,869	12,035
25	65-75	10,916	n.d.	10,589*	10,805

n.d. = valor não determinado no experimento.

\* Estimado, supondo  $N_r = 0,03 \cdot N_p$ .

A razão entre a taxa e o déficit de pressão de vapor diminui com o aumento da temperatura e na faixa de DPV estudada é possível assumir uma relação linear, obtendo-se uma reta de ajuste (eq. 10), com coeficiente de determinação igual a 0,99 e nível de significância menor que 0,05. A partir dessa correlação é possível obter o valor do coeficiente de transpiração, que é igual ao coeficiente angular da reta (eq. 1).

$$N_t = 3,00 + 8,08 \text{ DPV (g/kg.dia)} \quad (10)$$

Portanto,  $k_t = 8,08$  g/kg.dia.kPa. A fim de poder comparar  $k_t$  das mangas sem embalagem com parâmetros de permeabilidade da casca e de convecção de massa, no exterior da embalagem, mediu-se a área superficial (2,647.10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>), de uma manga média (397 g), obtendo-se  $k_t = 121,2$  g/m<sup>2</sup>.dia.kPa.

### 3.3 – Permeabilidade da casca ao vapor de água

Assumindo a manga como uma esfera com área específica igual a  $6,669 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{kg}$ , e densidade de  $1,030 \text{ kg/m}^3$ , foi obtido um diâmetro efetivo igual a  $8,73 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ . Para temperatura média dos ensaios de  $17^\circ\text{C}$  e pressão barométrica de  $94 \text{ kPa}$ , a difusividade calculada foi de  $D_v = 2,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (eq. 6). Para calcular o número de Reynolds, determinou-se a velocidade do ar em torno da fruta com um anemômetro de fio quente, achando-se um valor médio de  $0,34 \text{ m/s}$ . Desta maneira, o valor de  $k_G$  estimado foi igual a  $4,911 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{kPa}$  (eq. 5), que é consideravelmente maior do que o coeficiente global,  $k_t$ , confirmando que o processo é controlado pela permeabilidade da casca. O valor calculado da permeabilidade da casca ao vapor de água foi igual a  $\Pi_{\text{vcasca}}/l = 124,2 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{kPa}$  (eq. 2), que é cerca de 600 vezes maior que a do PEBD a  $25^\circ\text{C}$ .

### 3.4 – Perda de peso de mangas embaladas

A perda de umidade das mangas embaladas, calculada a partir do DPV medido na armazenagem a  $22^\circ\text{C}$  e a permeabilidade do filme ao vapor de água a  $25^\circ\text{C}$ , indicam que a transpiração seria responsável por menos de 3% da taxa de perda de peso total, ao contrário das mangas sem embalagem, onde a transpiração responde pela quase totalidade da perda de peso. Este resultado era esperado, pois a embalagem é pouco permeável ao vapor de água. Desta maneira, dentro dos limites de precisão das medidas, e mesmo levando em conta as simplificações assumidas, pode-se inferir que a respiração é responsável pela perda de peso nas mangas embaladas.

### 3.5 – Composição gasosa no interior das embalagens

Foi feito o monitoramento da concentração de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  no interior das embalagens de PEBD, ao longo do período de armazenagem das mangas a  $12,17$  e  $22^\circ\text{C}$  (Figura 1).

A composição gasosa a  $12^\circ\text{C}$  variou de forma acentuada com o tempo, até o 21º dia de armazenagem, quando, provavelmente, houve um equilíbrio entre a taxa de respiração e a permeabilidade do filme e as concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  se mantiveram constantes em torno de  $12,5\text{-}13,5\%$  (v/v) e  $3,5\text{-}3,7\%$  (v/v), respectivamente. Somente após 28 dias as mangas desenvolveram sabor não característico, enquanto que a aparência já estava comprometida depois de 21 dias de armazenagem (12).

O perfil das concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  ao longo do tempo, a  $17^\circ\text{C}$ , foi semelhante ao da armazenagem a  $12^\circ\text{C}$ , e os frutos desenvolveram sabor não característico após 21 dias, entretanto a manga estava imprópria para comercialização após 16 dias (12).

As concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  no interior da embalagem de PEBD, a  $22^\circ\text{C}$ , apresentaram grande variação até o 10º dia, quando atingiram  $19,6\%$  e  $3,9\%$  (v/v), respectivamente. Após este período houve pequeno decréscimo na concentração de  $\text{CO}_2$ , que atingiu  $15,5\%$  (v/v) e aumento na de  $\text{O}_2$  (de  $3,9$  para  $4,3\%$  (v/v)). Este comportamento, a  $22^\circ\text{C}$ , deve ser devido ao aumento na taxa de respiração da manga (pico climatérico) e após 10 dias as mangas desenvolveram sabor não característico mas a aparência não foi afetada (12).

### 3.6 – Avaliação da transferência de $\text{CO}_2$ em embalagem de PEBD

Utilizando-se as energias de ativação e a permeabilidade a  $25^\circ\text{C}$  do filme de PEBD, foram calculadas as permeabilidades ao  $\text{O}_2$  e ao  $\text{CO}_2$  a diferentes temperaturas (eq. 9). A área utilizada na equação foi a área total da superfície da embalagem ( $0,05 \text{ m}^2$ ). Os dados de concentração de  $\text{CO}_2$  foram calculados utilizando-se a equação 8 e a comparação dos valores obtidos com os experimentos estão na Tabela 2.

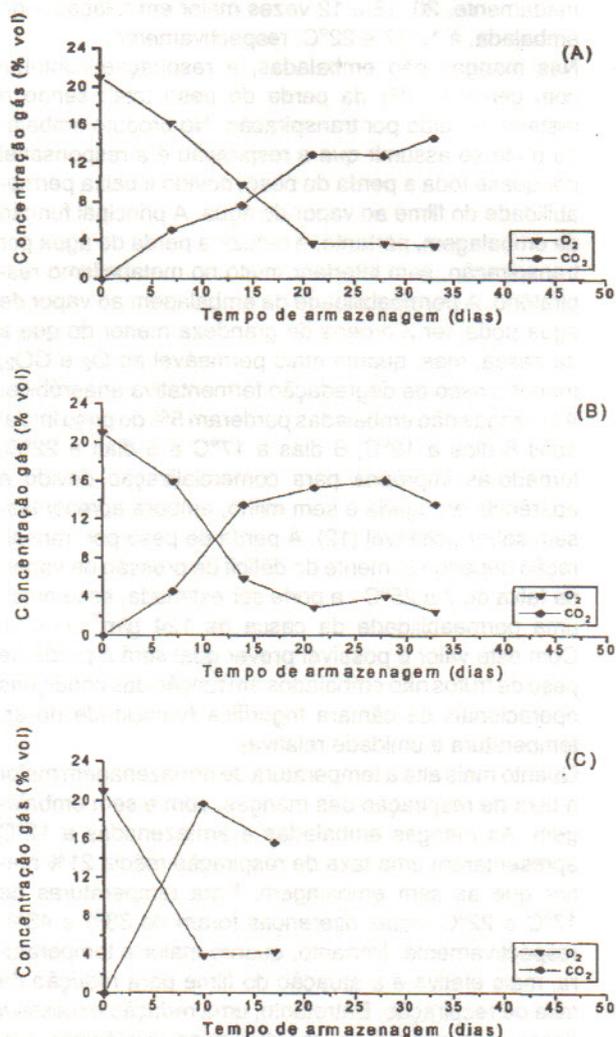


FIGURA 1. Composição gasosa de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  no interior das embalagens de PEBD de mangas cv. Keitt armazenadas a  $12^\circ\text{C}$ (A),  $17^\circ\text{C}$ (B) e  $22^\circ\text{C}$  (C).

TABELA 2. Taxa de Respiração ( $N_{\text{CO}_2}$ ) e Concentração de  $\text{CO}_2$  no Interior da Embalagem ( $y'_{\text{CO}_2}$ ) de PEBD (Calculada e Experimentada).

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	$N_{\text{CO}_2}$ (mg/dia)	$y'_{\text{CO}_2}$ (calc.) (%)	$y'_{\text{CO}_2}$ (exp.) (%)	$\Delta\%$ (%)
12	$199,17 \pm 27,37$	$17,30 \pm 3,36$	$13,42 \pm 1,06$	29,39
17	$224,54 \pm 22,85$	$15,20 \pm 2,19$	$14,58 \pm 1,27$	4,25
22	$276,82 \pm 8,84$	$14,72 \pm 0,67$	$17,56 \pm 2,84$	-16,17

O bom acerto obtido chega a surpreender, considerando as diversas variáveis envolvidas, as dificuldades operacionais nas amostragens e nas análises químicas e físicas, e a complexidade do processo como um todo.

#### 4 – CONCLUSÕES

- Houve, em todos os ensaios, um comportamento linear da perda de peso da manga em função do tempo, tanto para a embalada como para a sem embalagem. A perda de peso média da manga sem embalagem foi, aproximadamente, 20, 18 e 12 vezes maior em relação a da embalada, à 12, 17 e 22°C, respectivamente.
- Nas mangas não embaladas, a respiração contribui com cerca de 3% da perda de peso total; sendo o restante perdido por transpiração. No produto embalado pode-se assumir que a respiração é a responsável por quase toda a perda de peso, devido a baixa permeabilidade do filme ao vapor de água. A principal função da embalagem, portanto, é reduzir a perda de água por transpiração, sem interferir muito no metabolismo respiratório. A permeabilidade da embalagem ao vapor de água pode ser 3 ordens de grandeza menor do que a da casca, mas, quanto mais permeável ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, menor o risco de degradação fermentativa anaeróbica.
- As mangas não embaladas perderam 5% do peso inicial após 8 dias a 12°C, 6 dias a 17°C e 5 dias a 22°C, tornando-as imprópria para comercialização devido a aparência enrugada e sem milho, embora apresentassem sabor aceitável (12). A perda de peso por transpiração depende somente do déficit de pressão de vapor, na faixa de 7 a 25°C, e pode ser estimada, assumindo uma permeabilidade da casca de 124 g/m<sup>2</sup>.dia.kPa. Com este valor é possível prever qual será a perda de peso de frutos não embalados em função das condições operacionais da câmara frigorífica (velocidade do ar, temperatura e umidade relativa).
- Quanto mais alta a temperatura de armazenagem maior a taxa de respiração das mangas, com e sem embalagem. As mangas embaladas e armazenadas a 12°C apresentaram uma taxa de respiração média 21% menor que as sem embalagem. Para temperaturas de 17°C e 22°C, estas diferenças foram de 38% e 43%, respectivamente. Portanto, quanto maior a temperatura, mais efetiva é a atuação do filme para redução da taxa de respiração. Entretanto, uma redução excessiva dessa taxa poderá causar distúrbios fisiológicos que alterariam o sabor e aparência do produto.
- Foram calculadas as concentrações de gás carbônico no interior da embalagem de PEBD e comparadas com as determinadas experimentalmente, obtendo-se concordância. Este tipo de avaliação permite selecionar, de forma simplificada, quais embalagens são apropriadas para determinados produtos, desde que se saiba de antemão a taxa de respiração do produto e as energias de ativação de permeação aos gases do filme a ser utilizado como embalagem de atmosfera modificada.

#### 5 — REFERÊNCIAS

- (1) CUSSLER, E. L. *Diffusion, mass transfer in fluid Systems*. Cambridge University Press, Cambridge, 1984. 525 pag.
- (2) EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R. W.; LEE, L. Z. e TOUPIN, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, 58(6): 1365-1370. 1993.
- (3) HARPOLE, G. M. Droplet evaporation in high temperature environments. *Journal of Heat Transfer*, 103(1): 86-91, 1981.
- (4) IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas. Comunicação pessoal. 1997.
- (5) KOSKI, D. V. Is current modified/controlled atmosphere packaging technology applicable to U.S. food market? *Food Technology*, 42(9): 54, 1988.
- (6) LOUGHEED, E. C. e FRANKLIN, E. W. Air flow rates influence CO<sub>2</sub> production of apple fruits, potato tubers and onion bulbs. *HortScience*, 10(4): 388-390, 1975.
- (7) MEDLICOTT, A. P.; SIGRIST, J. M. M. e SY, O. Ripening of mangos following low-temperature storage. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 15(3): 430-434, 1990.
- (8) PADULA, M.; SARANTOPOULOS, C. I. G. L.; ARDITO, E. F. G.; GARCIA, E. E. C.; OLIVEIRA, L. M. e ALVES, R. M. V. Embalagens plásticas: controle de qualidade. CETEA/ITAL, Campinas. 1989. 202 pag.
- (9) QUIÑONES, J. P.; YONEMOTO, L. H. e NEVES, L. C. Calor de respiração para maçãs Fuji a diferentes temperaturas. 40 Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo, julho de 1988.
- (10) SASTRY, S. K.; BAIRD, C. D. e BUFFINGTON, D. E. Transpiration rates of certain fruits and vegetables, *ASHRAE Transactions*, 84 Part 1: 237-255, 1978.
- (11) WILLS, R. H. H.; LEE, T. H.; GRAHAM, D.; McGLASSON, W. B. e HALL, E. G. Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. *Avi Publ. Co.*, Westport, 1981. 163 pag.
- (12) YAMASHITA, F. Armazenagem frigorificada de mangas (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) embaladas sob atmosfera modificada. Tese de doutoramento, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995. 142 pag.
- (13) ZAGORY, D. e KADER, A. A. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology*, 42(9): 70-74, 76-77, 1988.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Eng. Claire I. G. L. Sarantopoulos e ao Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas SP – Brasil pelas determinações da permeabilidade do filme e da composição gasosa; ao CNPq (Proc. 300938/95-0 e 501310/91-6) e ao Fundo de Apoio ao Ensino e a Pesquisa da Universidade Estadual de Campinas pelo suporte financeiro.