

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Preservation of minimally processed snap beans in passive modified atmosphere packaging

Maria Cecília de Arruda Palharini^{1*}, Claire Isabel Grígoli de Luca Sarantópoulos²,
Eliane Maria Ravási Stéfano Simionato³, Terezinha de Fátima Fumis⁴, Inês Cechin⁴

¹Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), Polo Regional Centro Oeste, Bauru/SP - Brasil

²Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), Centro de Tecnologia de Embalagem, Campinas/SP - Brasil

³Universidade Sagrado Coração (USC), Bauru/SP - Brasil

⁴Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru/SP - Brasil

*Corresponding Author

Maria Cecília de Arruda Palharini, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), Polo Regional Centro, CEP: 17030-000, Bauru/SP - Brasil, e-mail: mcarruda@apta.sp.gov.br

Cite as: *Preservation of minimally processed snap beans in passive modified atmosphere packaging. Braz. J. Food Technol., v. 19, e2015114, 2016.*

Received: Dec. 28, 2015; Accepted: Aug. 11, 2016

Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar a influência da embalagem com atmosfera modificada na conservação da qualidade de vagem minimamente processada, visando principalmente minimizar o escurecimento enzimático e a deterioração microbiana. O trabalho consistiu em um teste preliminar e um experimento final. No teste preliminar, as vagens foram acondicionadas em diferentes embalagens (bandeja de PP; PVC 20 µm; PEBD 33 e 52 µm; PP 32 e 51 µm; filme laminado BOPP/PEBD 66 µm) e armazenadas a 10 °C por quatro dias. No experimento final, as vagens foram acondicionadas em três diferentes tipos de embalagens e armazenadas a 5 °C por sete dias. A qualidade do produto foi avaliada periodicamente por meio de análises físicas, químicas, bioquímicas, microbiológicas e sensoriais. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (tratamentos × tempo de armazenamento) com três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey (5%). Durante armazenamento a 10 °C, ocorreu anaerobiose dentro das embalagens de PVC, polietileno, polipropileno e filme laminado, contendo vagem minimamente processada. As embalagens de PVC e microperfurada a laser (Xtend-815-BAS-14) contribuíram para manutenção da qualidade durante sete dias de armazenamento a 5 °C. Recomenda-se a utilização de água resfriada a 5 °C nas operações de enxágue e sanitização e o armazenamento a 5 °C. A modificação da atmosfera nas embalagens de vagem minimamente processada, em virtude da utilização da embalagem de PVC e da embalagem com filme microperfurado a laser, minimizou o escurecimento e a proliferação microbiana.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; Micro-organismos; Embalagem com atmosfera modificada; Escurecimento enzimático.

Summary

The objective of this work was to evaluate the effect of passive modified atmosphere packaging in preservation of the quality of minimally processed snap beans, mainly in minimizing enzymatic browning and microbial deterioration. The work consisted of a preliminary test and a final experiment. In the preliminary test, the snap beans were packed in different materials (PP tray; 20 µm PVC; 33 and 52 µm PEBD; 32 and 51 µm PP; 66 µm BOPP/PEBD laminated film) and stored at 10 °C for four days. In the final experiment, the snap beans were packed in three different types of material and stored at 5 °C for seven days. Physical, chemical, biochemical, microbiological and sensory evaluations were carried out periodically. The experimental design was completely randomized in a factorial arrangement (treatment × storage time) with three replicates. The results were



Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

submitted to an analysis of variance and the means compared by the Tukey test (5%). Anaerobiosis occurred within the PVC, polyethylene, polypropylene and laminated packages containing minimally processed snap beans stored at 10 °C. The laser micro-perforated (Xtend-815-BAS-14) and PVC films contributed to quality maintenance for seven days storage at 5 °C. The use of chilled water at 5 °C is recommended in the operations of rinsing and sanitization and storage at 5 °C. Modification of the atmosphere inside the PVC and laser micro-perforated packages minimized browning and microbial growth of the minimally processed snap beans.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; Microorganisms; Modified atmosphere packaging; Enzymatic browning.

1 Introdução

O interesse dos consumidores por produtos práticos e saudáveis, características inerentes aos vegetais minimamente processados, tem sido cada vez maior. No entanto, esses produtos apresentam perda de qualidade acelerada durante o armazenamento e a distribuição. Isso acontece devido ao estresse mecânico decorrente do processamento, sendo, o amolecimento, as mudanças na coloração, especialmente o aumento do escurecimento oxidativo nas superfícies cortadas, e a contaminação microbiana alguns dos sinais visuais de deterioração (BRECHT et al., 2007).

Em vagem minimamente processada, as principais causas de deterioração são o escurecimento da superfície de corte e a proliferação microbiana (PERES et al., 2011). O escurecimento ocorre quando produtos do metabolismo dos fenilpropanoides, como vários compostos fenólicos e outros substratos, são oxidados em reações catalisadas por fenolases como a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD) (BRECHT et al., 2007), enquanto a proliferação microbiana é propiciada pela presença de células injuriadas e perda de componentes celulares (TOMÁS-CALLEJAS et al., 2012).

O escurecimento enzimático da vagem minimamente processada compromete a aparência do produto, enquanto a contaminação microbiana coloca em risco a saúde do consumidor. Na conservação de produtos minimamente processados, a especificação correta da embalagem é fundamental, pois pode minimizar estes problemas.

A modificação da atmosfera na embalagem plástica de um vegetal fresco pode ser obtida passivamente, devido à respiração do vegetal e à taxa de permeabilidade a gases da embalagem. A magnitude da alteração dos gases depende da área superficial da embalagem em relação à massa do produto; volume do espaço livre dentro da embalagem e suas características de permeabilidade; atividade respiratória do produto; temperatura de armazenamento, dentre outros (ARRUDA et al., 2009).

Os gases usualmente utilizados em atmosfera modificada consistem em O₂, CO₂ e N₂, os quais são essenciais para a respiração dos vegetais. Dentre os gases, o CO₂ apresenta efeito antimicrobiano (BODBODAK; MOSHFEGHIFAR, 2016). A redução nos níveis de O₂ e a elevação nos níveis de CO₂ reduzem a atividade

respiratória (SÁNCHEZ-MATA et al., 2003). A elevada atividade respiratória da vagem é, em parte, atribuída à intensa atividade metabólica das sementes em seu interior (LUCERA et al., 2011).

Este trabalho teve como objetivos avaliar a influência da embalagem com atmosfera modificada passiva na conservação da qualidade de vagem minimamente processada, visando principalmente minimizar o escurecimento enzimático e a deterioração microbiana.

2 Material e métodos

2.1 Teste preliminar

O teste preliminar teve como objetivo selecionar embalagens que permitissem a obtenção de uma atmosfera gasosa de equilíbrio ao redor de 3-8% de oxigênio (O₂) e 5-15% de gás carbônico (CO₂).

Vagens (cultivar Itatiba II) foram selecionadas quanto à ausência de defeitos, eliminando-se aquelas com ataque de patógenos e/ou pragas, murchas, com curvatura acentuada e danos mecânicos. Posteriormente à seleção, foram resfriadas em câmara a 10 °C durante 12 horas, lavadas em água corrente para retirada das sujidades e sanitizadas com solução de dióxido de cloro (200 mg L⁻¹) a 25 °C durante 10 minutos.

Na sequência, as extremidades das vagens foram cortadas manualmente, com faca de lâmina de inox. O corte em pedaços de aproximadamente 1 cm de comprimento foi realizado em processador de alimentos marca Robot Coupe, modelo CL 50. Posteriormente o produto cortado foi enxaguado em água destilada para eliminação do suco celular e sanitizado com solução de dióxido de cloro (200 mg L⁻¹) a 25 °C durante 10 minutos.

Depois da eliminação do excesso de água em centrífuga, a vagem minimamente processada (240 g) foi acondicionada em diferentes embalagens plásticas e armazenada a 10 °C durante quatro dias.

As embalagens utilizadas foram: bandeja rígida de polipropileno (PP) com tampa de encaixe do mesmo material (4,83 cm × 18,84 cm × 14,27 cm); bandeja de poliestireno expandido (PS) (14 cm × 21 cm) envolta por filme esticável de policloreto de vinila (PVC), com 20 µm de espessura; sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 33 e 52 µm; saco de polipropileno (PP) com

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

32 e 51 μm de espessura; e saco de filme laminado de polipropileno biorientado e polietileno baixa densidade (BOPP/PEBD) com espessura total de 66 μm .

As embalagens na forma de sacos foram testadas em duas formas de apresentação: na primeira, a vagem foi previamente acondicionada em uma bandeja (berço) e colocada dentro do saco 20 x 30 cm (Figura 1A) e, na segunda, a vagem foi colocada diretamente dentro do saco, o qual teve seu tamanho reduzido para 20 x 20 cm (Figura 1B). Todos os sacos foram selados em seladora, sendo a altura de selagem das embalagens igual a 4 cm da extremidade.

2.2 Experimento final

Diante dos resultados obtidos no teste preliminar, em que se verificou anaerobiose em praticamente todas as embalagens, o experimento final foi instalado com resfriamento da vagem em câmara a 5 °C durante 12 horas; enxague e sanitização com água resfriada (5 °C) e armazenamento a 5 °C. No experimento final, foram avaliados três tipos de embalagem: 1) Bandeja rígida de polipropileno com tampa de encaixe do mesmo material (bandeja de PP) com 240 g de vagem (controle); 2) Bandeja de poliestireno expandida envolta com filme esticável de PVC 20 μm , com 240 g de vagem; 3) Filme Xtend 815-BAS14 com microperfuração a laser, 16 x 34 cm, com 360 g de vagem.

O filme Xtend fabricado pela DS Smith/Stepac foi especificado por técnicos da própria empresa para produtos de alta atividade respiratória.

A utilização de 360 g de vagem na embalagem microperfurada ocorreu para manter a mesma relação área embalagem/massa de produto utilizada no teste preliminar, com a embalagem nas dimensões 20 x 20 cm

(Figura 1B), tamanho de embalagem que gera um produto esteticamente apresentável, sem necessidade da bandeja para suporte.

Os materiais de embalagens testados foram caracterizados quanto à espessura e taxa de permeabilidade aos gases. A espessura dos filmes foi determinada de acordo com a norma ISO 4593 (ISO, 1993) e a distribuição da espessura mínima da bandeja de PP foi determinada por método não destrutivo, de acordo com o procedimento descrito por Oliveira e Queiroz (2008).

A taxa de permeabilidade ao oxigênio dos filmes foi determinada de acordo com a norma ASTM D 3985-05 (ASTM, 2005) e da bandeja de PP segundo norma ASTM F 1307-02 (ASTM, 2007).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (tratamentos x tempos de armazenamento) com três repetições. Cada repetição foi composta por uma embalagem contendo vagem minimamente processada.

Para monitoramento da qualidade da vagem minimamente processada, realizaram-se análises periódicas, sendo:

- a) composição gasosa do interior das embalagens: foram coletadas alíquotas de gás (aproximadamente 2 mL) do seu interior, utilizando-se analisador de gases marca PBI-Dansensor, modelo Check Mate 3;
- b) atividade respiratória: obtida retirando-se alíquotas de gás do interior de frascos herméticos contendo a vagem minimamente processada, através de um septo de silicone. Para tanto, utilizou-se o analisador de gases marca PBI Dansensor, modelo Check Mate 3. Os resultados expressos em %



Figura 1. Vagem minimamente processada acondicionada em bandeja dentro do saco (A) e diretamente no saco (B).

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

CO₂ foram utilizados para o cálculo da atividade respiratória (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), levando-se em consideração o volume livre do frasco, a massa da vagem e o tempo que os frascos permaneceram fechados. O tempo de retenção do produto no frasco fechado para esta determinação foi testado previamente, tendo-se como limite para a acumulação de CO₂ o valor de 0,9%. Os frascos ficaram mantidos em câmara incubadora B.O.D a 5 °C;

- c) escurecimento da superfície de corte: medido utilizando-se colorímetro Minolta, modelo CR-400, com resultados expressos em ângulo de cor hue (h°);
- d) pH: medido em pHmetro de bancada, modelo TEC-3MP;
- e) atividade das enzimas peroxidase – POD (EC 1.11.1.7), polifenoloxidase – PPO (EC 1.14.18.1) e pectinametilesterase – PME (EC 3.1.1.11). A POD foi determinada conforme método descrito por Lima (1994), com resultados expressos em µmoles de H₂O₂ decomposto min⁻¹ g⁻¹. A PPO, conforme metodologia descrita por Cano et al. (1997), com resultados expressos em µmoles de catecol transformado min⁻¹ g⁻¹ e a PME por titulometria, em que se determinou a liberação dos grupos carboxílicos ácidos resultantes da ação da enzima (KERTESZ, 1951). Os resultados foram expressos em U.E g⁻¹ min⁻¹, em que U.E corresponde à quantidade de enzima PME capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1 nmol de NaOH g⁻¹ min⁻¹;
- f) análises microbiológicas: realizadas segundo metodologias apresentadas por Silva et al. (2010). Para a determinação de coliformes totais e termotolerantes foi utilizada a técnica do Número Mais Provável (NMP g⁻¹). A determinação de presença/ausência de *Salmonella* sp foi conduzida em 25 g da amostra. A contagem total de bactérias psicrotróficas foi feita por plaqueamento em superfície em meio PCA. Os resultados destas análises microbiológicas foram comparados com a legislação vigente e expressos em UFC g⁻¹ para contagem de bactérias psicrotróficas; NMP g⁻¹ para contagem de coliformes e presença/ausência em 25g para *Salmonella*;
- g) características sensoriais (aparência, textura e sabor): avaliadas por meio do teste de aceitação, com escala hedônica estruturada de 7 pontos, variando de 7 (gostei muitíssimo) a 1 (desgostei

muitíssimo), de acordo com Ferreira et al. (2000). A equipe sensorial foi composta por 30 provadores não treinados. Para análise de textura e sabor, as amostras de vagem minimamente processada foram cozidas e apresentadas em copos descartáveis, codificados com números de 3 dígitos. Cada amostra foi servida em porções de 25 g, em ambiente claro, acompanhada de biscoito, copo de água e da ficha de avaliação. Para o cozimento, porções de 240 g de vagem foram imersas em água (início da fervura) por 10 minutos. Tomou-se o cuidado de utilizar o mesmo volume de água, panela e chama de fogo em todos os tratamentos.

Para análise de aparência, a vagem minimamente processada foi apresentada na forma crua, dentro de bandejas de polipropileno. O objetivo foi avaliar a aparência (cor e frescor) sem interferência da embalagem. O estudo envolvendo análise sensorial foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Sagrado Coração (Parecer 382.385).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste de Tukey (5%).

3 Resultados e discussão

3.1 Teste preliminar

As características das embalagens utilizadas no teste preliminar estão descritas nas Tabelas 1 e 2.

Durante o armazenamento, verificou-se a modificação passiva da atmosfera no interior das embalagens. No primeiro dia de armazenamento, observou-se que o oxigênio foi praticamente todo consumido (Figura 2), mesmo nas

Tabela 1. Caracterização das embalagens flexíveis.

| Filmes Plásticos ² | Características das embalagens | |
|-------------------------------|--------------------------------|--|
| | Espessura (µm) | ¹ TPO ₂ (mL (CNTP) m ⁻² dia ⁻¹) |
| PVC | 20 | 5.992 |
| PEBD | 33 | 6.300 |
| PEBD | 52 | 3.923 |
| PP | 32 | 2.703 |
| PP | 51 | 1.678 |
| BOPP/PEBD | 66 | 1.233 |
| *Xtend-815-BAS-14 | 34 | 1.600 |

¹ TPO₂, taxa de permeabilidade ao oxigênio a 23 °C, a seco e 1 atm de gradiente de pressão parcial de oxigênio. ² PVC: filme de PVC estável; PEBD: polietileno de baixa densidade; PP: polipropileno; BOPP/PEBD: filme laminado de PP biorientado e PEBD; Xtend: embalagem com microperforação a laser. * Dado fornecido pelo fabricante. Refere-se à permeabilidade ao oxigênio antes das microperforações a laser. A embalagem microperfurada não foi caracterizada quanto à permeabilidade em função da impossibilidade de ajuste do n° de perfurações/área do corpo de prova do material que representasse a embalagem.

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

Tabela 2. Caracterização da bandeja rígida de polipropileno com tampa de encaixe do mesmo material (bandeja de PP).

| Amostra | Características da embalagem | |
|---------------------|------------------------------------|--|
| | Espessura mínima (μm) | TTO ₂ (mL (CNTP). embalagem ⁻¹ . dia ⁻¹) |
| Embalagem com tampa | - | >1* |
| Tampa | 0,22 | - |
| Canto da embalagem | 0,10 | - |
| Fundo da embalagem | 0,19 | - |

TTO₂: Taxa de transmissão ao oxigênio a 23 °C e 0,21 atm de gradiente de pressão parcial de oxigênio. * Limite máximo de quantificação do equipamento = 1mL (CNTP). embalagem⁻¹. dia⁻¹.

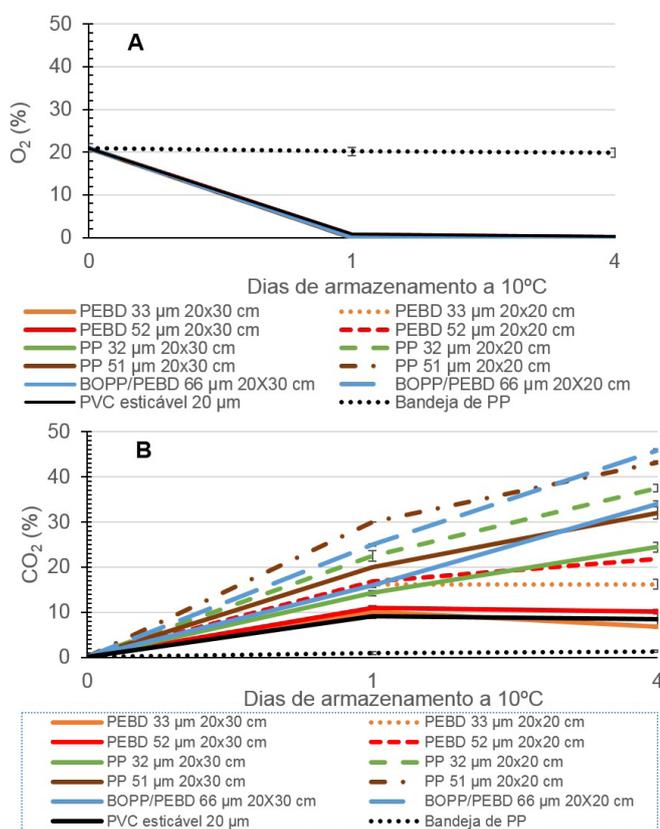


Figura 2. Evolução da atmosfera modificada passiva no interior das embalagens contendo vagem minimamente processada, durante armazenamento a 10 °C: (A) níveis de oxigênio – O₂ e (B) níveis de gás carbônico – CO₂.

embalagens com maior permeabilidade a gases, como PVC e PEBD 33 μm (Tabela 1), exceto na bandeja de PP com tampa de encaixe, através da qual houve trocas gasosas significativas com o ar externo. A bandeja de PP (Tabela 2) foi utilizada como controle, pois, devido à falta de hermeticidade do sistema de fechamento, os níveis gasosos dentro da embalagem não se modificaram de

maneira significativa em relação ao ar. Nesta embalagem, a atmosfera modificada no quarto dia de armazenamento foi de 19,9% O₂ e 1,3% CO₂.

A concentração de CO₂ nas embalagens de PEBD (20 × 30 cm) com espessuras de 33 μm e 52 μm e PVC ficou próxima de 10%, enquadrando-se na faixa de 5-15%, recomendada por Cantwell (1992) para a maioria dos vegetais minimamente processados. Nas demais embalagens, os níveis de CO₂ ultrapassaram 15%, atingindo valores acima de 40% na embalagem de PP 51 μm (20 × 20 cm) e na embalagem BOPP/PEBD (20 × 20 cm) (Figura 2).

A modificação passiva da atmosfera observada nas embalagens flexíveis, com brusca redução na concentração de O₂ e elevação na concentração de CO₂, foi atribuída à elevada atividade respiratória da vagem minimamente processada, que foi enxaguada e sanitizada em água a 25 °C e armazenada a 10 °C. Nessas condições, a atividade respiratória da vagem atingiu valores próximos a 270 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ imediatamente após o processamento, reduziu-se para aproximadamente 150 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ após duas horas a 10 °C e estabilizou-se quatro horas a 10 °C após o processamento em aproximadamente 100 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

O odor desagradável foi observado ao abrir as embalagens no quarto dia de armazenamento, exceto no controle (bandeja de PP) e nas embalagens em que o CO₂ atingiu níveis máximos ao redor de 10%, como as embalagens de PEBD 33 μm e 52 μm no tamanho 20 × 30 cm e na embalagem de PVC. Quanto maior o nível de CO₂, mais intenso foi o odor indesejável.

Nas embalagens PP 51 μm e BOPP/PEBD com dimensões 20 × 20 cm, alguns pedaços de vagem apresentaram a casca escurecida, provavelmente devido à injúria causada pelo excesso de CO₂, acima 40%.

A atmosfera modificada anaeróbia estabelecida no interior das embalagens, além de afetar o odor e a aparência do produto, possibilita o desenvolvimento de microrganismos patogênicos, dentre eles o *Clostridium botulinum*. Gorny (2003) relata que a produção de toxina por este microrganismo pode ocorrer em temperatura acima de 5 °C, em condições de baixa concentração de O₂ e pH acima de 4,6. No entanto, em geral, intensa deterioração ocorre antes da produção da toxina.

Houve condensação de vapor d'água em todas as embalagens, exceto na de PVC, em função da maior permeabilidade ao vapor d'água deste polímero em relação às poliolefinas (PEBD e PP). A condensação de água prejudica a aparência do produto e propicia maior proliferação de microrganismos, dada a elevada umidade ao seu redor.

Diante dos resultados obtidos, optou-se por selecionar apenas a embalagem de PVC esticável para o experimento final, testando-a juntamente com uma embalagem

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

microperfurada a laser 16 × 34 cm (Xtend- 815-BAS-14), específica para produtos que apresentam elevada atividade respiratória, e utilizando a bandeja de PP como controle.

3.2 Experimento final

No segundo dia de armazenamento, nas embalagens de PVC e Xtend-815-BAS-14 (Figura 3) estabeleceu-se uma atmosfera modificada de equilíbrio. Não se verificou modificação da atmosfera na bandeja de PP (controle). Embora o polipropileno rígido apresente uma taxa de permeação intermediária a gases, a embalagem testada apresentou alta troca gasosa (Tabela 2) devido à falta de hermeticidade de fechamento pela tampa de encaixe na bandeja.

A atmosfera gasosa de equilíbrio dentro da embalagem Xtend-815-BAS-14 foi de 15% O₂ e 7% CO₂.

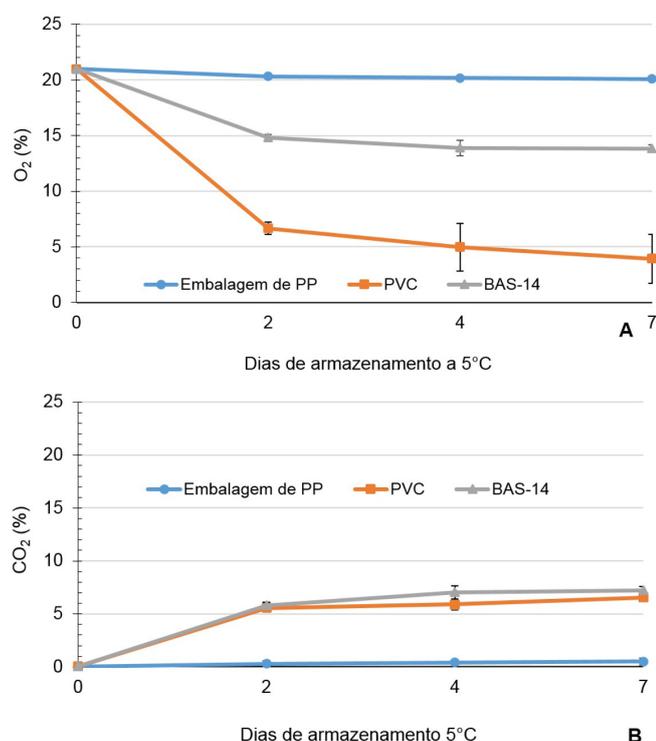


Figura 3. Evolução da atmosfera modificada passiva no interior das embalagens contendo vagem minimamente processada, durante armazenamento a 5 °C: (A) níveis de oxigênio – O₂ e (B) níveis de gás carbônico – CO₂.

Tabela 3. Coloração da superfície de corte (° hue) das vagens minimamente processadas em função dos diferentes tipos de embalagem.

| Tratamentos | Dias de armazenamento a 5 °C | | | Médias |
|------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| | 0 | 4 | 7 | |
| Bandeja PP | 118,07 ^{aA} | 117,93 ^{bA} | 116,62 ^{bB} | 117,54 ^b |
| PVC | 118,07 ^{aA} | 118,56 ^{aA} | 118,19 ^{aA} | 118,27 ^a |
| Xtend-815-BAS-14 | 118,07 ^{aA} | 118,33 ^{abA} | 117,94 ^{aA} | 118,11 ^a |
| Médias | 118,07 ^A | 118,27 ^A | 117,58 ^B | |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na embalagem de PVC, o CO₂ atingiu níveis semelhantes ao da embalagem Xtend-815-BAS-14 e o O₂ ficou ao redor de 4% no sétimo dia de armazenamento (Figura 3A, B), ou seja, nesta embalagem, os níveis gasosos ficaram próximos do recomendado para produtos minimamente processados em geral, 3% a 8% de O₂ e 5% a 15% de CO₂ e N₂, balanço conforme indicado por Cantwell (1992).

A magnitude da modificação passiva da atmosfera a 5 °C foi muito diferente em relação a 10 °C, principalmente devido ao efeito da temperatura sobre a atividade respiratória, que neste caso atingiu valores próximos a 75 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ imediatamente após o processamento, reduzindo e estabilizando duas horas após para 48 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

3.2.1 Avaliações físicas e químicas

Houve redução do ângulo hue das vagens acondicionadas em bandeja de PP, as quais diferiram (P<0,05) das vagens dos demais tratamentos no sétimo dia (Tabela 3). Apesar da pequena redução, o escurecimento foi perceptível, o que refletiu nas notas atribuídas para a aparência (Figura 4).

O escurecimento observado nas vagens acondicionadas na bandeja de PP deveu-se ao elevado nível de oxigênio (O₂) ao redor do produto (Figura 3). Elevados níveis de O₂

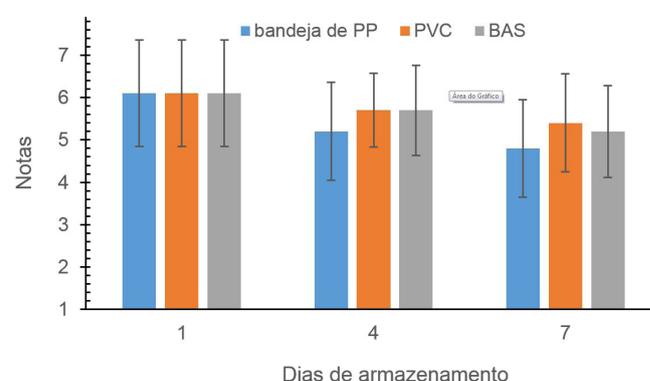


Figura 4. Notas de aceitação* para o atributo aparência em vagens minimamente processadas, em função dos diferentes tipos de embalagem. * 7=gostei muitíssimo; 6=gostei muito; 5=gostei; 4=não gostei/nem desgostei; 3=desgostei; 2=desgostei muito; 1=desgostei muitíssimo.

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

contribuem para reação de escurecimento (LUCERA et al., 2011). Estes autores também observaram que a aceitação das vagens minimamente processadas foi afetada pelos elevados níveis de O_2 ao redor do produto.

A elevação dos níveis de CO_2 dentro das embalagens de PVC e Xtend 815-BAS-14, associada ao uso da baixa temperatura de armazenamento, foi fator preponderante para controlar o escurecimento da superfície de corte das vagens. Kaji et al. (1993) também observaram retardo no escurecimento em repolho com aumento dos níveis de CO_2 , sem influência do O_2 . A prevenção do escurecimento pode ocorrer por redução da síntese de compostos fenólicos bem como pela redução da atividade da polifenoloxidase (LUNA et al., 2016).

Houve aumento de pH nas vagens de todos os tratamentos (Figura 5). Quanto maior o nível de CO_2 no interior das embalagens, maior foi o pH. De acordo com Kader (1986), o aumento de pH em vegetais minimamente processados pode estar relacionado com a resposta do tecido ao neutralizar a acidez gerada pelo CO_2 .

3.2.2 Atividade enzimática

As atividades das enzimas POD e PPO não foram afetadas pelos tratamentos nem pelo tempo de armazenamento (dados não apresentados). Esse fato sugere que a redução do metabolismo por meio do resfriamento da água de enxágue e sanitização e por meio da redução da temperatura de armazenamento foi preponderante em não alterar a atividade dessas enzimas.

Observaram-se maiores valores de atividade dessas enzimas nas vagens acondicionadas na bandeja de PP, apesar de os tratamentos não diferirem entre si ($P < 0,05$), o que explica o leve escurecimento observado nas vagens deste tratamento (Tabela 3). Em média, a atividade da POD e PPO nas vagens acondicionadas em bandeja de PP foi 10,6% e 5,0% maior, respectivamente, em relação às vagens dos demais tratamentos.

A atividade da enzima PME foi afetada apenas pelo tempo de armazenamento. Em todos os tratamentos, a atividade da enzima PME apresentou aumento no sétimo dia de armazenamento (Figura 6). Esse aumento pode ser atribuído à degradação dos carboidratos estruturais da parede celular, a qual é acompanhada pelo aumento da atividade das enzimas pectinametilsterase, poligalacturonase, dentre outras, que são, em grande parte, responsáveis pela mudança de textura dos vegetais (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

3.2.3 Aspectos microbiológicos

Depois do processamento, observou-se redução na contagem de coliformes totais, dada a eficácia da sanitização. A contagem foi de 460 NMP g^{-1} antes do processamento e reduziu-se a 21 NMP g^{-1} após o processamento e a

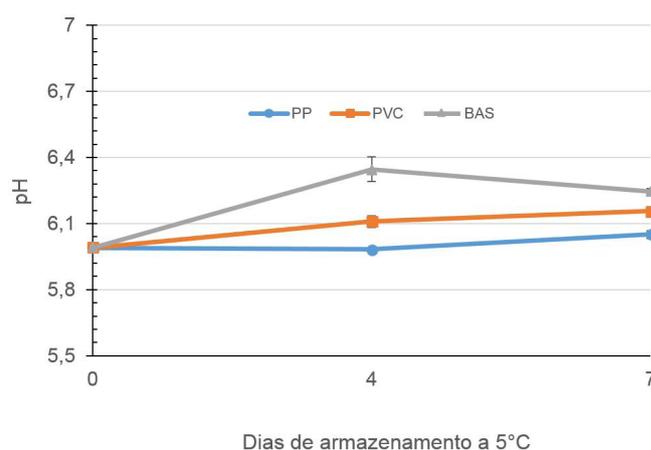


Figura 5. Evolução do pH das vagens minimamente processadas em função dos diferentes tipos de embalagem.

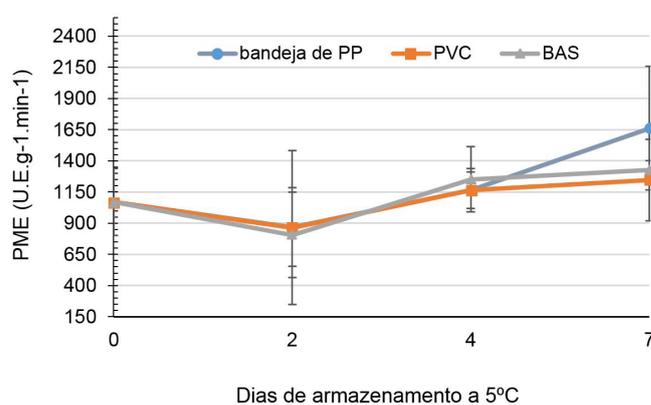


Figura 6. Atividade da PME das vagens minimamente processadas em função dos diferentes tipos de embalagem.

sanitização. Ao longo do armazenamento, as contagens desse grupo de microrganismos permaneceram baixas, máximo 15 NMP g^{-1} , reflexo das boas práticas de fabricação adotadas.

Não foram detectados coliformes termotolerantes e *Salmonella* em nenhuma das amostras, atendendo à Resolução da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, RDC nº 12 de 2 de janeiro de 2001. Esta resolução estabelece para hortaliças minimamente processadas limite máximo de 100 NMP g^{-1} para coliformes termotolerantes e ausência de *Salmonella* em 25 g de produto (BRASIL, 2001).

A contagem de bactérias psicrotróficas nas vagens reduziu cerca de 1 ciclo log após o processamento. Ao final do armazenamento, a contagem dessas bactérias nas vagens acondicionadas em bandeja de PP ultrapassou o limite recomendado por Morton (2001), que indica o máximo de 10^6 UFC g^{-1} . Nas demais embalagens, a contagem de bactérias ficou dentro do limite recomendado (Tabela 4).

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

Tabela 4. Contagem total de aeróbios psicotróficos (UFC g⁻¹) em vagens minimamente processadas em função dos diferentes tipos de embalagem.

| Tratamentos | Dias de armazenamento a 5 °C | | |
|------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 0 | 4 | 7 |
| Bandeja PP | 1,4 × 10 ⁴ | 1,3 × 10 ⁵ | 1,0 × 10 ⁷ |
| PVC | 1,4 × 10 ⁴ | 6,8 × 10 ⁴ | 1,0 × 10 ⁶ |
| Xtend-815-BAS-14 | 1,4 × 10 ⁴ | 9,1 × 10 ⁴ | 1,0 × 10 ⁶ |

Antes processamento: 2,1 × 10⁵ UFC g⁻¹.

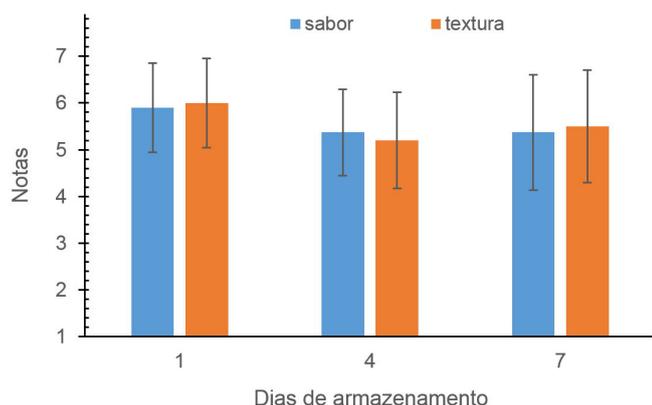


Figura 7. Notas¹ de aceitação* para os atributos sabor e textura em vagens minimamente processadas, em função do tempo de armazenamento. * 7=gostei muitíssimo; 6=gostei muito; 5=gostei; 4=não gostei/nem desgostei; 3=desgostei; 2=desgostei muito; 1=desgostei muitíssimo. ¹Os valores representam as médias de tratamentos.

O controle do crescimento microbiano nas embalagens PVC e Xtend-815-BAS-14 provavelmente ocorreu em função das altas concentrações de CO₂ atingidas dentro delas. De acordo com Bodbodak e Moshfeghifar (2016), O₂, CO₂ e N₂ são os gases mais frequentemente utilizados em embalagem com atmosfera modificada. Dentre eles, o CO₂ apresenta efeito antimicrobiano.

3.3 Análise sensorial

A aparência das vagens acondicionadas nas embalagens PVC e Xtend-815-BAS-14 no quarto dia de armazenamento apresentou maior nota de aceitação, enquadrando-se na escala “gostei muito”, enquanto a nota de aceitação das vagens embaladas em bandeja de PP situou-se ao redor de 5 (“gostei”) (Figura 4). No entanto, essa diferença não foi significativa (P>0,05). A menor nota de aceitabilidade atribuída às vagens acondicionadas na bandeja de PP foi decorrente do leve escurecimento observado na superfície de corte (Tabela 3).

Do quarto para o sétimo dia, houve redução de 0,4 pontos na escala de aparência. As notas foram 4,8; 5,4; e 5,2 para vagens acondicionadas em bandeja de PP, PVC e Xtend, respectivamente, ou seja, as notas ficaram próximas de 5, correspondente a “gostei” na escala hedônica (Figura 4). De maneira geral houve redução

(P<0,05) da nota de aparência ao longo do armazenamento. O valor médio das notas reduziu de 6,1 para 5,1.

O sabor e a textura não foram afetados pelo tipo de embalagem, apenas pelo tempo de armazenamento. Em média, as notas de sabor variaram de 5,9 (gostei muito) no dia do processamento para 5,4 (gostei) no sétimo dia de armazenamento e as de textura variaram de 6,0 (gostei muito) no dia do processamento para 5,5 (gostei) no sétimo dia de armazenamento (Figura 7).

4 Conclusões

Na produção de vagem minimamente processada, recomenda-se a utilização de água resfriada a 5 °C nas operações de enxágue e sanitização e armazenamento a 5 °C, para evitar anaerobiose dentro de embalagens plásticas.

A modificação passiva da atmosfera nas embalagens de vagem minimamente processada, em virtude da utilização das embalagens de filme esticável de PVC e filme microperfurado a laser (Xtend-815-BAS-14), minimizou o escurecimento da superfície de corte da vagem e a proliferação microbiana. O filme esticável de PVC tem como principal vantagem seu baixo custo, porém apresenta maior fragilidade, estando sujeito a perfurações pelas arestas da bandeja de poliestireno expandido, principalmente durante o manuseio e transporte, o que compromete a modificação da atmosfera. Dessa forma, a embalagem microperfurada Xtend-815-BAS-14 é recomendável para vagem minimamente processada.

Agradecimentos

À FAPESP (Processo 2011/08421-0) pelo auxílio financeiro. Ao CNPq pela Bolsa Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT (Processo 310396/2011-5).

Referências

ARRUDA, M. C.; JACOMINO, A. P.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Embalagens para produtos minimamente processados. In: LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. (Ed.). **Embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. cap. 11, p. 205-246.

Conservação de vagem minimamente processada em embalagem com atmosfera modificada passiva

Palharini, M. C. A. et al.

- ASTM INTERNATIONAL - ASTM. **ASTM D 3985-05 (Reapproved 2010)e1**: standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor. Philadelphia, 2005. 7 p.
- ASTM INTERNATIONAL - ASTM. **ASTM F 1307-02 (Reapproved 2007)**: standard test method for oxygen transmission rate through dry packages using a coulometric sensor. Philadelphia, 2007. 6 p.
- BODBODAK, S.; MOSHFEGHIFAR, M. Advances in modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. In: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Eco-friendly technology for postharvest produce quality**. Amsterdã: Elsevier, 2016. cap. 4, p. 127-183.
- BRASIL. Resolução RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Dispõe sobre o Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 jan. 2001.
- BRECHT, J. K.; SALTVEIT, M. E.; TALCOTT, S. T.; MORETTI, C. L. Alterações metabólicas. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento de frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2007. cap. 2, p. 43-99.
- CANO, M. P.; ANCOS, B.; MATALLANA, M. C.; CÁMARA, M.; REGLERO, G.; TABERA, J. Differences among spanish and latin-american banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. **Food Chemistry**, Barking, v. 59, n. 3, p. 411-419, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00285-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00285-3).
- CANTWELL, M. Postharvest handling systems: minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2. ed. Davis: University of California, 1992. cap. 32. p. 277-281.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- FERREIRA, V. L. P.; ALMEIDA, T. C. A. V.; PETTINELLI, M. L. C. V.; SILVA, M. A. A. P.; CHAVES, J. B. P.; BARBOSA, E. M. M. **Análise sensorial**: testes discriminativos e afetivos. Campinas: SBCTA, 2000. 127 p.
- GORNY, R. J. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 600, p. 609-614, 2003.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – ISO. **ISO 4593**: plastics - film and sheeting - determination of thickness by mechanical scanning. Switzerland, 1993. 2 p.
- KADER, A. A. Potential applications of ionizing radiation in post harvest handling of fresh fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 6, p. 117-121, 1986.
- KAJI, H.; UENO, M.; OSAJIMA, Y. Storage of shredded cabbage under a dynamically controlled atmosphere of high O₂ and high CO₂. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, Tóquio, v. 57, n. 7, p. 1049-1052, 1993.
- KERTESZ, Z. I. Pectic enzymes. In: Kertesz, Z. I. **The pectic substances**. Geneva: Intersciencepublishers, 1951. cap. 14, p. 333-375.
- LIMA, G.P.P. **Efeito do cálcio sobre o teor de poliaminas e atividade da peroxidase do nitrato em calos de arroz (Oriza sativa cv. IAC 4440)**. 1994. 85 f. Tese (Doutorado em Bioquímica)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- LUCERA, A.; CONTE, A.; DEL NOBILE, M. A. Shelf life of fresh cut green beans as affected by packaging systems. **International Journal of Food Science and Technology**, Heidelberg, v. 46, p. 2351-2357, 2011.
- LUNA, M. C.; TUDELA, J. A.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; GIL, M. I. Modified atmosphere (MA) prevents browning of fresh-cut romaine lettuce through multi-target effects related to phenolic metabolism. **Postharvest Biology and Technology Science**, Amsterdam, v. 119, p. 84-93, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.001>.
- MORTON, R. D. Aerobic plate count. In: DOWNES, F. P.; ITO, K. (Ed.). **Compendium of methods for the microbiological examinations of foods**. Washington: American Public Health Association, 2001. p. 63-67.
- OLIVEIRA, L. M.; QUEIROZ, G. C. (Org.). **Embalagens plásticas rígidas**: principais polímeros e avaliação da qualidade. Campinas: CETEA/ITAL, 2008. 372 p.
- PERES, J. E.; ARRUDA, M. C.; FILETI, M. S.; FISCHER, I. H.; SIMIONATO, E. M. R. S.; VOLTAN, D. S. Qualidade de feijão-vagem minimamente processado em função das operações de enxague e sanificação. **Semina, Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 173-180, 2011.
- SÁNCHEZ-MATA, M. C.; CÁMARA, M.; MARQUÉS, C. D. Extending shelf-life and nutritive value of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), by controlled atmosphere storage: micronutrients. **Food Chemistry**, Barking, v. 80, p. 317-322, 2003.
- SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S.; GOMES, R. A. R. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Livraria Varela; 2010. 624 p.
- TOMÁS-CALLEJAS, A.; LÓPEZ-GÁLVEZ, F.; SBODIO, A.; ARTÉS, F.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; SUSLOW, T. V. Chlorine dioxide and chlorine effectiveness to prevent *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* cross-contamination on fresh-cut Red chard. **Food Control**, Berkshire, v. 23, n. 2, p. 325-332, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.07.022>.