

ATIVIDADE RESPIRATÓRIA, PRODUÇÃO DE ETILENO E VIDA ÚTIL DE REPOLHO (*Brassica oleracea*, var. *capitata*) MINIMAMENTE PROCESSADO EM ATMOSFERA CONTROLADA

MARIA M. RINALDI¹, BENEDITO C. BENEDETTI², CELSO L. MORETTI³

RESUMO: Com o objetivo de avaliar a atividade respiratória e a produção de etileno do repolho inteiro e minimamente processado e a vida útil do repolho minimamente processado em atmosfera controlada, realizaram-se dois experimentos em etapas sequenciais. Na primeira etapa, avaliaram-se a atividade respiratória e a produção de etileno do repolho inteiro e minimamente processado, em sistema fechado, nas temperaturas de 5 °C e 10 °C. Na segunda etapa, avaliou-se a vida útil do repolho minimamente processado em atmosfera controlada. O produto foi submetido a fluxo contínuo de misturas gasosas ternárias, com concentrações de 2% a 10% de O₂ e de 3% a 10% de CO₂, previamente umidificadas, na temperatura de 5 °C por 10 dias. Como controle, foi utilizado o ar atmosférico. A atividade respiratória do repolho inteiro e minimamente processado, armazenado a 5 °C, foi significativamente menor que a do armazenado a 10 °C, sendo que, em ambas as temperaturas, o repolho minimamente processado foi o que obteve a maior atividade respiratória com relação ao repolho inteiro. Não foi detectada a produção de etileno pelo método de análise utilizado. A atmosfera controlada não prolongou a vida útil do repolho minimamente processado nas concentrações de 2% a 10% de oxigênio e de 3% a 10% de dióxido de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: processamento mínimo, armazenamento, temperatura.

RESPIRATION RATE, ETHYLENE PRODUCTION AND SHELF LIFE OF MINIMALLY PROCESSED CABBAGE (*Brassica oleracea*, var. *capitata*) UNDER CONTROLLED ATMOSPHERE

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the respiration rate and ethylene production of whole and minimally processed cabbage as well as the shelf life of minimally processed cabbage stored under controlled atmosphere. Then, two sequential experiments were done. In the first one, the respiration rate and ethylene production of whole and minimally processed cabbage were evaluated in a closed system, at 5 °C and 10 °C. In the second experiment, the shelf life of minimally processed cabbage under controlled atmosphere was analyzed. The product was submitted to a continuous flow of ternary gaseous mixtures, previously humidified, with concentrations ranging from 2% to 10% of O₂ and from 3% to 10% of CO₂, at the temperature of 5 °C for 10 days. Atmospheric air was used as control. The respiration rates of whole and minimally processed cabbage, stored at 5 °C, were significantly lower than that at 10 °C, and for both temperatures, the minimally processed cabbage presented higher respiration rates than the whole cabbage. Ethylene production was not detected by the method of analysis which was used. Controlled atmosphere did not prolong the shelf life of minimally processed cabbage kept in the concentrations ranging from 2% to 10% of oxygen and 3% to 10% of carbon dioxide.

KEYWORDS: minimal processing, storage, temperature.

¹ Eng^a Agrônoma, Pesquisadora A, Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, Rodovia Brasília-Fortaleza, Caixa Postal 08223, Brasília, DF, Fone: (0XX61) 388.9898, maria.rinaldi@cpac.embrapa.br

² Eng^o de Alimentos, Pós-Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, benedeti@agr.unicamp.br

³ Eng^o Agrônomo, Doutor, Pesquisador III, Embrapa Hortaliças, Brasília – DF, moretti@cnph.embrapa.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 4-4-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 12-6-2008

INTRODUÇÃO

A demanda por produtos prontos para o consumo, como os produtos minimamente processados, tem crescido em todo o mundo desde seu surgimento, há mais de 30 anos nos Estados Unidos da América (HERNANDES et al., 2007). Os produtos minimamente processados são definidos como hortaliças e frutas que são submetidas a diversas etapas, sendo selecionadas, lavadas, cortadas, enxaguadas, sanitizadas e acondicionadas em embalagens adequadas e mantidas sob baixas temperaturas. Esses produtos são fisicamente alterados de sua forma original para torná-los convenientes ao preparo e ao consumo, permanecendo no estado fresco com qualidade e garantia de sanidade (IFPA, 2004). Esses alimentos devem apresentar frescor característico do produto *in natura*, qualidade aceitável pelo consumidor e estar livre de defeitos.

Ferimentos ou cortes nas células e nos tecidos de plantas levam ao aumento na taxa respiratória. Quanto maior o nível de ferimentos, maior a taxa respiratória, que está diretamente relacionada com o grau de processamento do tecido (FONSECA et al., 2002). O repolho é considerado um produto que apresenta baixa atividade respiratória e produção de etileno, apresentando vida útil superior aos produtos com média e alta produção de CO₂ (CANTWELL & SUSLOW, 1999). Segundo esses autores, as taxas respiratórias de alface e do repolho em tiras são de 200% a 300% maior com relação às hortaliças intactas e permanecem altas durante todo o armazenamento. Baixas temperaturas, associadas com a atmosfera modificada, durante o armazenamento, reduzem a produção de CO₂ e a síntese de etileno em hortaliças folhosas minimamente processadas (BARTH et al., 1993).

O conhecimento sobre a influência da temperatura na taxa respiratória de cada produto é indispensável, pois a embalagem que é projetada para acomodá-lo a uma determinada temperatura de armazenamento, geralmente, não é adequada para outras temperaturas. Isso ocorre devido aos diferentes efeitos dessas na permeabilidade e na taxa respiratória (SARANTÓPOULOS et al., 2003). Para CANTWELL (1995), a temperatura indicada para a conservação de repolho processado varia de 0 °C a 5 °C. Além disso, SILVA (2000) afirma que a temperatura de 5 °C é eficiente e adequada para o armazenamento do repolho minimamente processado em atmosfera modificada passiva. Essa temperatura encontra-se na faixa recomendada (0 °C a 5 °C) para o armazenamento do repolho inteiro e minimamente processado, enquanto 10 °C é a temperatura geralmente encontrada nas gôndolas dos supermercados, onde os produtos minimamente processados são mantidos, geralmente, em temperatura considerada inadequada para a comercialização aos consumidores (NASCIMENTO et al., 2003).

O armazenamento em atmosfera controlada (AC) é conhecido como retardador da senescência do repolho, especialmente por manter a cor verde, alterar de forma desejável o sabor, aroma e outras características das crucíferas (ISEMBERG, 1979; TIOVONEN et al., 1982). MENNITI et al. (1997) armazenaram repolho em AC com 1% a 3% de O₂ e 1% a 10% de CO₂ na temperatura de 0 °C, com melhores resultados em atmosfera com 3% de O₂ e 5% de CO₂. Segundo KAWANO et al. (1984), a ótima concentração de O₂ para o armazenamento do repolho minimamente processado está entre 2,2% e 4,3%. Entretanto, GORNY (2003) recomenda a mesma faixa de temperatura e sugere uma atmosfera controlada de 5% a 7,5% de O₂ e 15% de CO₂, com exceção do repolho Chinês que se conserva melhor na concentração de O₂ e de CO₂ de 5%. Na concentração de 0% a 15% de CO₂ e O₂ de 2,5% a 10%, armazenados sob atmosfera controlada a 5 °C, observou-se diminuição do escurecimento do repolho sem a influência da concentração de O₂ na faixa de 2,5% a 10%. A baixa concentração de O₂ provocou o aparecimento de odor após 6 dias de armazenamento a 2,5% de O₂, 8 dias a 5% de O₂ e 10 dias a 7,5% de O₂, sendo pouco afetado pela concentração de CO₂ entre 5% e 15%. A contagem microbiana total foi pouco influenciada pelo O₂ e pelo CO₂ (KAJI et al., 1993). O armazenamento de couve-flor em atmosfera controlada com 3% de O₂ e 5% de CO₂, na temperatura de 0 °C, diminuiu a perda de qualidade do produto (HODGES et al., 2006).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a atividade respiratória e a produção de etileno do repolho inteiro e minimamente processado nas temperaturas de 5 °C e 10 °C,

em sistema fechado, além de verificar a vida útil do repolho minimamente processado em atmosfera controlada na temperatura de 5 °C.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em duas etapas seqüenciais. A primeira etapa consistiu na avaliação da atividade respiratória e da produção de etileno do repolho inteiro e minimamente processado, nas temperaturas de 5 °C e 10 °C, em sistema fechado. Na segunda etapa, avaliou-se a vida útil do repolho minimamente processado em atmosfera controlada com concentração de 2% a 10% de O₂ e 3% a 10% de CO₂, na temperatura de 5 °C.

Para as duas etapas, utilizou-se de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) da variedade Sagitarius, com 90 dias de campo, obtido de plantação comercial localizada no município de Morungaba - SP. Após a colheita, a matéria-prima foi selecionada descartando-se as unidades mal-formadas e as que apresentavam quaisquer indícios de doenças; as hortaliças foram lavadas em água corrente e armazenadas em câmara fria à temperatura de 5 °C ± 2 °C e 95% ± 5% de umidade relativa por 24 h.

O processamento do produto consistiu em corte manual das cabeças de repolho em quatro partes, retirando-se as partes internas (talos); fatiamento em tiras com espessura de ±3 mm, em processador de alimentos modelo PA-7L, marca SKYMSEN; os vegetais foram imersos por 10 min em solução sanitizante de hipoclorito de sódio, com 150 mg L⁻¹ de cloro ativo; imersos por 5 min em solução de 5 mg L⁻¹ do mesmo sanitizante e centrifugados por 5 min em centrífuga doméstica com velocidade angular média de 2.200 rpm, equivalente a 800 g. A temperatura da água de lavagem, sanitização e enxágües foi mantida a 5 °C ± 2 °C. As Boas Práticas de Fabricação foram observadas e a temperatura do ambiente foi mantida a 15 °C ± 3 °C.

Atividade respiratória e produção de etileno do repolho inteiro e minimamente processado

Três amostras de 200 g de repolho minimamente processado foram acondicionadas em três frascos de vidro, com volumes médios de 983 mL, e três cabeças de repolho inteiro, com peso médio de 1,4 kg, foram acondicionadas em três frascos de volume médio de 9.000 mL. Os seis recipientes foram hermeticamente fechados e mantidos na temperatura de 5 °C por 6 h. O mesmo procedimento foi realizado para a temperatura de 10 °C, com três amostras de repolho minimamente processado e três de repolho inteiro.

Para a determinação da concentração de O₂, CO₂ e etileno do espaço-livre dos frascos, a cada hora, alíquotas de 1 mL de gás foram retiradas da atmosfera interna dos frascos, utilizando uma seringa hermética, marca Hamilton 81317, modelo gastight 1001 LTN, com capacidade para o volume de 1 mL, própria para a cromatografia gasosa, por meio de um septo de silicone adaptado às embalagens, e injetadas em cromatógrafo a gás, marca VARIAN, modelo CG 3400, equipado com detector de condutividade térmica e coluna empacotada com Chromosorb 106 (60 mesh a 80 mesh, 1,8 m de comprimento e 3,2 mm de diâmetro interno). Utilizou-se como gás de arraste o hélio (He - 460 kPa), com fluxo de 20 mL min⁻¹ a 25 mL min⁻¹. A temperatura da coluna foi de 40 °C, do injetor 70 °C e do detector 150 °C. A corrente utilizada foi de 138 mA, com a atenuação de 8 mA.

Esse mesmo cromatógrafo possui detector de ionização de chama e coluna empacotada com Molisieve 5 A 45/60 (80 mesh a 100 mesh, 1,8 m de comprimento e 3,2 mm de diâmetro interno). A temperatura da coluna foi de 40 °C, do injetor 70 °C e do detector 150 °C. A pressão e o fluxo de N₂ (gás de arraste), do ar sintético e do hidrogênio (H₂) foram, respectivamente, 280 kPa (20 mL min⁻¹ a 25 mL min⁻¹), 550 kPa (300 mL min⁻¹ a 350 mL min⁻¹) e 280 kPa (37 mL min⁻¹ a 39 mL min⁻¹), para mensurar as concentrações de etileno. O injetor empregado foi o do tipo *split/splitless*, no modo *splitless*. As taxas de produção de dióxido de carbono, oxigênio e etileno foram calculadas em função do tempo, utilizando-se como padrões, 10.000 mg kg⁻¹ para o dióxido de carbono, 80.000 mg kg⁻¹ para o oxigênio e 6,8 mg kg⁻¹ para o etileno.

Em seguida, os frascos foram abertos e, com o auxílio de um miniventilador, fez-se a renovação do ar no interior dos recipientes, sendo fechados por mais 1 h e, assim, sucessivamente, durante 6 h (SARANTÓPOULOS et al., 2003; SILVA, 2000).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento, em que se estudou a interação entre os fatores produto (repolho inteiro e minimamente processado), temperatura (5 °C e 10 °C) e tempo (1; 2; 3; 4; 5 e 6 horas). A análise estatística dos dados obtidos foi realizada com o auxílio do *software* ESTAT – UNESP, Câmpus Jaboticabal. Após a análise de variância, os dados foram expressos como médias e comparados pelo teste de Tukey, ao intervalo de confiança de 99% ($p \leq 0,01$).

Vida útil do repolho minimamente processado em atmosfera controlada

Definiu-se o fluxo gasoso a ser utilizado, baseado na taxa respiratória, massa do produto e máxima concentração permitida de CO₂ acumulado no interior do recipiente. A definição das atmosferas controladas utilizadas no experimento baseou-se em dados fornecidos pela literatura (KADER, et al., 1989; EXAMA et al., 1993; MOLEYAR & NARISIMHAM, 1994), com faixa de O₂ entre 2% e 10% e CO₂ entre 3% e 10%, balanceadas com N₂. A definição das misturas foi realizada por meio de planejamento estatístico, utilizando-se do sistema ternário para misturas, fornecido pelo *software* STATISTICA, versão 5.0, que para o delineamento utilizado, gerou nove combinações de O₂ e de CO₂ balanceadas com N₂ (Tabela 1). As misturas gasosas foram fornecidas integralmente pela empresa White Martins. Como controle, foi utilizado o ar atmosférico (21% O₂, 0,03% CO₂, 78,9% N₂).

TABELA 1. Misturas ternárias utilizadas em repolho minimamente processado sob atmosfera controlada na temperatura de 5 °C. **Ternary mixtures used in minimally processed cabbage stored under controlled atmosphere at 5 °C.**

Misturas	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)
TC	21	0,03	78,9
M1	2	3	95
M2	10	3	87
M3	2	10	88
M4	10	10	80
M5	2	6,5	91,5
M6	10	6,5	83,5
M7	6	3	91
M8	6	10	84
M9	6	6,5	87,5

TC - tratamento-controle; M1 a M9 - misturas ternárias.

O repolho minimamente processado, com massa de 200 g, foi acondicionado em frascos de vidro com capacidade de 3,2 L, com tampa adaptada com duas mangueiras, sendo uma conectada ao fluxcentro (CALBO, 1989), para a entrada das misturas gasosas, previamente umidificadas, e a outra permitindo a saída do gás do interior do frasco, formando fluxo contínuo no interior do mesmo. O fornecimento contínuo da composição gasosa sob baixa pressão foi obtido pela utilização de válvulas de duplo estágio adaptadas aos cilindros. O controle do fluxo de gás foi realizado por capilares de 0,28 mm de diâmetro com 30,0 mm \pm 0,5 mm de comprimento. Todo o experimento foi realizado em câmara frigorífica, à temperatura de 5 °C \pm 1 °C.

O fluxo de ar utilizado neste experimento foi de 1,23 mL s⁻¹, para a taxa respiratória média de 66,80 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e 200 g de repolho minimamente processado. Devido às condições experimentais, realizaram-se três testes distintos, em que as misturas foram sorteadas aleatoriamente. No primeiro teste, foram avaliadas as composições gasosas M2, M6 e M7 (Tabela 1). No segundo, as misturas M3, M4 e M8, e no terceiro, as misturas M1 e M5. Nos três testes, foi

utilizada a mistura M9 (ponto central do planejamento) com o intuito de prever o erro experimental e as mudanças que pudesse haver em diferentes lotes da matéria-prima e no processamento e no tratamento controle (ar atmosférico).

Cada teste foi realizado por um período de 10 dias. Na instalação do mesmo, e no terceiro, sétimo e décimo dias de armazenamento, foram realizadas análises de cor (L^* , a^* , b^*) em colorímetro Minolta, modelo CR-300, calculando-se, a partir desses valores, o incremento de escurecimento ($IE = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$), ácido ascórbico (CARVALHO et al., 1990), pH (CARVALHO et al., 1990), acidez titulável (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985) e sólidos solúveis (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento, em que cada repetição consistiu em um frasco contendo 200 g de repolho minimamente processado. Estudou-se a interação entre os fatores composição gasosa (tratamento controle e misturas M1 a M9) e tempo (0; 3; 7 e 10 dias). A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do *software* ESTAT - UNESP, Câmpus Jaboticabal. Após a análise de variância, os dados foram expressos como médias e comparados pelo teste de Tukey, ao intervalo de confiança de 99% ($p \leq 0,01$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atividade respiratória e produção de etileno do repolho inteiro e minimamente processado

A taxa respiratória do repolho inteiro (Tabela 2) foi significativamente menor que do repolho minimamente processado nas duas temperaturas estudadas. Foram observadas diferenças significativas entre as temperaturas, e após 4 h nas amostras controle, mantidas a 10 °C, foi observado pico na produção de CO₂ superior ao repolho minimamente processado a 5 °C.

TABELA 2. Valores médios da atividade respiratória (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) do repolho inteiro e do repolho minimamente processado nas temperaturas de 5 °C e 10 °C, em sistema fechado, durante 6 h. **Respiration rates mean values (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) of whole and minimally processed cabbage at 5 °C and 10 °C, in closed system for 6 hours.**

Tratamento	Tempo (h)					
	1	2	3	4	5	6
RI 5°C	66,48 BCd	64,29 CDd	91,84 Ac	53,89 Ed	67,88 Bd	61,80 Dd
RMP 5°C	144,35 Ab	126,90 Db	118,25 Eb	130,60 Cc	131,17 Cb	136,09 Bb
RI 10°C	79,20 Cc	76,34 Cc	78,31 Cd	169,32 Ab	77,49 Cc	84,25 Bc
RMP 10°C	355,23 Ba	308,64 Ea	379,29 Aa	274,03 Fa	326,09 Da	335,59 Ca

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

RI - repolho inteiro; RMP - repolho minimamente processado.

A atividade respiratória do repolho minimamente processado e armazenado a 10 °C foi estatisticamente superior ao armazenado a 5 °C, apresentando a maior atividade a 1 h e 3 h após o processamento; o repolho inteiro, nessa mesma temperatura, apresentou a maior atividade somente após 4 h do processamento. Para as duas temperaturas o repolho minimamente processado apresentou maior taxa respiratória que o repolho inteiro, como já era esperado. De acordo com AHVENAINEN (1996), a atividade respiratória de produtos minimamente processados aumenta de 1,2 vez a 7 vezes, ou até mais, dependendo do produto, grau de corte e temperaturas, comparado ao produto inteiro. Os resultados obtidos neste experimento são similares aos demonstrados por AHVENAINEN (1996), uma vez que o repolho minimamente processado, armazenado a 5 °C, apresentou atividade respiratória, em média, duas vezes maior que o repolho inteiro. Na temperatura de 10 °C, essa relação foi cerca de cinco vezes maior. Em repolho minimamente processado e armazenado na temperatura de 10 °C, observou-se aumento da atividade respiratória em torno de 2,5 vezes, comparado ao armazenado na temperatura de 5 °C.

Não foi detectada a produção de etileno pelo método de análise utilizado, provavelmente, por ser o repolho classificado como produto que apresenta taxa de etileno basal muito baixa ($<0,1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ a 20°C). O repolho minimamente processado, armazenado na temperatura de 5°C , apresentou taxa respiratória média de $66,80 \text{ mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, sendo utilizada para o cálculo do fluxo gasoso, necessário para o armazenamento do repolho minimamente processado em atmosfera controlada (Etapa 2) na temperatura de 5°C .

Vida útil do repolho minimamente processado em atmosfera controlada

Os valores de L^* oscilaram entre 72,16 e 82,66, obtendo-se 10,86% de redução durante os dez dias de armazenamento refrigerado, considerando-se o valor médio inicial (80,95) e final (72,16) (Tabela 3). Apesar de não ter sido realizadas análises bioquímicas (enzimáticas), a presença de escurecimento no repolho minimamente processado foi visivelmente observada, sendo mais acentuada nos tratamentos com maiores concentrações de oxigênio.

O repolho submetido ao tratamento controle (ar atmosférico) não apresentou escurecimento significativo no intervalo de confiança de 99% ($p < 0,01$) durante todo o período, obtendo-se valores em torno de 77,0 aos 10 dias de armazenamento. O mesmo ocorreu para o produto submetido às misturas M1, M5 e M6, sendo que as duas primeiras proporcionaram os maiores valores de L^* durante todo o armazenamento, provavelmente, devido à menor concentração de oxigênio presente nas mesmas, não diferindo dos valores obtidos no tratamento-controle. Até o sétimo dia, o menor valor de L^* foi apresentado pela mistura M2, enquanto, para o décimo dia, os menores valores foram apresentados pelas misturas M4 e M8, ao redor de 72,0 (Tabela 3).

TABELA 3. Valores médios de luminosidade (L^*) e incremento de escurecimento (IE) em repolho minimamente processado armazenado sob atmosfera controlada, na temperatura de 5°C . **Mean values of luminosity (L^*) and darkness increment (IE) in minimally processed cabbage stored under controlled atmosphere at 5°C .**

Tratamentos	Luminosidade (L^*)				Incremento de Escurecimento (IE)			
	Tempo (dia)				Tempo (dia)			
	0	3	7	10	0	3	7	10
TC	80,95 Aa	79,71 Aa	77,85 Aabc	76,91 Aabc	0,00 Da	3,12 Cd	4,59 Bf	5,50 Af
M1	80,95 Aa	81,47 Aa	81,21 Aab	80,14 Aab	0,00 Da	2,20 Ag	1,37 Cj	2,13 Bi
M2	80,95 Aa	76,97 ABa	75,83 Bc	78,82 ABa	0,00 Da	4,05 Bb	5,31 Ae	3,10 Cg
M3	80,95 Aa	80,84 Aa	79,30 ABabc	75,05 Bbc	0,00 Da	6,64 Ba	4,26 Cg	8,07 Ac
M4	80,95 Aa	79,50 Aa	77,95 Aabc	72,57 Bc	0,00 Da	3,89 Cc	5,66 Bb	9,13 Ab
M5	80,95 Aa	80,92 Aa	82,66 Aa	80,96 Aa	0,00 Da	1,78 Bi	2,01 Ai	1,50 Cj
M6	80,95 Aa	79,45 Aa	78,12 Aabc	78,25 Aab	0,00 Da	1,84 Ch	3,39 Ah	2,97 Bh
M7	80,95 Aa	81,17 Aa	77,13 ABbc	75,49 Bbc	0,00 Da	1,55 Cj	5,41 Bd	6,42 Ad
M8	80,95 Aa	80,10 Aa	77,03 Abc	72,16 Bc	0,00 Da	2,23 Cf	8,15 Ba	9,92 Aa
M9	80,95 Aa	79,35 ABa	76,18 Bc	76,09 Babc	0,00 Ca	2,56 Be	5,57 Ac	5,57 Ae

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

TC - tratamento-controle; M1 a M9 - misturas ternárias.

O produto submetido às misturas M3 e M7 no décimo dia de armazenamento apresentou escurecimento superior ao dia zero e ao terceiro dia de armazenamento. Na mistura M9, o produto apresentou escurecimento significativamente superior no sétimo e décimo dias de armazenamento, comparado com o mesmo produto logo após o processamento. Maiores valores de L^* significam menor escurecimento do produto, sendo essa característica uma das principais causas da perda de qualidade visual após o processamento mínimo dos vegetais (LÓPEZ-GALVEZ et al., 1996). Segundo YANO & SAIJO (1987), o repolho é um produto que apresenta esse problema após o processamento mínimo, reduzindo, assim, a sua vida útil. Para essa variável, só ocorreu diferença

significativa no produto submetido às diferentes misturas a partir do sétimo dia de armazenamento, não diferindo do tratamento-controle.

De maneira geral, ocorreu variação significativa no incremento de escurecimento do repolho minimamente processado em todos os tratamentos durante os dez dias de armazenamento, com exceção do produto submetido à mistura M9 que não apresentou variação a partir do sétimo dia de armazenamento. Esse comportamento também ocorreu entre todas as misturas durante todo o período de armazenamento, sendo os maiores valores de incremento de escurecimento observado nas misturas M4 e M8, no décimo dia de armazenamento. Durante todo o armazenamento, os valores de incremento de escurecimento variaram de 0,00 a 9,92, sendo os maiores valores obtidos neste experimento, inferiores aos obtidos por SILVA (2000) em repolho minimamente processado acondicionado em atmosfera modificada passiva, mantido na temperatura de 5 °C.

Os valores de ácido ascórbico oscilaram entre 33,51 mg 100 g⁻¹ e 50,94 mg 100 g⁻¹ de matéria fresca, durante os 10 dias de armazenamento, sendo o repolho considerado importante fonte desse nutriente. A maior redução (31,09%) de ácido ascórbico ocorreu na mistura M8, no sétimo dia de armazenamento. No terceiro dia, somente o repolho minimamente processado sob as misturas M1, M2 e M6 diferiram dos valores obtidos no tratamento controle (Tabela 4). No final do armazenamento, a maior perda de ácido ascórbico (26,57%) em relação ao tempo zero ocorreu no produto submetido à mistura M4. Nas misturas M1, M2, M6 e M7, não ocorreram perdas de ácido ascórbico até o terceiro dia de armazenamento. KAJI et al. (1993) também observaram diminuição do teor de ácido ascórbico após a ruptura dos tecidos em alimentos minimamente processados; os autores sugerem, ainda, que essa queda pode estar associada a diversos processos oxidativos. De acordo com KADER (1986), em frutas e hortaliças armazenadas em atmosfera controlada ocorre menor redução de ácido ascórbico, comparado com o armazenamento em ar ambiente. Para KLEIN (1987), a redução desse ácido está diretamente relacionada com o aumento da taxa respiratória, da evolução do etileno e com a descompartimentação celular, além dos fatores ambientais e genéticos, tais como, calor, luz, O₂, pH, espécie e variedade cultivada.

TABELA 4. Valores médios de ácido ascórbico e sólidos solúveis em repolho minimamente processado, armazenado sob atmosfera controlada, na temperatura de 5 °C. **Mean values of ascorbic acid and soluble solids in minimally processed cabbage stored under controlled atmosphere at 5 °C.**

Tratamentos	Ácido Ascórbico (mg 100g ⁻¹ matéria fresca)				Sólidos Solúveis (°Brix)			
	Tempo (dia)				Tempo (dia)			
	0	3	7	10	0	3	7	10
TC	48,62 Aa	44,57 Bbc	42,95 BCa	40,69 Ca	5,60 Aa	5,00 Bb	4,90 Bbcd	4,90 Bb
M1	48,62 Aa	50,05 Aa	48,54 Aab	42,02 Bab	5,60 Aa	5,20 Bab	5,13 Babc	5,07 Bab
M2	48,62 Ba	50,94 Aa	43,97 Cab	42,96 Cb	5,60 Aa	5,20 Bab	5,13 Babc	5,40 ABa
M3	48,62 Aa	41,43 Bc	35,95 Dbc	40,66 Cb	5,60 Aa	5,40 ABa	4,80 Ccd	5,20 Bab
M4	48,62 Aa	40,85 Bc	37,38 Cbc	35,70 Cb	5,60 Aa	4,40 Cc	4,80 Bcd	4,20 Cc
M5	48,62 Aa	42,80 BCc	44,62 Bbc	40,87 Cb	5,60 Aa	5,13 Bab	5,07 Bbc	5,00 Bb
M6	48,62 Aa	48,92 Aa	44,71 Bcd	46,23 ABb	5,60 Aa	5,17 Bab	5,47 ABa	5,40 ABa
M7	48,62 Aa	47,11 Aab	42,52 Bde	42,04 Bb	5,60 Aa	5,10 Bab	5,27 Bab	5,00 Bb
M8	48,62 Aa	43,09 Bbc	33,51 De	41,17 Cb	5,60 Aa	4,93 BCb	4,67 Cd	5,13 Bab
M9	48,62 Aa	42,77 Bc	40,12 Be	41,23 Bc	5,60 Aa	5,20 Bab	5,20 Bab	5,20 Bab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

TC - tratamento controle; M1 a M9 - misturas ternárias.

Os maiores valores de ácido ascórbico foram observados no produto submetido às misturas M1 e M2, e o menor, no mantido na mistura M4, que não diferiu do obtido no tratamento-controle até o terceiro dia de armazenamento. No sétimo dia, houve maior variação entre as misturas, e somente os produtos nas misturas M1 e M2 não diferiram do tratamento-controle. No tratamento

N1, observaram-se os maiores valores de ácido ascórbico nesse período. No décimo dia, somente a mistura M1 não diferiu do tratamento-controle, e os maiores valores de ácido ascórbico foi apresentado pelo produto mantido na mistura M6.

A maior redução de sólidos solúveis ocorreu até o terceiro dia de armazenamento, para a maioria dos tratamentos, com exceção do produto submetido às misturas M3 e M8, que apresentaram redução acentuada até o sétimo dia. Foi observada redução máxima no final do armazenamento de 25% em relação ao valor inicial de sólidos solúveis no tratamento com a mistura M4 (Tabela 4). Quanto maior a taxa respiratória do produto, maior será o consumo de reservas do vegetal (CHITARRA, 1998). Dessa forma, a redução dos sólidos solúveis, principalmente no início do armazenamento, parece ser devido ao maior consumo dos substratos orgânicos no processo respiratório. Sugere-se que o aumento nos sólidos solúveis, em alguns períodos e tratamentos, pode ter ocorrido devido a variações nas amostras de repolho minimamente processado ou devido à perda de água do produto, conforme relatado por SILVA et al. (2003). Foi demonstrado que amostras-controle minimamente processadas tiveram redução significativa no teor de sólidos solúveis apenas do início do armazenamento, em relação aos demais. O mesmo ocorreu nas misturas M1, M5, M7 e M9, porém, de forma menos acentuada que no tratamento-controle.

Os valores de pH oscilaram entre 5,46 e 6,34 durante os 10 dias de armazenamento, com valor inicial de 5,59. Ocorreu aumento acentuado nos valores de pH obtidos no repolho minimamente processado submetido às misturas M2, M6 e M7, até o terceiro dia de armazenamento, diferindo do tratamento-controle, com posterior redução até o sétimo dia. Esses resultados estão em desacordo com os obtidos por LARSON et al. (1997), que observaram decréscimo nos valores de pH de repolho minimamente processado, de valor inicial de 6,4 para valores iguais ou inferiores a 4,6 durante todo o armazenamento a 4 °C, 12 °C e 21 °C. A menor variação de pH foi obtida nas misturas M1 e M5, e a maior, na mistura M7. No décimo dia, o repolho mantido na mistura M4 apresentou diferença significativa em relação às demais, proporcionando os maiores valores de pH, sendo, ainda, inferior ao apresentado no terceiro dia pelas misturas M2, M6 e M7.

TABELA 5. Valores médios de pH e de acidez titulável em repolho minimamente processado armazenado sob atmosfera controlada, na temperatura de 5 °C. **Mean values of pH and titratable acidity in minimally processed cabbage stored under controlled atmosphere at 5 °C.**

Tratamentos	pH				Acidez Titulável (meq ácido cítrico kg ⁻¹ de matéria fresca)			
	Tempo (dia)				Tempo (dia)			
	0	3	7	10	0	3	7	10
TC	5,59 Aa	5,68 Ac	5,57 Acd	5,66 Acd	1,14 Aa	1,01 Bb	1,03 Bbc	0,97 Bc
M1	5,59 Aa	5,47 Bde	5,46 Bd	5,60 Ad	1,14 ABa	1,18 ABa	1,22 Aa	1,12 Bab
M2	5,59 Ba	6,13 Ab	5,81 Aab	5,90 Ab	1,14 Aa	0,76 Cc	0,98 Bc	0,92 Ccd
M3	5,59 Ba	5,63 Bc	5,88 Aa	5,87 Ab	1,14 Aa	1,05 ABb	1,02 BCbc	0,95 Ccd
M4	5,59 Ca	5,70 Cc	5,85 Ba	6,10 Aa	1,14 Aa	1,00 Bb	1,00 Bbc	0,84 Cd
M5	5,59 ABa	5,60 Acd	5,48 ABd	5,60 Ad	1,14 ABa	1,23 Aa	1,10 Bbc	1,15 ABa
M6	5,59 Ca	6,24 Aab	5,85 Bab	5,92 Bb	1,14 Aa	0,75 Cc	1,11 Aab	1,01 Bbc
M7	5,59 Ca	6,34 Aa	5,89 Ba	5,89 Bb	1,14 Aa	0,65 Cc	1,06 ABbc	1,00 Bbc
M8	5,59 Ba	5,69 Bc	5,83 Aab	5,82 Ab	1,14 Aa	1,00 BCb	1,09 ABbc	0,97 Cc
M9	5,59 Ca	5,79 Be	5,71 Abc	5,80 Abc	1,14 Aa	1,01 BCb	1,08 ABbc	0,98 Cc

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si, a 1%, pelo teste de Tukey.

TC - tratamento controle; M1 a M9 - misturas ternárias.

A acidez titulável do repolho minimamente processado submetido às misturas M2, M6 e M7 apresentou redução acentuada (42,98%) até o terceiro dia, igualando-se estatisticamente aos demais

tratamentos a partir desse período. Segundo ROURA et al. (2000), logo após o processamento mínimo, o tecido vegetal apresenta respiração maior, levando ao decréscimo acentuado da acidez no início do armazenamento, devido ao consumo dos ácidos orgânicos (substâncias de reserva) no processo respiratório. A menor perda de ácidos orgânicos foi obtida no repolho submetido às misturas M1 e M5, diferindo do tratamento controle. O repolho acondicionado nas demais misturas diferiu-se de modo significativo, com valores intermediários, durante todo o armazenamento. Alguns tratamentos foram eficientes para diminuir a acidez, assim como o M2 e o M4, e outros aumentaram.

CONCLUSÕES

A atividade respiratória do repolho inteiro e minimamente processado a 5 °C foi menor que a 10 °C. O repolho minimamente processado manteve os teores de CO₂ maiores com relação ao inteiro, nas duas temperaturas avaliadas.

A atmosfera controlada não prolongou a vida útil do repolho minimamente processado nas concentrações estabelecidas entre 2% e 10% de O₂ e entre 3% e 10% de CO₂.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, à Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e à CAPES, pelos auxílios concedidos, e à empresa White Martins, pelo fornecimento integral das misturas gasosas.

REFERÊNCIAS

- AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. *Trends in Food Science & Technology*, Ontario, v.7, n.6, p.179-87, 1996.
- BARTH, M.M.; KERBEL, E.L.; BROUSSARD, S.; SCHIMIDT, S.J. Modified atmosphere packaging protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage. *Journal of Food Science*, Chicago, v.58, n.5, p.1070-2, 1993.
- CALBO, A.G. Adaptação de um fluxcentro para estudos de trocas gasosas e um método de aferição de capilares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, n.6, p.733-9, 1989.
- CANTWELL, M. Fresh-cut product biology requirements. *Perishables Handling Newsletter*, *University of California*, Davis, v.81, p.4-6, 1995.
- CANTWELL, M.; SUSLOW, T. Fresh-cut fruits and vegetables: aspects of physiology, preparation and handling that affect quality. In: ANNUAL WORKSHOP FRESH-CUT PRODUCTS: MAINTAINING QUALITY AND SAFETY, 5., 1999, Davis. *Proceedings...* Davis: University of California, 1999. Section 4b, p.1-22.
- CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M.M. *Análises químicas de alimentos*. Campinas: ITAL, 1990, 121 p. Manual Técnico
- CHITARRA, M.I.F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Lavras:UFLA/SBEA, 1998. p.1-57.
- EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R.W.; LEE, L.Z.; TOUPIN, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, Chicago, v.58, n.6, p.1.365-70, 1993.
- FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; BRECHT, J.K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, Davis, v.52, n.2, p.99-119, 2002.

- GORNY, J.R. A Summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. *Acta Horticulturae* (ISHS), Leuven, v.2, n.600, p.609-14, 2003. Disponível em: <http://www.actahort.org/books/600/600_92.htm>.
- HERNANDES, N.K.; CONEGLIAN, R.C.C.; GODOY, R.L.O.; FREIRE JUNIOR, M. Testes sensoriais de aceitação da beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *Vulgaris* L.) cv. Early Wonder, minimamente processada e irradiada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.27, p.64-8, 2007. Suplemento
- HODGES, D.M.; MUNRO, K.M.; FORNEY, C.F.; MCRAE, K.B. Glucosinolate and free sugar content in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* cv. Freemont) during controlled-atmosphere storage. *Postharvest and Biology and Technology*, Davis, v.40, n.2, p.123-32, 2006.
- IFPA. INTERNATIONAL FRESH-CUT PRODUCE ASSOCIATION. *Offering global expertise in fresh-cut produce*. Disponível em: <<http://www.fresh-cuts.org/about.php>>. Acesso em: 11 out. 2004.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. 2.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v.1, 371 p.
- ISENBERG, F.M.R. Controlled atmosphere storage of vegetables. *Horticultural Reviews*, Westport, v.1, cap. 9, p.337-94, 1979.
- KADER, A.A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, Chicago, v.40, n.5, p.99-104, 1986.
- KADER, A.A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E.L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Raton, v.28, n.1, p.1-30, 1989.
- KAJI, H.; UENO, M.; OSAJIMA, J. Storage of shredded cabbage under a dynamically controlled atmosphere of high oxygen and high carbon dioxide. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, Bunkyo, v.57, n.7, p.1.049-52, 1993.
- KAWANO, S.; ONODERA, T.; HAYAKAWA, A.; KAWASHINA, K.; IWAMOTO, M. Cold storage os shredded cabbage. *Report of the National Food Research Institute*, Tokyo, n.45, p.86-91, 1984.
- KLEIN, B.P. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*, Connecticut, v.10, n.3, p.179-93, 1987.
- LARSON, A.E.; JOHNSON, E.A.; BARMORE, C.R.; HUGHES, M.D. Evaluation of the botulism hazard from vegetables in modified atmosphere packaging. *Journal of Food Protection*, Ames, v.60, n.10, p.1.208-14, 1997.
- LÓPEZ-GALVEZ; SALTVEIT, M.; CANTWELL, M. The visual quality of minimally processed lettuces stored in ar or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types. *Postharvest Biology and Technology*, Davis, v.8, n.3, p.179-90, 1996.
- MENNITI, A.M.; MACCAFERRI, M.; FOLCHI, A. Physio-pathological responses of cabbage stored under controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, Davis, v.10, n.3, p.207-12, 1997.
- MOLEYAR, V.; NARASIMHAM, P. Modified atmosphere packaging of vegetables: an appraisal. *Journal of Food Science Technology*, Mysore, v.31, n.4, p.267-78, 1994.
- NASCIMENTO, E.F.; MORETTI, C.L.; ZUCHETTO, M.C.; MATTOS, L.M. Avaliação da temperatura de comercialização de hortaliças minimamente processadas no mercado varejista do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43., 2003, Recife. *Anais... Botucatu: Sociedade de Olericultura do Brasil*, 2003. p.195.

- ROURA, S.I.; DAVIDOVICH, L.A.; DEL VALLE, C.E. Quality loss in minimally processed swiss chard related to amount of damaged area. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technology*, Londres, v.23, n.1, p.53-9, 2000.
- SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; OLIVEIRA, L.M.; TELES, C.S.; COPPELMANS, S.A. Efeitos da embalagem e da temperatura de estocagem na qualidade de couve minimamente processada. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v.6, n.2, p.185-90, 2003.
- SILVA, E.O. *Fisiologia pós-colheita de repolho (Brassica oleracea var. capitata) minimamente processado*. 2000. 79 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- SILVA, V.V.; SOARES, N.F.F.; GERALDINE, R.M. Efeito da embalagem e temperatura de estocagem na conservação de mandioca minimamente processada. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v.6, n.2, p.197-202, 2003.
- TIOVONEN, P.; WALSH, J.; LOUGHEED, E.C.; MURR, D.P. Ethylene relationship in storage of some vegetables. In: RICHARDSON, D.G.; MEHERIUK, M. (Ed.). *Controlled atmosphere for storage and transport of perishable agricultural commodities*. Oregon: Oregon State University, 1982. p.199-207.
- YANO, M.; SAIJO, R. New preservation method for shredded cabbage with special reference to nonbrowning cultivar. *Journal of the Japanese Society for Cold Preservation of Food*, Tokyo, v.13, n.1, p.11-15, 1987.