

Aplicação de 1-metilciclopropeno, estresse inicial com baixo oxigênio e armazenamento em ultrabaixo oxigênio na qualidade de maçã Fuji

Application of 1-methylcyclopropene, initial low oxygen stress and storage in ultralow oxygen on Fuji apples quality

Auri Brackmann^I Adriano Roque de Gasperin^{II} Vanderlei Both^{III} Elizandra Pivotto Pavanello^{III}
Márcio Renan Weber Schorr^{III} Rogério de Oliveira Anese^{III}

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de 1-MCP em combinação com condições de estresse inicial com baixo O_2 e armazenamento em atmosfera controlada com pressões parciais ultrabaixas de O_2 sobre a manutenção da qualidade de maçãs Fuji. Os tratamentos avaliados foram com e sem aplicação de 1-MCP ($1.000nL L^{-1}$), combinado com cinco níveis do fator condição de armazenamento (sem estresse inicial + $0,6kPa O_2$, 1 estresse + $0,6kPa O_2$, 1 estresse + $0,8kPa O_2$, 2 estresses + $0,6kPa O_2$ e sem estresse inicial + $1,0kPa O_2$). Cada estresse inicial foi com $0,2kPa$ de O_2 pelo período de 14 dias. Os frutos foram armazenados nessas condições durante oito meses a $-0,5\pm 0,2^\circ C$ e UR de $96\pm 1\%$, mais sete dias de exposição a $20\pm 1^\circ C$. Em todos os tratamentos, o CO_2 foi mantido abaixo de $0,5kPa$. O armazenamento sem estresse inicial por baixo O_2 associado a $1,0kPa$ ou $0,6kPa$ de O_2 manteve a polpa mais firme e com maior acidez titulável. Além disso, proporcionou menor ocorrência de podridão após oito meses de armazenamento mais sete dias a $20^\circ C$. O 1-MCP proporcionou menor atividade da enzima ACC oxidase, no entanto, não foi eficiente para a redução da produção de etileno e para retardar a perda da firmeza e a ocorrência de podridão. O estresse inicial de 14 dias com $0,2kPa$ de O_2 prejudicou a conservação de maçãs Fuji.

Palavras-chave: *Malus domestica*, pós-colheita, atmosfera controlada, qualidade.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the effect of 1-MCP application in combination with initial low oxygen stress and storage in controlled atmosphere with ultra-low oxygen on Fuji apple quality preservation. The evaluated treatments consisted of 1-MCP application (with or without

$1000nL L^{-1}$) combined with five levels of the factor storage condition (without initial stress + $0.6kPa O_2$, 1 stress + $0.6kPa O_2$, 1 stress + $0.8kPa O_2$, 2 stresses + $0.6kPa O_2$ and without initial stress + $1.0kPa O_2$). Initial low oxygen stress was applied by 14 days at $0.2kPa O_2$. The fruits were stored in these conditions for eight months at $-0.5\pm 0.2^\circ C$ and relative humidity of $96\pm 1\%$, followed by seven days at $20\pm 1^\circ C$. In all treatments, the CO_2 was kept below $0.5kPa$. The storage without initial low oxygen stress associated with $1.0kPa$ or $0.6kPa O_2$ maintained the pulp firmer and with the higher titratable acidity, moreover provided a lower incidence of decay after storage during eight months and shelf life at $20^\circ C$. The 1-MCP provided lower activity of ACC oxidase enzyme, however, did not reduce ethylene production and failed to delay the loss of firmness and the control decay. Initial stress of 14 days with $0.2kPa O_2$ reduced the conservation of Fuji apples.

Key words: *Malus domestica*, postharvest, Controlled atmosphere, quality.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a atmosfera controlada (AC) é atualmente a técnica de armazenamento mais utilizada para o armazenamento de maçãs. No caso da cultivar 'Fuji', os maiores problemas que ocorrem durante o armazenamento estão relacionados com a sua suscetibilidade ao alto CO_2 quando armazenada em condição de AC (ARGENTA et al., 2002), sendo também mais suscetível à ocorrência de podridões pós-colheita que outras cultivares (VALDEBENITO SANHUEZA et al., 2006). Sendo assim, mesmo em condições de AC,

^IDepartamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: auri.brackmann@gmail.com. Autor para correspondência.

^{II}Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

^{III}Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA), UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

ocorrem perdas durante o armazenamento dessa cultivar. Dessa forma, as pesquisas buscam alternativas adicionais viáveis para serem aplicadas em nível comercial para manter a qualidade da fruta por longos períodos. Dentre as técnicas auxiliares no armazenamento em AC, está a aplicação de 1-MCP (1-metilciclopropeno), a indução inicial de estresse com baixo O₂ (ILOS – *Initial low oxygen stress*) e o armazenamento em pressões parciais ultrabaixas de O₂ (ULO – *Ultra Low Oxygen*).

A aplicação de 1-MCP tem efeito maior em AC do que no armazenamento refrigerado (WATKINS et al., 2000). O 1-MCP inibe a ação do etileno, reduzindo a velocidade de maturação e de senescência de maçãs (WATKINS et al., 2000), reduz substancialmente a perda de firmeza (BLANKENSHIP & UNRATH, 1998), mantém a acidez titulável e sólidos solúveis (ZANELLA, 2003), reduz a respiração e a produção de etileno (FAN et al., 1999).

Além da aplicação do 1-MCP, o armazenamento em AC com o uso de baixos níveis de oxigênio é uma técnica que pode resultar na manutenção da qualidade dos frutos. Entretanto, o armazenamento nessas condições por um período prolongado proporciona risco de ocorrência de distúrbios fisiológicos, como o desenvolvimento de degenerescência da polpa (BRACKMANN et al., 2002). O uso do estresse inicial pela exposição dos frutos a condições de baixo O₂ (0,2 a 0,3kPa de O₂), antes do armazenamento em AC, causa um estresse fermentativo (respiração anaeróbica) inicial no fruto. Durante o período de estresse, ocorre um aumento na produção de etanol nos frutos, que, em níveis baixos, reduz a ocorrência de escaldadura (WANG & DILLEY, 2000; ZANELLA, 2003) e também age como regulador da transcrição de genes da rota de biossíntese do etileno (ASODA et al., 2009).

No entanto, no Brasil, algumas técnicas adicionais ao armazenamento em AC ainda não estão bem elucidadas, já que podem ocorrer variações entre os diferentes locais de cultivo. As pressões parciais ultrabaixas de O₂, por exemplo, variam com a cultivar, temperatura e duração de armazenamento (CERETTA et al., 2010). Tanto o estresse inicial com baixo O₂ quanto as pressões ultrabaixas de O₂ são técnicas que não necessitam de produtos químicos. ILOS seguido do armazenamento em 1,5kPa de O₂ proporciona completo controle da escaldadura de maçãs Granny Smith e Law Rome, evitando o uso do antioxidante difenilamina e fungicidas pós-colheita (WANG & DILLEY, 2000). Além disso, essas técnicas são de baixo custo, uma vez que fazem uso dos mesmos equipamentos utilizados para armazenamento em AC, não necessitando de novas aquisições.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de 1-MCP em combinação com condições de estresse inicial com baixo O₂ seguido do armazenamento em pressões parciais ultrabaixas de O₂ na manutenção da qualidade de maçã Fuji.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos da cultivar ‘Fuji’ foram colhidos num pomar comercial localizado em Vacaria, RS. Antes da aplicação dos tratamentos, procedeu-se uma seleção, eliminando os frutos com lesões e/ou defeitos e, posteriormente, homogeneizando as unidades experimentais. Estas foram compostas por 25 frutos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado em esquema bifatorial, com quatro repetições. Os dez tratamentos originaram-se da combinação de dois níveis do fator 1-MCP (com ou sem 1.000nL L⁻¹) com cinco níveis do fator condição de armazenamento (sem estresse inicial + 0,6kPa O₂, 1 estresse + 0,6kPa O₂, 1 estresse + 0,8kPa O₂, 2 estresses + 0,6kPa O₂ e sem estresse inicial + 1,0kPa O₂). Todos os tratamentos foram mantidos com nível de CO₂ abaixo de 0,5kPa. Acrescenta-se que a pressão de 1,0 kPa O₂ é o padrão praticado nas câmaras de armazenamento de maçã Fuji.

Para a aplicação do estresse, os frutos foram armazenados em minicâmaras onde permaneceram por um período de 14 dias numa atmosfera com 0,2kPa de O₂ e 0,0kPa de CO₂. No tratamento com dois estresses, após o primeiro, os frutos permaneceram por cinco dias na condição de 0,6kPa de O₂ e 0,0kPa de CO₂ antes de receber o segundo. Após o estresse, os frutos permaneceram nas condições de AC descritas acima.

Os frutos foram armazenados durante oito meses em minicâmaras experimentais herméticas, com volume de 0,232m³, as quais foram conectadas por tubulações plásticas a uma mesa de controle com analisadores de gases. As minicâmaras permaneceram no interior de uma câmara frigorífica com a temperatura de -0,5±0,2°C. A umidade relativa no interior das minicâmaras foi mantida em 96±1%.

O produto 1-MCP foi aplicado antes do armazenamento em AC. Como fonte de 1-MCP foi utilizado o produto SmartFresh® (Rohm &HassCo) na concentração de 1.000nL L⁻¹, estando dentro da faixa testada por CORRENT et al. (2005) para a maçã Fuji. O produto foi solubilizado em 25mL de água em um recipiente hermético e, posteriormente, a solução foi transferida para uma placa de petri, já no interior da minicâmara, que foi imediatamente fechada permanecendo assim durante 24 horas, na temperatura de armazenamento. Em seguida, as minicâmaras foram ventiladas com auxílio de uma bomba de sucção.

Para os tratamentos com estresse inicial por baixo O_2 e o estabelecimento de AC, as pressões parciais de O_2 foram obtidas por diluição do O_2 do ar, por meio da injeção de N_2 nas minicâmaras. Durante todo o período de armazenamento, houve monitoramento diário das concentrações dos gases, sendo que o O_2 consumido pela respiração foi repostado através da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras. O CO_2 produzido pelos frutos foi eliminado por reação química com hidróxido do cálcio (cal hidratada) colocado no interior das minicâmaras, de modo que permaneceu abaixo de 0,5kPa durante todo período de armazenamento.

As análises da qualidade dos frutos foram realizadas após oito meses de armazenamento mais sete dias de exposição a $20 \pm 1^\circ C$ (UR $82 \pm 5\%$), para simular o período de comercialização. As variáveis avaliadas foram: a) Podridões: determinada pela contagem de frutos que apresentavam lesões de diâmetro maior que 0,5cm e características típicas de ataque por patógenos; b) Firmeza de polpa: determinada com o uso de um penetrômetro com ponteira de 11mm, inserido em dois lados opostos da região equatorial do fruto, onde foi retirada previamente a epiderme; c) Degenerescência da polpa: determinada através do número de frutos, que, submetidos a vários cortes transversais, apresentavam manchas escurecidas na polpa; d) Frutos sadios: frutos sem ocorrência de podridão, degenerescência da polpa e/ou outros danos que impossibilitam a sua comercialização; e) Acidez titulável: utilizou-se 10mL de suco que foram diluídos em 100mL de água destilada e titulados com uma solução de hidróxido de sódio 0,1N até pH8,1 sendo expressa em meq $100mL^{-1}$; f) Sólidos solúveis totais (SST): realizada com refratômetro manual e a leitura corrigida em função do efeito da temperatura e expresso em $^\circ Brix$; g) Atividade da ACC oxidase: de acordo com a metodologia proposta por BUFLER (1986); h) Produção de etileno: detectado por um cromatógrafo a gás, marca Varian® modelo Star 3400CX. Como fase estacionária, foi usada uma coluna empacotada com Porapak N de 2,0m de comprimento e tendo como fase móvel o Nitrogênio. As temperaturas empregadas foram $90^\circ C$, $140^\circ C$ e $200^\circ C$ para coluna, injetor e detector, respectivamente. A partir de uma massa conhecida de frutos, acondicionada em recipientes de vidro com volume de 5L hermeticamente vedados por um período de tempo conhecido, retirou-se uma amostra de 1mL do *headspace* de cada recipiente, que foi posteriormente injetado no cromatógrafo. Os valores médios foram obtidos em ppm e posteriormente convertidos e expressos em $\mu L C_2H_4 kg^{-1}h^{-1}$; i) Respiração: quantidade produzida de CO_2 pelos frutos dos mesmos recipientes utilizados para

determinação de etileno, que foi circulado por um analisador de gases marca *Agri-datalog* e expressa em $mL CO_2 kg^{-1}h^{-1}$, em função da massa de frutos, do volume livre do recipiente, do tempo de fechamento e da concentração de CO_2 presente nos recipientes.

Na análise estatística, os dados expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula $arc.\text{sen } \sqrt{(x+0,5)/100}$, antes de realizar a análise de variância. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ocorrência de podridões nas maçãs, logo após a abertura da câmara, não apresentou diferença significativa entre as condições de armazenamento, bem como para as condições com ou sem 1-MCP (Tabela 1). Já aos sete dias a $20^\circ C$, a incidência de podridões foi menor nos frutos sem 1-MCP que não sofreram estresse inicial por baixo O_2 e armazenados em 1,0kPa de O_2 . Os frutos tratados com 1-MCP submetidos a dois estresses e posterior armazenamento com 0,6kPa de O_2 apresentaram menor podridão quando comparados com os não tratados com 1-MCP. Somente nesta condição extrema é que a aplicação de 1-MCP apresentou vantagem no controle de podridões. Essa baixa eficiência do 1-MCP pode estar relacionada a um estágio de maturação mais avançado na colheita, que pode ser observado pela baixa firmeza de polpa (78,2N), quando comparado com outros trabalhos, a exemplo de CORRENT et al. (2005), que armazenaram maçãs Fuji com 89,6N. ARGENTA et al. (2005) afirmam que o potencial de armazenamento por longos períodos de maçã colhida tardiamente é menor, mesmo com aplicação de 1-MCP. Por outro lado, CORRENT et al. (2005) também verificaram que a aplicação de 1-MCP em maçã Fuji armazenada em AC não trouxe vantagens, sugerindo que as condições de AC já equivalem à inibição da ação do etileno proporcionado pelo 1-MCP. No entanto, as condições de ULO utilizadas no presente trabalho (0,6kPa e 0,8kPa de O_2), associadas ao uso de estresse inicial, podem ter induzido a via anaeróbica para fornecer energia aos frutos, na forma de ATP (fosforilação em nível de substrato) (KE et al., 1993), em função das concentrações excessivamente baixas de O_2 . Quando a respiração anaeróbica for excessiva, é possível o surgimento de danos às células em função do acúmulo de produtos da fermentação, o que facilita infecções patológicas (KADER, 2002).

A aplicação de 1-MCP não interferiu na perda de firmeza de polpa dos frutos, sendo que não houve diferença significativa entre frutos tratados ou não com 1-MCP (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo

Tabela 1 - Ocorrência de podridão, firmeza de polpa e percentagem de frutos sadios em maçãs Fuji após oito meses de armazenamento a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (UR $96\pm 1\%$) e em atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio e estresse inicial por baixo oxigênio com e sem a aplicação de 1-MCP (1.000nL L^{-1}), mais sete dias a $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ (UR $82\pm 5\%$).

Condição * Estresse/kPa de O ₂	-----Podridões na saída da câmara (%)-----			-----Podridões aos sete dias a 20°C (%)-----		
	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Média	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Média
Sem estresse/1,0	5,36	7,14	6,25 ^{ns}	7,1 Bb ^{**}	25,0 Aa	16,1
1 estresse/0,8	7,14	7,14	7,14	28,6 Aa	30,4 Aa	29,5
Sem estresse/0,6	5,36	1,79	3,57	25,0 Aa	23,2 Aa	24,1
1 estresse/0,6	7,14	7,14	7,14	28,6 Aa	30,4 Aa	29,5
2 estresses/0,6	12,50	5,36	8,63	35,7 Aa	19,6 Ba	27,7
Média	7,50 ^{ns}	5,71		25,0	25,7	
CV (%)		44,21			13,59	
	-----Firmeza de polpa (N)-----			-----Frutos sadios (%)-----		
Análise inicial		78,2			100	
Sem estresse/1,0	74,1 Aa ^{**}	70,3 Aa	72,2	87,5	66,1	76,8 ^{ns}
1 estresse/0,8	69,2 Aab	70,6 Aa	69,6	66,1	55,4	60,7
Sem estresse/0,6	72,4 Aab	70,5 Aa	71,4	71,4	76,8	74,1
1 estresse/0,6	68,6 Ab	69,7 Aa	69,1	66,1	64,3	65,2
2 estresses/0,6	69,7 Aab	72,2 Aa	70,9	57,1	75,0	66,1
Média	70,8	70,7		69,6 ^{ns}	67,5	
CV (%)		3,10			21,49	

*Estresse inicial por baixo oxigênio obtido por meio da exposição dos frutos durante 14 dias a uma concentração de $0,2\text{kPa}$ de O₂.

**Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

^{ns} Não significativo.

com CORRENT et al. (2005), que observaram, para esta mesma cultivar armazenada em AC, que tanto as doses de 625 quanto de 1.250nL L^{-1} de 1-MCP não foram eficientes em manter a firmeza de polpa dos frutos mais elevada, quando comparada aos frutos não tratados. Provavelmente, as baixas concentrações de O₂ utilizadas no presente trabalho, que proporcionaram baixa produção de etileno nos frutos, tenham sido eficientes em manter a firmeza dos frutos de maneira similar aos que receberam 1-MCP, mascarando o efeito do produto nesta cultivar e nestas condições de AC.

Para os frutos que não receberam aplicação de 1-MCP, a manutenção da firmeza após oito meses de armazenamento mais sete dias a 20°C foi maior naqueles que não receberam estresse inicial com baixo O₂ e permaneceram armazenados em $1,0\text{kPa}$ de O₂, diferindo apenas daqueles que receberam um estresse e permaneceram em $0,6\text{kPa}$ de O₂. Contrariamente aos resultados observados no presente trabalho, WANG & DILLEY (2000) observaram que a aplicação de ILOS, seguido do armazenamento em $1,5\text{kPa}$ de O₂, foi eficiente em manter a firmeza de polpa dos frutos. Provavelmente, a concentração de O₂ utilizada no presente trabalho, após a aplicação de estresse inicial, tenha sido demasiadamente baixa, de forma a prejudicar a

conservação da qualidade dos frutos. Pressões parciais de O₂ muito baixas resultam na modificação do metabolismo respiratório celular, iniciando a rota fermentativa. Esta é incapaz de fornecer energia suficiente para reparar danos nas membranas, causados por espécies reativas de oxigênio (VELTMAN et al., 2003), sendo que esses danos ocasionam a perda da compartimentalização celular, gerando o extravasamento do seu conteúdo (PEDRESCHI et al., 2009) e, conseqüentemente, perda da firmeza de polpa. A aplicação de 1-MCP e estresse inicial não influenciaram a porcentagem de frutos sadios.

A degenerescência da polpa e os sólidos solúveis totais não foram alterados pela aplicação do 1-MCP, nem pelas condições de estresse inicial e ultrabaixo oxigênio (dados não apresentados). ZANELLA (2003), testando 1-MCP, estresse inicial com baixo O₂ e ultrabaixo O₂ em maçãs, também não observou influência desses tratamentos no conteúdo de sólidos solúveis. A acidez titulável não apresentou interação significativa ($P \geq 0,05$) entre os fatores 1-MCP e condição de armazenamento (Tabela 2). Essa resposta discorda dos resultados obtidos por FAN et al. (1999) e ZANELLA (2003), que afirmaram que o 1-MCP retardou a degradação de ácidos orgânicos, mantendo

Tabela 2 - Acidez titulável total (ATT), atividade da enzima ACC oxidase, produção de etileno e respiração em maçãs Fuji após oito meses de armazenamento a $-0,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ (UR 96 \pm 1%) e em atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio e estresse inicial por baixo oxigênio com e sem a aplicação de 1-MCP (1.000nL L⁻¹), mais sete dias a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (UR 82 \pm 5%).

Condição * Estresse/kPa de O ₂	-----ATT (meq 100 mL ⁻¹)-----			-----ACC (ηL C ₂ H ₄ g ⁻¹ h ⁻¹)-----		
	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Média	Sem 1-MCP	Com 1-MCP	Média
Análise inicial		4,30			16,38	
Sem estresse/1,0	3,38	3,63	3,50 a	39,79 Aa	5,23 Ba	22,51
1 estresse/0,8	3,05	3,20	3,12 bc	12,78 Ab	5,14 Ba	8,96
Sem estresse/0,6	3,25	3,33	3,29 ab	15,26 Ab	1,71 Bb	8,48
1 estresse/0,6	3,08	2,95	3,01 c	11,99 Ab	4,96 Ba	8,47
2 estresses/0,6	3,08	3,08	3,07 bc	18,28 Ab	5,33 Ba	11,80
Média	3,16 A	3,23 A		19,62	4,47	
CV (%)		5,45			12,82	
	-----Etileno (μL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)-----			-----Respiração (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)-----		
Análise inicial		0,416			6,61	
Sem estresse/1,0	0,108 Aa**	0,135 Aa	0,122	3,62 Aa	3,84 Aab	3,73
1 estresse/0,8	0,115 Aa	0,133 Aa	0,124	5,29 Aa	5,64 Aa	5,46
Sem estresse/0,6	0,202 Aa	0,067 Ba	0,135	4,68 Aa	2,52 Bb	3,60
1 estresse/0,6	0,122 Aa	0,091 Aa	0,107	4,36 Aa	4,42 Aab	4,39
2 estresses/0,6	0,097 Aa	0,080 Aa	0,089	5,16 Aa	3,78 Aab	4,47
Média	0,129	0,101		4,62	4,04	
CV (%)		39,4			20,3	

*Estresse inicial por baixo oxigênio obtido por meio da exposição dos frutos durante 14 dias a uma concentração de 0,2kPa de O₂.

**Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

maior acidez titulável. O armazenamento a 1,0kPa de O₂ manteve a maior acidez, no entanto não diferiu da condição sem estresse inicial associado a 0,6kPa de O₂. Esses resultados discordam de MATTÈ et al. (2005) que, após três anos de observações em câmaras comerciais de armazenamento, com maçãs Red Delicious em ILOS (15 dias a 0,5kPa de O₂) seguido de ULO (0,9 a 1kPa de O₂), comprovaram maior acidez nestes frutos comparados com aqueles armazenados na mesma condição de AC e sem ILOS.

A aplicação de 1-MCP diminuiu significativamente a atividade da enzima ACC oxidase em todas as condições de armazenamento (Tabela 2). Para os frutos que não receberam aplicação de 1-MCP, o armazenamento em 1kPa de O₂ e sem estresse inicial proporcionou a maior atividade da enzima. Esse resultado indica que houve influência das condições de estresse e armazenamento em baixo O₂ (0,6 e 0,8kPa) sobre a atividade da enzima ACC oxidase. Essa enzima necessita da presença de O₂ para converter a ACC (Ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) em etileno (YANG & HOFFMAN, 1984). Além disso, o baixo O₂ (0,6kPa de O₂) pode ter proporcionado a produção de compostos fermentativos, como acetaldeído e etanol, em quantidades capazes de inibir a atividade da ACC oxidase (ASODA et al., 2009).

A aplicação do 1-MCP proporcionou menor atividade da enzima ACC oxidase, porém não foi eficiente em diminuir a produção de etileno (Tabela 2). Dentre os frutos que receberam aplicação de 1-MCP, aqueles armazenados em 0,6kPa de O₂ e sem estresse inicial apresentaram menor atividade da enzima ACC oxidase, refletindo menor produção de etileno. No entanto, todas as condições avaliadas neste trabalho proporcionaram baixa produção de etileno (inferior a 0,2 μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹), quando comparadas com outros trabalhos, a exemplo de BRACKMANN et al. (2010) que, aplicando pressões parciais de 1,2kPa de O₂ e menor que 0,5kPa de CO₂ (AC estática) em maçãs Fuji, observaram produção de etileno de 4,99 μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹. Dessa forma, pode-se inferir que as condições de armazenamento com estresse inicial e concentração de O₂ menores que 1kPa são eficientes no controle da produção de etileno, mesmo sem a aplicação de 1-MCP.

A respiração dos frutos, quantificada pela produção de CO₂, apresentou um comportamento semelhante à produção de etileno, sendo que, com exceção da condição de armazenamento de 0,6kPa e sem estresse inicial, nos demais tratamentos, não houve efeito positivo da aplicação de 1-MCP na redução da atividade respiratória.

CONCLUSÃO

O armazenamento sem estresse inicial por baixo O₂ associado a 1,0kPa ou 0,6kPa de O₂ foram mais eficientes em manter a qualidade de maçãs Fuji, indicando que o período de 14 dias de estresse inicial com 0,2kPa de O₂ é uma condição muito extrema para esta cultivar. Apesar de manter menor atividade da enzima ACC oxidase, o tratamento dos frutos com 1-MCP não trouxe vantagens adicionais na manutenção da qualidade de maçãs Fuji armazenadas sob as condições ultrabaixas de O₂ testadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARGENTA, L.C. et al. Responses of Fuji apples to short and long duration exposure to high CO₂. **Postharvest Biology and Technology**, v.24, p.13-24, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552140100120X>>. Acesso em: 24 fev. 2012. doi: 10.1016/S0925-5214(01)00120-X.
- ARGENTA, L.C. et al. Factors affecting efficacy of 1-MCP to maintain quality of apples fruit after storage. **Acta Horticulturae**, v.682, p.1249-1256, 2005.
- ASODA, T. et al. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on ethylene responsiveness in broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, v.52, p.216-220, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521408002779>>. Acesso em: 07 out. 2011. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.09.015.
- BLANKENSHIP, S.M.; UNRATH, C.R. Ethylene inhibitor, 1-methylcyclopropene, delays apple softening. **HortScience**, v.33, 469p, 1998.
- BRACKMANN, A. et al. Efeito da temperatura e condições de atmosfera controlada na armazenagem de maçãs Fuji com incidência de pingo-de-mel. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, p.37-42, 2002. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/agrociencia/v8n1/artigo06.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2011.
- BRACKMANN, A. et al. Aplicações pré-colheita de cálcio na qualidade pós-colheita de maçãs Fuji. **Ciência Rural**, v.40, p.1435-1438, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000600032>>. Acesso em: 12 out. 2011. doi: 10.1590/S0103-84782010000600032.
- BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropene-1-carboxylic acid to ethylene in peel of apple at various stages of fruit development. **Plant Physiology**, v.80, p.539-543, 1986. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1075151/pdf/plntphys00597-0251.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.
- CERETTA, M. et al. Tolerância da maçã Gala a pressões parciais extremas de O₂ e CO₂ durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.35, p.60-69, 2010.
- CORRENT, A.R. et al. Efeito do 1-metilciclopropeno em maçãs Fuji armazenadas em Atmosfera refrigerada e atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, p.91-94, 2005. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/agrociencia/v11n1/artigo15.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2012.
- FAN, X.T. et al. 1-methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.124, n.6, p.690-695, 1999.
- KADER, A.A. **Postharvest technology of horticultural crops**. Oakland: University of California, 2002. 3.v. 580p.
- KE, D. et al. Regulation of fermentative metabolism in fruits and vegetables by controlled atmospheres. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 6., 1993, Ithaca, NY. **Proceedings...** Ithaca, New York: Postharvest Horticulture Series, 1993. V.1, p.63-67.
- MATTÈ, P. et al. ILOS + ULO as a practical technology for apple scald prevention. **Acta Horticulturae**, v.682, p.1543-1550, 2005.
- PEDRESCHI, R. et al. Metabolic profiling of 'Conference' pears under low oxygen stress. **Postharvest Biology and Technology**, v.51, p.123-130, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521408001713>>. Acesso em: 18 out. 2011. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.05.019.
- VALDEBENITO SANHUEZA, R.M. et al. **Características e controle da podridão "olho de boi" nas maçãs do Sul do Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA-CNPV, 2006. 12p. (Circular Técnica, 66).
- VELTMAN, R.H. et al. Internal browning in pear fruit (*Pyrus communis* L. cv 'Conference') may be a result of a limited availability of energy and antioxidants. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.295-302, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521402001989>>. Acesso em: 18 out. 2011. doi: 10.1016/S0925-5214(02)00198-9.
- WANG, Z.; DILLEY, D.R. Initial low oxygen stress controls superficial scald of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.18, p.201-213, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521402001989>>. Acesso em: 18 out. 2011. doi: 10.1016/S0925-5214(00)00067-3.
- WATKINS, C.B. et al. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v.19, n.1, p.17-32, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521400000703>>. Acesso em: 18 out. 2011. doi:10.1016/S0925-5214(00)00070-3.
- YANG S.F.; HOFFMAN, N.E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, p.155-189, 1984. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.35.060184.001103>>. Acesso em: 18 out. 2011. doi: 10.1016/S0925-5214(00)00067-3.
- ZANELLA, A. Control of apple superficial scald and ripening - a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra low oxygen storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.27, n.1, p.69-78, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521402001874>>. Acesso em: 18 out. 2011. doi: 10.1016/S0925-5214(02)00187-4.