

Atmosfera controlada para o armazenamento da maçã ‘Maxi Gala’¹

Controlled atmosphere to the storage of ‘Maxi Gala’ apples

Anderson Weber^{2*}, Auri Brackmann³, Rogério de Oliveira Anese², Vanderlei Both² e Elizandra Pivotto Pavanello²

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade da maçã ‘Maxi Gala’ submetida a diferentes combinações de níveis de O₂ e CO₂, temperaturas e perda de massa durante o armazenamento. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições de 25 frutos. Os tratamentos originaram-se da combinação de diferentes condições de atmosfera controlada (AC) em duas temperaturas (0,5 °C e 1 °C), que foram: (1) 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂ + 3,5% de perda de massa (PM); (2) 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂; (3) 1,2 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂; (4) 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂; (5) 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂; e (6) 0,8 kPa O₂ + 1,5 kPa CO₂. As melhores condições para o armazenamento da maçã ‘Maxi Gala’ foram as pressões parciais 0,8 a 1,0 kPa O₂ associada com 2,0 kPa CO₂ ou 0,8 kPa O₂ com 1,5 kPa CO₂ na temperatura de 1 °C. Nessas condições ocorre maior manutenção da firmeza da polpa, redução na ocorrência de degenerescência senescente e a polpa farinácea. A perda de massa de 3,5% em AC com 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂ na temperatura de 1 °C também é eficiente na manutenção da qualidade desta maçã.

Palavras-chave: Frutas. Pós-colheita. Perda de massa. Distúrbios fisiológicos.

ABSTRACT - The objective of this study was to assess the quality of the ‘Maxi Gala’ apple under different mixtures of O₂ and CO₂, temperature and mass loss during storage. The experiment was carried out in a completely randomised design in a system of split-plots, with four replications of 25 fruits. The treatments, derived from the combination of various conditions of controlled atmosphere (CA) at two temperatures (0.5 °C and 1 °C), were: (1) 1.2 kPa O₂ + 2.5 kPa CO₂ + 3.5% mass loss (ML); (2) 1.2 kPa O₂ + 2.5 kPa CO₂; (3) 1.2 kPa O₂ + 2.0 kPa CO₂; (4) 1.0 kPa O₂ + 2.0 kPa CO₂; (5) 0.8 kPa O₂ + 2.0 kPa CO₂; and (6) 0.8 kPa O₂ + 1.5 kPa CO₂. The best conditions for the storage of the ‘Maxi Gala’ apple were those with partial pressures of 0.8 to 1.0 kPa O₂ associated with 2.0 kPa CO₂ or 0.8 kPa O₂ with 1.5 kPa CO₂ at a temperature of 1 °C. Under these conditions flesh firmness is maintained for longer, with a greater reduction in flesh breakdown and mealiness. A weight loss of 3.5% in CA with 1.2 kPa O₂ to 2.5 kPa CO₂ at a temperature of 1 °C is also effective in maintaining the quality of this apple.

Key words: Fruits. Postharvest. Mass loss. Physiological disorders.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 01/08/2011; aprovado em 10/09/2012

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, pesquisa financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq

²Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Av. Roraima, Bairro Camobi, 1000, Santa Maria-RS, Brasil, 97.105-900, anweba@yahoo.com.br, rogerio_anese@yahoo.com.br, vanderleiboth@yahoo.com.br, elizandra_pavanello@yahoo.com.br

³Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Santa Maria-RS, Brasil, auribrackmann@gmail.com

INTRODUÇÃO

A maçã cultivar Maxi Gala surgiu em função de uma mutação espontânea da cv. 'Imperial Gala' na região de Vacaria, Rio Grande do Sul, Brasil, em 1998. Atualmente as cultivares mutantes do grupo 'Gala' somam mais da metade da área cultivada na região sul do Brasil (ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DOS PRODUTORES DE MAÇAS, 2010). Em virtude da maçã 'Maxi Gala' apresentar, além de excelente qualidade organoléptica, a coloração vermelha da epiderme mais intensa, essa cultivar tem grande aceitação no mercado nacional e também internacional. Em função disso, grande parte dos novos pomares está sendo implantado com essa nova cultivar.

Pelo fato da maçã ser perecível, ocorrem significativas perdas em pós-colheita, por podridões e distúrbios fisiológicos, como degenerescência senescente e polpa farinácea (AMARANTE; STEFFENS; BLUM, 2010; BRACKMANN *et al.*, 2005; CORRÊA, *et al.*, 2010), fazendo-se necessário o uso do armazenamento em atmosfera controlada (AC). Neste sistema, além da temperatura, são também controladas as pressões parciais de oxigênio (O₂) e gás carbônico (CO₂) e umidade relativa do ar (UR) durante o armazenamento. A baixa pressão parcial de O₂ e alta de CO₂, usadas no armazenamento em AC, reduzem a produção de etileno e respiração (GORNÝ; KADER, 1996; GUPTA; ZABALZA; VAN DONGEN, 2009). Em consequência disso, reduzem-se também outros processos dependentes do etileno e da respiração, como por exemplo, a perda da firmeza da polpa, o consumo de ácidos e a mudança na coloração. Saquet, Brackmann e Storck (1997) recomendam para maçã 'Gala' a pressão parcial de O₂ de 1,0 kPa e CO₂ de 2,0 a 3,0 kPa. Para a maçã 'Brookfield', as melhores combinações de gases foram 1,0 e 1,2 kPa de O₂ com 2,5 kPa de CO₂ (BRACKMANN *et al.*, 2009). No que diz respeito à temperatura, Saquet, Brackmann e Storck (1997) obtiveram melhor manutenção da qualidade quando as maçãs 'Gala' foram armazenadas na temperatura de 1 °C comparado a 0 °C. Recentemente, para as cultivares 'Royal Gala', 'Galaxy' e 'Brookfield', Brackmann *et al.* (2009) recomendam a temperatura de 0,5 °C para manter a qualidade destes frutos.

A umidade relativa do ar afeta a transpiração, altera a atividade respiratória, produção de etileno (ARGENTA, 2006) e induz a perda de massa (PM) do fruto. Maçãs 'Royal Gala' com PM de 1,6 a 3,2%, induzida pela baixa UR, apresentaram menor ocorrência de podridões, degenerescência senescente e polpa farinácea (BRACKMANN *et al.*, 2007). Já em maçã 'Gala', a baixa UR não teve efeito na degenerescência, firmeza da polpa, acidez e sólidos solúveis, entretanto, causou menor ocorrência de podridões e rachadura da polpa (BRACKMANN *et al.*, 2005).

As condições de atmosfera controlada que melhor mantém a qualidade da maçã 'Maxi Gala' ainda não foram estabelecidas. Levando em consideração que cada cultivar apresenta um metabolismo diferenciado, o que repercute no armazenamento, é de extrema importância o conhecimento dos níveis de gases mais adequados para a conservação da qualidade dos frutos desta cultivar. Para cultivares de maçãs mutantes da 'Gala', Brackmann *et al.* (2009) encontraram diferente potencial de armazenamento em AC nos frutos destas cultivares. Em outro trabalho, a maçã 'Galaxy' se manteve melhor com O₂ entre 0,8 e 1,0 kPa mais 2,5 kPa CO₂, já a 'Royal Gala' apresentou melhor conservação com 1,0 kPa O₂ mais 2,5 kPa CO₂, ambas originárias da cultivar 'Gala' (BRACKMANN *et al.*, 2008).

Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade da maçã 'Maxi Gala' submetida a diferentes combinações de níveis de O₂ e CO₂, temperaturas e perda de massa durante o armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

As maçãs foram provenientes de um pomar comercial de Vacaria, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Antes do armazenamento foi realizada a seleção dos frutos e a homogeneização das amostras experimentais, sendo eliminados os frutos com lesões e com baixo calibre. No momento da colheita, esses apresentavam as seguintes características de maturação: firmeza de polpa de 103,2 N, acidez de 5,0 meq 100mL⁻¹, SST de 11,5 °Brix, ACC oxidase de 22,3 nL C₂H₄ g⁻¹ h⁻¹, produção de etileno de 0,47 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹, respiração de 10,5 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e índice iodo-amido de 5,5.

Os frutos foram armazenados em minicâmaras experimentais com volume de 0,232 m³ e acondicionados em duas câmaras frigoríficas com volume de 45 m³, nas temperaturas de 0,5 e 1 °C (±0,1). Desta forma, as duas câmaras constituíam as parcelas, uma na temperatura de 0,5 °C e a outra na temperatura de 1,0 °C, e as minicâmaras as subparcelas, onde cada uma recebeu uma condição de atmosfera controlada (AC). Os tratamentos obtidos da combinação das parcelas e subparcela (2 x 6) foram arranjados em um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada unidade experimental possuía 25 frutos, totalizando 100 frutos por tratamento, o que, de acordo com Toebe *et al.* (2011), é suficiente, admitindo um erro de no máximo 2 a 3%.

O controle da temperatura de cada câmara se deu por meio de termômetros eletrônicos. Após o fechamento das minicâmaras, foram estabelecidas as condições de AC pela diluição do O₂ das minicâmaras por meio da injeção

de N₂ até as condições pré-estabelecidas. As pressões parciais de CO₂ foram obtidas por meio da injeção desse gás no interior das minicâmaras até as condições desejadas. As condições de atmosfera controlada avaliadas foram: (1) 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂ + 3,5% de perda de massa (PM); (2) 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂; (3) 1,2 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂; (4) 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂; (5) 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂; e (6) 0,8 kPa O₂ + 1,5 kPa CO₂.

Na condição (1), além do estabelecimento da AC, foi induzida a perda de 3,5% da massa dos frutos, durante os oito meses de armazenamento, por meio da absorção da umidade no interior da minicâmara, com a utilização de cloreto de cálcio. Este composto foi utilizado devido sua propriedade de ser altamente higroscópico, e, portanto, retirar água da atmosfera. A perda de massa foi monitorada pela pesagem dos frutos a cada dois meses. Nas condições (2) a (6) não foi induzida a perda de massa. Nessas condições, a perda natural de massa foi de 0,5% resultante do processo de transpiração que ocorre até a pressão de vapor na polpa dos frutos se estabilizar com a pressão de vapor do ambiente de armazenagem.

Devido ao processo respiratório dos frutos, houve consumo de O₂ e produção de CO₂, sendo que o monitoramento e a correção diária destes gases foram realizados através de equipamento para controle automático de O₂ e CO₂ da marca Kronenberger/Schelle®. Para a correção do O₂ consumido pela respiração dos frutos, foi injetado ar atmosférico no interior das minicâmaras. O CO₂ em excesso, resultante do processo respiratório, foi eliminado com o auxílio de um absorvedor, contendo solução de hidróxido de potássio (40%).

As análises das características de qualidade dos frutos foram realizadas após oito meses de armazenamento mais sete dias de exposição a 20 °C, sob condições de atmosfera normal, para simular o período de comercialização destes frutos, exceto para podridões, produção de etileno e respiração, que foram avaliadas aos seis dias. Foram analisadas as seguintes variáveis: a) firmeza de polpa, determinada com o uso de um penetrômetro com ponteira de 11 mm de diâmetro, sendo expressa em Newton; b) acidez titulável, através de 10 mL de suco, que foram diluídos em 100 mL de água destilada e titulados com hidróxido de sódio a 0,1 N até pH 8,1 sendo expressa em meq 100 mL⁻¹; c) sólidos solúveis totais, determinados por meio de refratometria e expresso em °Brix; d) atividade da ACC oxidase, realizada pela retirada de algumas amostras de casca da região equatorial dos frutos, totalizando 3 g. Estas foram imersas em solução contendo 0,1 mM de ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano), em 10 mM do tampão MES (ácido 2 (N-morfolino) etanossulfônico), em pH 6,0. Após 30 minutos, as amostras foram acondicionadas em seringas herméticas de 50 mL, adicionando-se 1 mL de CO₂ e, após 30 minutos, realizou-se a determinação

da concentração de etileno nas seringas, sendo os dados expressos em nanolitro de etileno por grama de fruto por hora (nL C₂H₄ g⁻¹ h⁻¹), de acordo com Bufler (1986); e) produção de etileno determinada com utilização de um cromatógrafo a gás, equipado com coluna Poropak N e detector de ionização de chama, com temperatura da coluna, do injetor e do detector de 90, 140 e 200 °C, respectivamente, sendo os resultados expressões em µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹; f) respiração, obtida por meio da produção de CO₂, com auxílio de um analisador de fluxo contínuo de gás, marca Agri-Datalog, os resultados foram expressos em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹; g) ocorrência de podridões, avaliada por meio da contagem de frutos que apresentavam podridão, sendo expressos em porcentagem; h) ocorrência de degenerescência senescente, obtidas pela contagem de frutos que apresentavam sinais de escurecimento interno, sendo que os valores foram expressos em porcentagem; e i) ocorrência de polpa farinácea, que foi avaliada pela contagem de frutos que apresentavam polpa com aspecto farináceo, sendo expressa em porcentagem. Com exceção da atividade da ACC oxidase, as demais características foram avaliadas de acordo metodologia descrita em Brackmann *et al.* (2008).

Para cada variável avaliada, foi efetuada análise da variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey (p > 0,05). Os parâmetros expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula $\arcsen \sqrt{x/100}$, antes da análise da variância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre temperaturas e condições de atmosfera controlada (AC) para a característica firmeza da polpa, acidez, SST, podridões na análise na saída da câmara e polpa farinácea (Tabela 1).

A firmeza de polpa foi maior nos frutos da temperatura média de 1 °C (Tabela 2). O que está relacionado à menor atividade da ACC oxidase e produção de etileno nos frutos armazenados nesta temperatura (Tabela 3 e 4). O etileno atua como ativador de enzimas que degradam componentes da parede celular (GIOVANNONI, 2001; GOULAO; OLIVEIRA, 2008; PAYASI *et al.*, 2009). Saquet, Brackmann e Storck (1997) também encontraram maior firmeza em frutos de maçã 'Gala' submetidos a 1 °C comparado a 0 °C. Entre as condições de AC, aquelas com perda de massa (PM) e com concentrações de O₂ de 0,8 e 1,0 kPa, proporcionaram menor perda da firmeza da polpa dos frutos, sendo que as condições com 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ e 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂ + PM foram mais eficientes na redução da perda da firmeza da polpa. Este resultado, provavelmente esteja associado à menor produção de etileno e respiração dos frutos armazenados sob baixa pressão parcial de O₂ (≤1,0 kPa) ou com PM (Tabela 4).

Tabela 1 - Valores de F calculado e Coeficiente de Variação da análise da variância (ANOVA) de maçãs 'Maxi Gala' submetida a diferentes condições de atmosfera controlada nas temperaturas de 0,5 e 1 °C após oito meses de armazenamento mais sete dias de exposição a 20 °C

Variável	-----F calculado-----			CV (%)	
	Temperatura x AC*	Temperatura	AC	Temperatura	AC
Firmeza	1,590 ^{ns}	5,991**	6,576**	4,09	3,61
Acidez	1,632 ^{ns}	5,341 ^{ns}	0,845 ^{ns}	5,04	5,25
SST	1,290 ^{ns}	7,118**	1,124 ^{ns}	1,77	1,99
ACC oxidase	62,778**	3610,917**	103,809**	4,42	9,76
Etileno	22,849**	51,078**	66,164**	27,20	23,80
Respiração	6,906**	3,499 ^{ns}	6,825**	17,10	12,00
Podridões - saída da câmara	0,974 ^{ns}	0,024 ^{ns}	2,031 ^{ns}	78,60	65,90
Podridões - 6 dias a 20 °C	2,860**	0,774 ^{ns}	4,227**	71,30	47,10
Degenerescência	2,594**	10,202**	4,110**	25,20	34,00
Polpa Farinácea	0,786 ^{ns}	5,018 ^{ns}	1,734 ^{ns}	32,80	36,20

*Atmosfera controlada; ^{ns} não significativo ao nível de 5% de erro; ** significativo ao nível de 5% de erro

Tabela 2 - Firmeza e acidez de maçãs 'Maxi Gala' submetida a diferentes condições de atmosfera controlada nas temperaturas de 0,5 e 1 °C após oito meses de armazenamento mais sete dias de exposição a 20 °C

O ₂ + CO ₂ (kPa)	-----Firmeza (N)-----			-----Acidez (meq 100 mL ⁻¹)-----		
	0,5 °C	1,0 °C	Média	0,5 °C	1,0 °C	Média
Análise inicial	-----103,2-----			-----5,0-----		
1,2 + 2,5 + PM**	79,3	83,2	81,2 a*	4,30	4,18	4,24 ^{ns}
1,2 + 2,5	76,0	77,2	76,6 bc	4,30	4,23	4,28
1,2 + 2,0	73,7	77,5	75,6 c	4,23	4,28	4,26
1,0 + 2,0	77,9	82,9	80,4 ab	4,30	4,33	4,32
0,8 + 2,0	83,0	81,0	82,0 a	4,60	4,23	4,42
0,8 + 1,5	78,5	80,3	79,4 abc	4,43	4,03	4,23
Média	78,1 B	80,3 A		4,36 ^{ns}	4,21	

*Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro; ** PM: 3,5% de perda de massa; ^{ns} não significativo

Tabela 3 - Sólidos solúveis totais e ACC oxidase de maçãs 'Maxi Gala' submetida a diferentes condições de atmosfera controlada nas temperaturas de 0,5 e 1 °C após oito meses de armazenamento mais sete dias de exposição a 20 °C

O ₂ + CO ₂ (kPa)	SST (°Brix)			ACC oxidase (nL C ₂ H ₄ g ⁻¹ h ⁻¹)		
	0,5 °C	1,0 °C	Média	0,5 °C	1,0 °C	Média
Análise inicial	-----11,5-----			-----22,3-----		
1,2 + 2,5 + PM**	13,5	13,8	13,2 ^{ns}	132,0 Aab	43,5 Bbc*	87,8
1,2 + 2,5	13,3	13,4	13,3	112,4 Ac	50,0 Bb	81,2
1,2 + 2,0	13,2	13,6	13,4	116,7 Abc	84,1 Ba	100,4
1,0 + 2,0	13,3	13,7	13,5	143,1 Aa	28,5 Bc	85,8
0,8 + 2,0	13,6	13,4	13,5	57,8 Ad	34,6 Bc	46,2
0,8 + 1,5	13,4	13,5	13,4	42,9 Ad	29,2 Bc	36,1
Média	13,4 B	13,6 A		100,8	45,0	

*Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro; ** PM: 3,5% de perda de massa; ^{ns} não significativo

Tabela 4 - Taxa de produção de etileno e taxa respiratória de maçãs 'Maxi Gala' submetida a diferentes condições de atmosfera controlada nas temperaturas de 0,5 e 1 °C após oito meses de armazenamento mais seis dias de exposição a 20 °C

O ₂ + CO ₂ (kPa)	-----Etileno (µL C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)-----			-----Respiração (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)-----		
	0,5 °C	1,0 °C	Média	0,5 °C	1,0 °C	Média
Análise inicial	-----0,47-----			-----10,5-----		
1,2 + 2,5 + PM**	2,23 Aa*	0,18 Bb	1,20	5,88 Aab	5,09 Ab	5,49
1,2 + 2,5	1,15 Ab	1,43 Aa	1,29	5,09 Bab	6,92 Aa	6,00
1,2 + 2,0	2,25 Aa	1,21 Ba	1,73	6,47 Aa	7,43 Aa	6,95
1,0 + 2,0	0,73 Ab	0,13 Bb	0,43	5,67 Aab	5,16 Ab	5,42
0,8 + 2,0	0,21 Ac	0,18 Ab	0,20	4,56 Bb	6,72 Aa	5,64
0,8 + 1,5	0,16 Ac	0,12 Ab	0,14	5,38 Aab	4,92 Ab	5,15
Média	1,12	0,54		5,51	6,04	

*Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro;

** PM: 3,5% de perda de massa

As diferentes condições de AC e as duas temperaturas não influenciaram a acidez titulável (Tabela 2). O teor de sólidos solúveis totais foi maior na temperatura de 1 °C (Tabela 3), o que provavelmente pode estar relacionado ao maior metabolismo respiratório, o qual tem influência na degradação de substâncias de reservas (polímeros) como amido e pectina, em moléculas simples para produção de energia, como a glicose, frutose e sacarose (PAYASI *et al.*, 2009). Da mesma forma que a acidez, o teor de sólidos solúveis totais não foi influenciado pelas condições de AC.

A atividade da enzima ACC oxidase foi menor na temperatura de 1 °C em todas as condições de AC, o que culminou em menor produção de etileno pelos frutos (Tabela 3 e 4), já que esta enzima é responsável pela última etapa da rota de biossíntese do etileno, a oxidação da molécula de ACC em etileno (MATHOOKO, 1996). Na temperatura de 0,5 °C, menores concentrações de O₂ (0,8 kPa) reduziram a atividade desta enzima. A atividade da enzima ACC oxidase é diretamente influenciada pela presença de O₂ (GÉNARD; GOUBLE, 2005). Já na temperatura de 1 °C, a maioria das condições de AC foram eficientes para reduzir a atividade da ACC oxidase, exceto a condição com 1,2 kPa O₂ mais 2,0 kPa CO₂. A perda de massa não resultou na redução da atividade desta enzima. A respeito do CO₂, o nível de 2,5 kPa, na temperatura de 1 °C reduziu a atividade da ACC oxidase quando comparado a 2,0 kPa. Dependendo da concentração de CO₂ pode haver ativação ou inibição da atividade desta enzima (MATHOOKO, 1996). Ainda com relação à temperatura de 1 °C, pode-se observar o benefício do baixo nível de O₂ na redução da atividade desta enzima, pois com 2,0 kPa CO₂ a atividade da ACC oxidase foi menor quando associada a 1,0 kPa O₂ que 1,2 kPa O₂.

Os frutos armazenados com 1,0 e 1,2 kPa O₂ associado a 2,0 kPa CO₂ e com PM apresentaram menor produção de etileno na temperatura de 1 °C quando comparado àqueles armazenados a 0,5 °C com as mesmas pressões parciais (Tabela 4), que é justificado, pela menor atividade da enzima ACC oxidase dos frutos na temperatura de 1 °C. Nas condições de armazenamento com 1,0 ou 0,8 kPa O₂, os frutos apresentaram menor produção de etileno nas duas temperaturas. Todavia, na temperatura de 1 °C a PM também foi eficiente na redução da produção de etileno. Maçãs 'Royal Gala' armazenadas em AC com PM de 3,2% produziram menos etileno que sem perda de massa (BRACKMANN *et al.*, 2007).

A respiração dos frutos foi menor com 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,5 °C, no entanto, não diferiu da maioria das condições de AC. Já na temperatura de 1 °C, os frutos armazenados com perda de massa de 3,5%, 0,8 kPa O₂ + 1,5 kPa CO₂ e 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ apresentaram menor respiração (Tabela 4). Na cadeia de transporte de elétrons a enzima citocromo oxidase necessita de O₂ como aceptor de elétrons. De acordo com Kennedy, Fox e Siedow (1987), concentrações de O₂ próximas de zero são capazes de inibir completamente esta enzima. Provavelmente, o baixo O₂ das condições de AC citadas acima tenha limitado a respiração pela inibição da citocromo oxidase na cadeia de transporte de elétrons. Com relação à PM, Brackmann *et al.* (2007) também encontraram menor respiração com PM em maçãs 'Royal Gala'. Na comparação entre as duas temperaturas, somente foi observada menor respiração em 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ e 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂, na temperatura de 0,5 °C.

As condições de AC e as duas temperaturas não influenciaram a ocorrência de podridões na análise realizada na saída da câmara (Tabela 5). Entretanto, após

Tabela 5 - Podridões em maçãs 'Maxi Gala' submetida a diferentes condições de atmosfera controlada nas temperaturas de 0,5 e 1 °C após oito meses de armazenamento, na saída da câmara e aos seis dias de exposição a 20 °C

O ₂ + CO ₂ (kPa)	-----Podridões (%)-----					
	-----Saída da câmara-----			-----6 dias a 20 °C-----		
	0,5 °C	1,0 °C	Média	0,5 °C	1,0 °C	Média
1,2 + 2,5 + PM**	0,00	0,00	0,00 ^{ns}	2,70 Abc*	2,78 Aa	2,74
1,2 + 2,5	0,00	0,00	0,00	0,00 Ac	2,78 Aa	1,39
1,2 + 2,0	1,39	4,17	2,78	17,6 Aa	5,48 Ba	11,50
1,0 + 2,0	1,39	1,39	1,39	8,19 Aab	2,78 Aa	5,49
0,8 + 2,0	4,17	1,39	2,78	6,94 Aabc	4,17 Aa	5,56
0,8 + 1,5	1,39	2,78	2,09	4,17 Abc	8,23 Aa	6,20
Média	1,39 ^{ns}	1,62		6,60	4,37	

*Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro;

** PM: 3,5% de perda de massa; ^{ns} não significativo

seis dias de exposição dos frutos a 20 °C, a condição com 1,2 kPa O₂ + 2,5 kPa CO₂, na temperatura de 0,5 °C, foi mais eficiente no controle de podridões, apesar de não diferir das condições com PM e com o menor nível de O₂ (0,8 kPa). Dessa forma, no presente trabalho é possível observar que a PM não reduziu a incidência de podridões na maçã 'Maxi Gala', uma vez que, para mesma condição de AC, não houve diferença entre as condições com ou sem PM. Este resultado não está em concordância com o reportado por Brackmann *et al.* (2007), que encontraram redução da incidência de podridões com aumento da PM em maçãs 'Royal Gala'. As maçãs da condição com 1,2 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 1,0 °C apresentaram menor incidência de podridões, comparado a 0,5 °C, na análise aos seis dias de exposição a 20 °C.

A degenerescência senescente foi menor nos frutos armazenados na temperatura de 1 °C nas condições de AC com 1,0 e 1,2 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ e na condição com PM em relação a 0,5 °C (Tabela 6), corroborando os resultados obtidos por Weber *et al.* (2011). Entre as condições de AC testadas, na temperatura de 1 °C, não houve diferença significativa. Entretanto, na temperatura de 0,5 °C foi observada menor ocorrência deste distúrbio na condição com 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂, apesar de não diferir das condições com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ e com 0,8 kPa O₂ + 1,5 kPa CO₂. A degenerescência senescente geralmente é associada ao dano causado pelo alto CO₂ na câmara, sendo que a incidência e severidade deste distúrbio variam conforme alguns fatores como, por exemplo, ponto de maturação, tempo até o resfriamento, duração e temperatura do armazenamento, local e ano

Tabela 6 - Degenerescência e polpa farinácea de maçãs 'Maxi Gala' submetida a diferentes condições de atmosfera controlada nas temperaturas de 0,5 e 1 °C após oito meses de armazenamento mais sete dias de exposição a 20 °C

O ₂ + CO ₂ (kPa)	-----Degenerescência (%)-----			-----Polpa Farinácea (%)-----		
	0,5 °C	1,0 °C	Média	0,5 °C	1,0 °C	Média
1,2 + 2,5 + PM**	15,1 Aa*	5,56 Ba	10,30	15,1	8,33	11,7 ^{ns}
1,2 + 2,5	14,2 Aa	9,72 Aa	12,00	14,2	11,10	12,7
1,2 + 2,0	24,3 Aa	12,4 Ba	18,30	32,5	13,70	23,1
1,0 + 2,0	12,3 Aab	2,78 Ba	7,54	16,4	12,50	14,4
0,8 + 2,0	2,78 Ab	9,97 Aa	6,38	12,6	14,10	13,4
0,8 + 1,5	9,72 Aab	8,40 Aa	9,06	12,5	8,26	10,4
Média	13,1	8,1		17,2 ^{ns}	11,40	

*Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro;

**PM: 3,5% de perda de massa; ^{ns} não significativo

de produção (STREIF; SAQUET; XUAN, 2003). No entanto, na maçã 'Maxi Gala', parece que o nível de CO₂ de até 2,5 kPa não influenciou a incidência deste distúrbio. Sugere-se, para futuros trabalhos, avaliar níveis mais elevados de CO₂ para o armazenamento desta maçã. Por estar ligado à senescência do fruto, este distúrbio também pode ser associado à maior produção de etileno (BRACKMANN *et al.*, 2007), observado nos frutos a 0,5 °C.

Comparando as duas temperaturas, em 1 °C houve menor incidência de polpa farinácea do que a 0,5 °C, no entanto, sem diferir estatisticamente (Tabela 6). A polpa farinácea está associada à evolução do amadurecimento, no qual ocorre a degradação da protopectina (PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007), diminuindo a força de coesão entre as células, o que resulta no aspecto farináceo da polpa. Weber *et al.* (2011), comparando três temperaturas, 0; 0,5 e 1 °C, também encontraram menor ocorrência de polpa farinácea na temperatura mais elevada (1 °C) em maçãs 'Royal Gala'. Todas as condições de AC apresentaram um efeito semelhante sobre a ocorrência da polpa farinácea.

CONCLUSÕES

1. As melhores condições para o armazenamento da maçã 'Maxi Gala' são a temperatura de 1 °C com pressões parciais de O₂ entre 0,8 e 1,2 kPa associada a 1,5 e 2,0 kPa CO₂;
2. A perda de 3,5% de massa através da transpiração também pode ser uma alternativa para melhor conservação desta maçã.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DOS PRODUTORES DE MAÇAS. **Dados estatísticos**. Disponível em: < <http://www.agapomi.com.br/dadosestatisticos.php>>. Acesso em: 09 ago. 2010.

AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; BLUM, L. E. B. Coloração do fruto, distúrbios fisiológicos e doenças em maçãs 'Gala' e 'Fuji' pulverizadas com aminoetoxivinilglicina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 9-18, 2010.

ARGENTA, L. C. Fisiologia pós-colheita: maturação, colheita e armazenagem dos frutos. *In*: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EXTENSÃO RURAL DE

SANTA CATARINA. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2006. cap. 20, p. 691-732.

BRACKMANN, A. *et al.* Consequência da umidade relativa durante o armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada na qualidade da maçã 'Gala'. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1197-1200, 2005.

BRACKMANN, A. *et al.* Indução da perda de massa fresca e a ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçã 'Royal Gala' durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, p. 87-92, 2007.

BRACKMANN, A. *et al.* Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2478-2484, 2008.

BRACKMANN, A. *et al.* Armazenamento em atmosfera controlada de maçãs mutantes da cultivar Gala. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 34, p. 136-143, 2009.

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, n. 2, p. 539-543, 1986.

CORRÊA, T. R. *et al.* Qualidade de maçãs 'Fuji' armazenadas em atmosfera controlada e influência do clima na degenerescência da polpa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 531-538, 2010.

GÉNARD, M.; GOUBLE, B. ETHY. A Theory of fruit climacteric ethylene emission. **Plant Physiology**, v. 139, n. 1, p. 531-545, 2005.

GIOVANNONI, J. Molecular biology of fruit maturation and ripening. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 52, p. 725-749, 2001.

GOULAO, L. F.; OLIVEIRA, C. M. Cell wall modifications during fruits ripening: when a fruit is not the fruit. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, p. 4-25, 2008.

GORNY, J. R.; KADER, A. A. Controlled atmosphere suppression of ACC synthase and ACC oxidase in 'Golden Delicious' apples during long-term cold storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 121, n. 4, p. 751-755, 1996.

GUPTA, K. J.; ZABALZA, A.; VAN DONGEN, J. T. Regulation of respiration when the oxygen availability changes. **Physiologia Plantarum**, v. 137, n. 4, p. 383-391, 2009.

KENNEDY, R. A.; FOX, T. C.; SIEDOW, J. N. Activities of isolated mitochondria and mitochondrial enzymes from aerobically and anaerobically germinated barnyard Grass (*Echinochloa*) seedlings. **Plant Physiology**, v. 85, n. 2, p. 474-480, 1987.

MATHOOKO, F. M. Regulation of ethylene biosynthesis in higher plants by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, v. 7, n. 1/2, p. 1-26, 1996.

PAYASI, A. *et al.* Biochemistry of fruit softening: an overview. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 15, n. 2, p. 103-113, 2009.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, n. 1, p. 1-19, 2007.

SAQUET, A. A.; BRACKMANN, A.; STORCK, L. Armazenamento de maçã 'Gala' sob diferentes temperaturas e concentrações de oxigênio e gás carbônico. **Ciência Rural**, v. 27, n. 3, p. 399-405, 1997.

STREIF, J.; SAQUET, A. A.; XUAN, H. CA-related disorders of apples and pears. **Acta Horticulturae**, v. 600, p. 223-230, 2003.

TOEBE, M. *et al.* Dimensionamento amostral para avaliar firmeza da polpa e cor da epiderme em pêssego e maçã. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 1026-1035, 2011.

WEBER, A. *et al.* 'Royal Gala' apple quality stored under ultralow oxygen concentration and low temperature conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p. 1597-1602, 2011.