

# RESPIRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ETILENO DE MAÇÃS ARMazenADAS EM DIVERSAS CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO

## RESPIRATION AND ETHYLENE PRODUCTION BY APPLES STORED IN DIFFERENT OXYGEN CONCENTRATIONS.

SAQUET, Adriano A.; STREIF, Josef

### - NOTA TÉCNICA -

#### RESUMO

Estudou-se a respiração e a produção de etileno de cultivares de maçã armazenadas em diversas concentrações de oxigênio. Os frutos, colhidos no estágio de maturação pré-climatério, foram armazenados logo após a colheita à temperatura de 1°C por 5 dias nas seguintes concentrações de O<sub>2</sub>: 20,8 (ar); 10; 5; 2,5; 1,5; 0,5 e 0,1 %. No quarto e quinto dias foram avaliadas a produção de CO<sub>2</sub>, a taxa de absorção de O<sub>2</sub>, bem como, a produção de etileno pelos frutos. As cultivares Elstar e Jonagold apresentaram as maiores taxas de produção de CO<sub>2</sub>, bem como de absorção de O<sub>2</sub>, enquanto que, as cultivares Fuji e Boskoop, se destacaram por apresentarem as menores taxas de produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub>. Embora as cultivares Braeburn e Topaz tenham absorvido mais O<sub>2</sub> do que as cultivares Fuji e Boskoop, elas também apresentaram baixas produções de CO<sub>2</sub>. De maneira geral, foi possível verificar uma redução mais pronunciada na produção de CO<sub>2</sub> somente em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 5%, sendo que, a maioria das cultivares iniciaram a respirar anaerobicamente em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 1,5%. A produção de etileno foi também bastante diminuída através da redução gradativa das concentrações de O<sub>2</sub>, não sendo possível mais detectar etileno em concentrações abaixo de 2,5% de O<sub>2</sub>.

*Palavras-chave:* frutos, atmosfera controlada, etileno, produção de CO<sub>2</sub>, absorção de O<sub>2</sub>

A respiração celular é um dos processos metabólicos mais importantes que ocorrem nos frutos armazenados, pois é através dela que se produz, além de outros compostos intermediários, a energia química na forma de ATP necessária para reações vitais internas, bem como, para processos de síntese e manutenção do metabolismo celular (SAQUET et al., 2000). Além do dióxido de carbono e água como produtos finais da respiração, certa quantidade de energia na forma de calor também é produzida durante o processo respiratório a qual é liberada para o ambiente externo (SIEDOW & UMBACH, 1995).

Maçãs metabolizam durante o armazenamento, preferencialmente, ácidos orgânicos, cujo conteúdo, de acordo com as condições de armazenamento usadas no momento, poderá ser reduzido até pela metade ou mais. Somente após, serão utilizados em maior intensidade os carboidratos (STREIF, 1992). Visto que a respiração consome tais

compostos durante o armazenamento, a sua intensidade pode ser utilizada como indicativo do potencial de armazenamento dos frutos.

Normalmente é mencionado que a intensidade respiratória e a duração do armazenamento atuam em sentido proporcional contrário, ou seja, quanto mais elevada for a respiração de um determinado fruto, menor será o seu tempo de conservação (LAU, 1985; PATTERSON, 1989). Entretanto, essa simples relação nem sempre é observada durante o armazenamento dos frutos (SAQUET & STREIF, 2000).

A respiração celular pode ser aeróbica (quando em presença de O<sub>2</sub>) ou anaeróbica (na ausência de O<sub>2</sub>). A eventual ocorrência de respiração anaeróbica durante o armazenamento em atmosfera controlada (AC) possivelmente ocorre quando as concentrações de O<sub>2</sub> permanecerem em níveis baixos por períodos prolongados (STREIF, 1992). Isso poderá proporcionar a produção e acumulação de etanol e/ou acetaldéido nos frutos, os quais são produtos tóxicos e que podem induzir o surgimento de desordens fisiológicas, bem como sabor e aroma alcoólico nos frutos (MEHERIUK et al., 1994; SAQUET et al., 2000). Maçãs e pêras produzem também lactato, porém, segundo SAQUET (2001), tem sua síntese inibida durante o armazenamento em atmosfera controlada.

As concentrações de O<sub>2</sub> críticas, abaixo das quais a respiração anaeróbica pode ser induzida variam de acordo com as espécies e cultivares em estudo, mas, de modo geral, o processo fermentativo pode ser induzido em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 3% (STREIF, 1992). Somente o uso adequado de analisadores de O<sub>2</sub> com alta precisão e o constante controle por parte do operador da câmara frigorífica, podem evitar que tais problemas venham a ocorrer durante o armazenamento em AC. O quociente respiratório (Q.R.) é um parâmetro utilizado para melhor observar a provável ativação das vias fermentativas durante o armazenamento em AC. Ele descreve a relação molar entre a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado e O<sub>2</sub> absorvido durante a respiração dos frutos. Durante a respiração aeróbica, com predominante consumo de carboidratos (hexoses), o quociente respiratório atinge valor igual a 1, sendo que, para o ácido málico é de aproximadamente 1,33. Durante a fermentação o Q.R. atinge valores sempre mais elevados e diferenciados entre as

Instituto de Fruticultura Bavendorf, Universidade de Hohenheim, Stuttgart/Ravensburg, Alemanha. Schuhmacherhof 6, D-88213 Ravensburg. E-mail: adriano.saquet@gmx.net

(Recebido para publicação em 03/02/2001)

diversas espécies e/ou cultivares de frutos (FIDLER & NORTH, 1967 ; SAQUET, 2001).

A maçã pertence ao grupo dos frutos climatéricos, ou seja, apresenta uma pronunciada elevação na taxa respiratória durante o amadurecimento a qual é estimulada pelo etileno (BIALE, 1960). Este, por sua vez, é considerado um fitohormônio em função de sua síntese e inúmeros efeitos sobre vários processos fisiológicos nas plantas (KENDE, 1993). O etileno desempenha um papel importante e decisivo durante o armazenamento pois estimula o amadurecimento dos frutos na câmara frigorífica. Em muitos casos, dependendo da sensibilidade dos frutos armazenados, concentrações tão baixas quanto 1 ppm ou menos são suficientes para acelerar a respiração celular e, posteriormente, o amadurecimento e senescência antecipada dos frutos. Parâmetros físico-químicos de qualidade tais como a firmeza da polpa e, especialmente, a cor verde dos frutos, são afetados pela ação do etileno, proporcionando assim, frutos com baixa firmeza e mais amarelos, reduzindo o tempo de armazenamento (STREIF, 1992).

Em função disso, avaliaram-se a produção de CO<sub>2</sub>, a absorção de O<sub>2</sub>, bem como a produção de etileno de diversas cultivares de maçã armazenadas à temperatura de 1°C em concentrações de O<sub>2</sub> que variaram de 20,8 até 0,1%. Com isto, fornecer informações sobre as concentrações de O<sub>2</sub> para o armazenamento das maçãs em AC e, também, dados comparativos para o dimensionamento de adsorvedores aplicáveis para a prática comercial do armazenamento de maçãs. Determinaram-se também, as concentrações de O<sub>2</sub>, abaixo das quais a respiração anaeróbica já é ativada pelos frutos. Este tipo de dissimilação fornece indicações muito importantes sobre a tolerância dos frutos às baixas concentrações de O<sub>2</sub> usadas normalmente durante o armazenamento em AC.

Os experimentos foram conduzidos durante o ano de 2000, no Instituto de Fruticultura da Universidade de Hohenheim, em Ravensburg, Alemanha. Como material experimental foram utilizadas as cultivares de maçã Braeburn, Fuji, Jonagold, Gala, Golden Delicious, Elstar, Boskoop e Topaz. Todas as cultivares foram colhidas no estágio de maturação ótimo para o armazenamento, determinado através do uso do teste do iodo-amido, da firmeza da polpa, da acidez titulável e do teor de sólidos solúveis totais.

Durante a colheita foram selecionados somente os frutos homogêneos em cor e tamanho típicos de cada cultivar, obtidos de diversas plantas aleatoriamente. Em seguida, no laboratório, as amostras experimentais foram novamente classificadas, pesadas e transferidas até as instalações para o armazenamento e medição da respiração (produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub>). As amostras foram compostas por três frutos de cada cultivar e armazenadas em recipientes de vidro com volume de 2,14 litros cada. Foram usados dois recipientes individuais com o mesmo tratamento para a mesma cultivar, sendo realizadas sempre, no mínimo, duas medições para cada recipiente, perfazendo um total mínimo de 4 valores para cada tratamento. As análises foram realizadas no quarto e quinto dias de armazenamento. Os recipientes permaneceram em uma câmara isolada termicamente, contendo um sistema de refrigeração acoplado. Para a resfriar as amostras foi usado um sistema de refrigeração indireto, ou seja, através do uso de uma solução de glicol a qual foi constantemente resfriada e circulada entre os vidros. A temperatura obtida durante todo o período de armazenamento foi de 1°C com uma oscilação de 0,3°C (1°C±0,3°C).

Logo após o fechamento dos recipientes, os frutos foram resfriados por 15 horas antes de iniciar os tratamentos. Após

este período de resfriamento, os frutos foram tratados durante cinco dias com as seguintes concentrações de oxigênio: 20,8 (ar); 10; 5; 2,5; 1,5; 0,5 e 0,1 % de O<sub>2</sub>. Estas concentrações foram obtidas através do princípio da diluição do O<sub>2</sub> atmosférico com nitrogênio (N<sub>2</sub>) proveniente de um separador de ar, sendo que, para obtenção da concentração de 0,1 % de O<sub>2</sub> foi necessário o uso de N<sub>2</sub> puro. O fluxo total usado para cada combinação dos gases foi de 200 ml/min.

Tanto a produção de CO<sub>2</sub>, como a absorção de O<sub>2</sub> pelos frutos foi analisada com auxílio de um mini-cromatógrafo da Firma Chrompack, modelo CP 2002P, equipado com um detector de condutividade térmica, coluna para O<sub>2</sub> do tipo Molsieb à temperatura de 40°C e coluna para CO<sub>2</sub> do tipo Hayesep mantida à temperatura de 45°C. O gás carreador usado foi o hélio com fluxo de 2,8 ml/min. Após as medições das concentrações de CO<sub>2</sub> produzidas e O<sub>2</sub> absorvidas pelos frutos, os valores foram calculados e expressos em ml.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Com a obtenção desses dois parâmetros, calculou-se também, o quociente respiratório (Q.R.).

A produção de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) pelos frutos (expressa em nl C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) foi também determinada através de cromatografia gasosa. Neste caso, usou-se um cromatógrafo Varian, modelo 2700 Series, equipado com um detector de ionização de chama e injetor a 150°C e uma coluna de óxido de alumínio ativado (0,9 m x 1/8 pol. ; 60 mesh) mantida isotermicamente à temperatura de 100°C. O gás de arraste foi o nitrogênio com fluxo de 30 ml.min<sup>-1</sup>.

Para as curvas produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub> foram calculadas as equações de regressão e coeficientes R<sup>2</sup> de regressão com o pacote estatístico SAEG, sendo que, para os parâmetros produção de etileno e Q.R., foi calculado o desvio padrão no programa Excel.

A produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub> das cultivares Gala, Jonagold, Boskoop e Elstar são apresentadas na Figura 1 e das cultivares Topaz, Golden Delicious, Braeburn e Fuji na Figura 2. Numa análise geral sobre o comportamento da produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub> pelas diversas cultivares nas diferentes concentrações de O<sub>2</sub> avaliadas, foi possível observar que, apesar da absorção de O<sub>2</sub> pelos frutos ter sido reduzida mais drasticamente através da redução das concentrações de O<sub>2</sub>, a produção de CO<sub>2</sub> diminuiu de forma mais pronunciada somente em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 5%. Comportamento similar foi observado por FIDLER & NORTH (1967) com a cultivar Cox Orange Pippin. Somente as cultivares Fuji e Braeburn, excepcionalmente, apresentaram uma leve e contínua redução na produção de CO<sub>2</sub> em função da redução das concentrações de O<sub>2</sub> de 20,8 até 0,1%, não sendo possível perceber esta redução mais marcante na produção de CO<sub>2</sub> em concentrações abaixo de 5% de O<sub>2</sub>.

A maioria das cultivares apresentaram inibição máxima da respiração (produção de CO<sub>2</sub>) na concentração de 1,5 % de O<sub>2</sub>. Abaixo desta concentração, já foi possível observar um aumento gradativo na produção de CO<sub>2</sub> pelos frutos indicando a ativação das vias fermentativas. Nas cultivares Boskoop, Braeburn e Elstar, a produção de CO<sub>2</sub> iniciou a aumentar em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 2,5 %. Isto indica que, possivelmente, as vias fermentativas destas cultivares nestas concentrações de O<sub>2</sub> já foram ativadas, indicando também, que estas cultivares devem comportar-se não muito tolerantes à baixas concentrações de O<sub>2</sub> usadas normalmente durante o armazenamento em AC e, especialmente, durante o armazenamento com concentrações ultra baixas de O<sub>2</sub>. Avaliando e comparando este comportamento com o armazenamento prolongado de maçãs em AC, é possível perceber que há uma concordância entre os dados. As cultivares Braeburn e Boskoop (STREIF, 1999), por exemplo,

podem desenvolver escurecimento da polpa quando armazenadas por longos períodos em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 2%. Já as cultivares Fuji (BRACKMANN & SAQUET, 1995; JOBLING & MCGLASSON, 1995), Gala (KUPFERMAN, 1994; BRACKMANN & SAQUET, 1999), Golden Delicious (LAU, 1990) e Jonagold (GOFFINGS & HERREGODS, 1994; SAQUET et al., 2000) se conservam bem em concentrações de O<sub>2</sub> em torno de 1% sem ocasionar surgimento de desordens fisiológicas internas durante o armazenamento.

Analisando o comportamento do quociente respiratório das amostras (Figuras 3 e 4), este confirma que a maioria das cultivares já iniciaram a respiração anaeróbica em concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 1,5%, atingindo valores de 2,5. Já as cultivares Elstar e Boskoop, atingiram valores maiores que 5. As cultivares que se apresentaram mais tolerantes às baixas concentrações de O<sub>2</sub> foram a Gala, Golden Delicious, Jonagold e Fuji, as quais apresentaram os menores valores do quociente respiratório na concentração de 1,5% de O<sub>2</sub>.

Em uma visão geral comparativa entre as produções de CO<sub>2</sub> das diversas cultivares foi possível verificar que, as cultivares Elstar e Jonagold apresentaram as taxas mais

elevadas de produção de CO<sub>2</sub>. Com estas cultivares foi possível observar também um maior efeito da redução das concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 5% sobre a inibição da produção de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, as cultivares Fuji e Boskoop apresentaram as menores taxas de produção de CO<sub>2</sub>. Embora as cultivares Braeburn e Topaz tenham absorvido mais O<sub>2</sub> do que as cultivares Fuji e Boskoop, a produção de CO<sub>2</sub> pelas cultivares Braeburn e Topaz também foi baixa, apresentando valores bem semelhantes aos das cultivares Fuji e Boskoop.

Embora a produção de etileno (Figura 5) pelos frutos no momento da colheita tenha sido baixa, foi possível verificar uma grande inibição da produção de etileno pelas diversas cultivares em função da redução da concentração de O<sub>2</sub>. A síntese de etileno é fortemente dependente da presença de O<sub>2</sub>, o qual é necessário para ativação da metionina e, também, para posterior conversão do intermediário 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) até etileno (KENDE, 1993). Um comportamento semelhante ao presente foi observado por FIDLER & NORTH (1971) durante o armazenamento de maçãs em diversas concentrações de O<sub>2</sub>

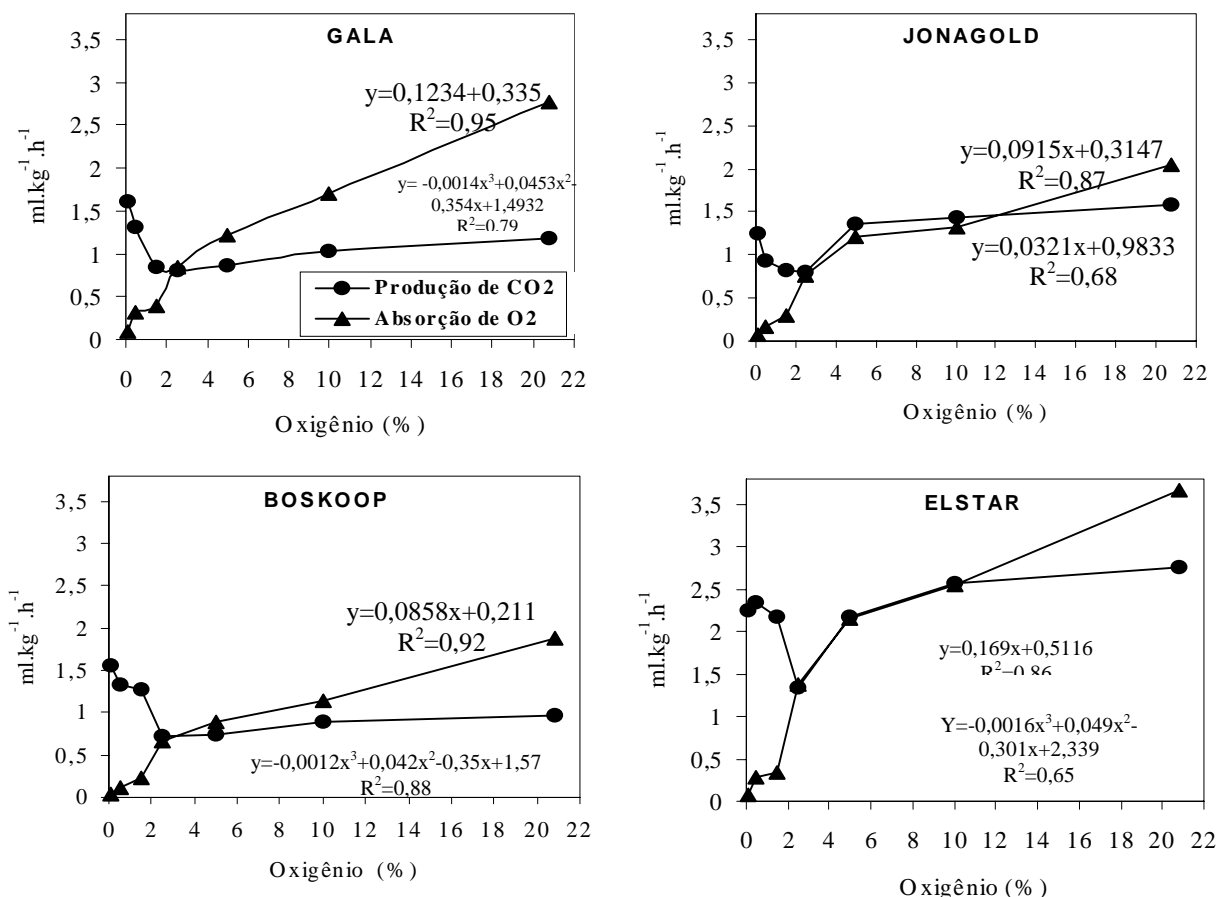


Figura 1 – Produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub> pelas cultivares Gala, Jonagold, Boskoop e Elstar armazenadas em várias concentrações de O<sub>2</sub> à temperatura de 1°C.

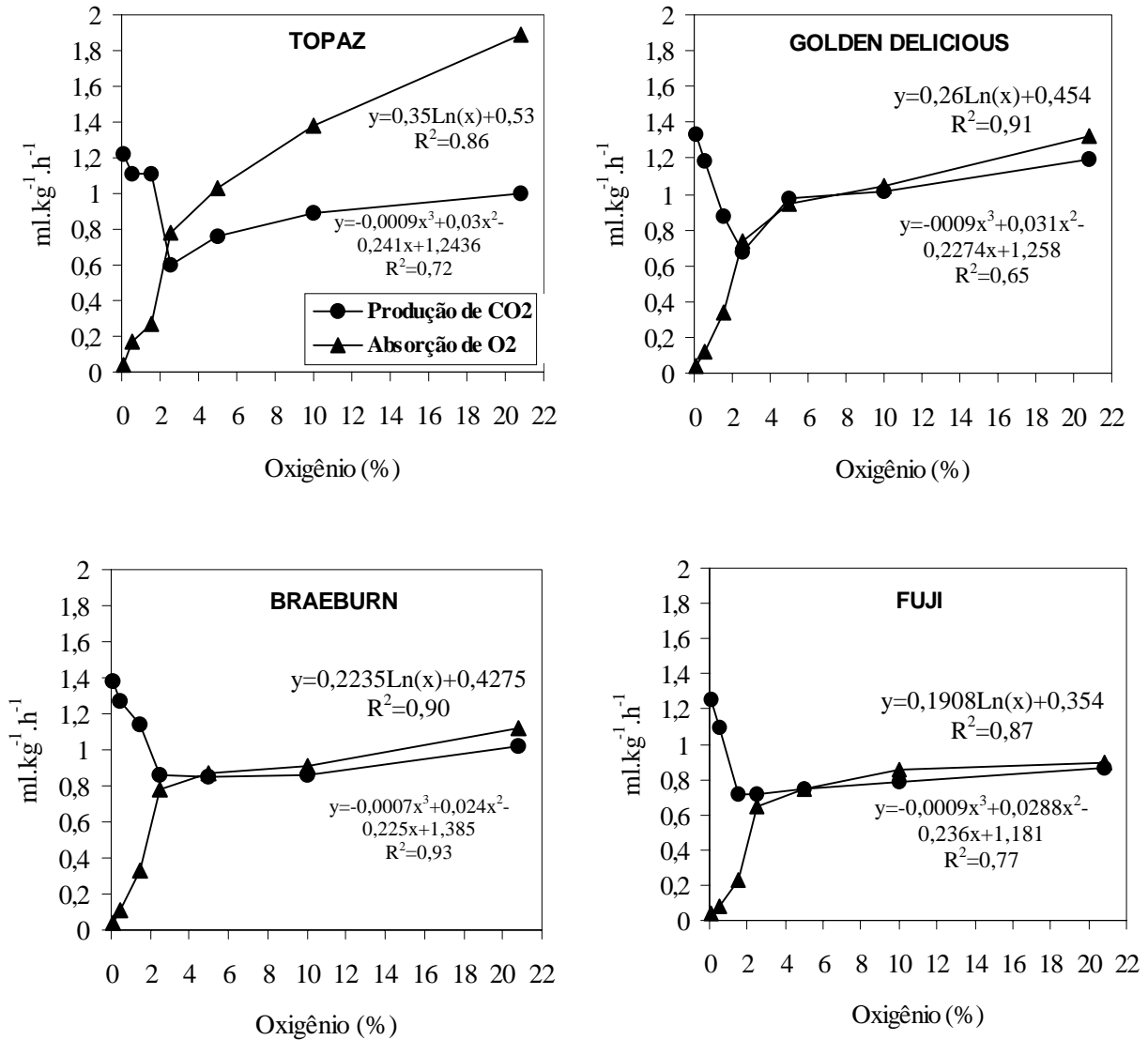


Figura 2 – Produção de CO<sub>2</sub> e absorção de O<sub>2</sub> pelas cultivares Topaz, Golden Delicious, Braeburn e Fuji armazenadas em diversas concentrações de O<sub>2</sub> à temperatura de 1°C.

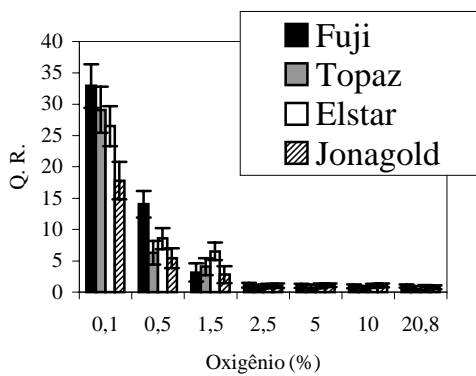


Figura 3 – Quociente respiratório das cultivares Boskoop, Braeburn, Golden Delicious e Gala armazenadas em diversas concentrações de oxigênio à temperatura de 1°C.

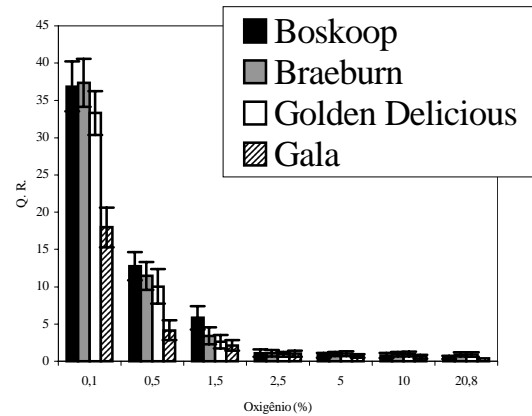


Figura 4 – Quociente respiratório das cultivares Fuji, Topaz, Elstar e Jonagold armazenadas em diversas concentrações de oxigênio à temperatura de 1°C.

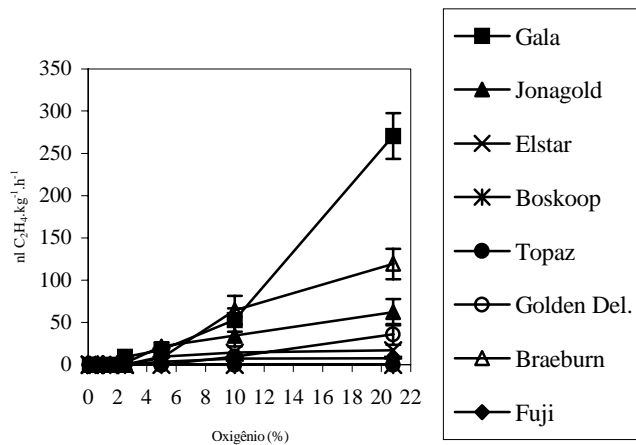


Figura 5 – Produção de etileno por várias cultivares de maçã armazenadas em diversas concentrações de oxigênio à temperatura de 1°C.

Pelos resultados obtidos no presente trabalho é possível concluir que, as cultivares Braeburn, Boskoop e Elstar não toleram concentrações de O<sub>2</sub> abaixo de 2% não sendo aconselhável armazená-las em concentrações ultra baixas de O<sub>2</sub>.

As cultivares Gala, Jonagold, Golden Delicious e Fuji, entretanto, toleram concentrações mais baixas de O<sub>2</sub>, podendo ser armazenadas em concentrações em torno de 1 a 1,5% de O<sub>2</sub>.

O fato das cultivares Elstar, Jonagold e Gala apresentarem as maiores taxas de produção de CO<sub>2</sub>, é de se esperar um maior consumo de energia e a necessidade de um maior rendimento dos absorvedores de CO<sub>2</sub> durante o armazenamento em AC.

#### ABSTRACT

It was studied the respiration and the ethylene production by apple cultivars stored in various oxygen concentrations. The fruits, picked at the pre-climacteric stage, were promptly stored after harvest at 1°C for 5 days in the following O<sub>2</sub> concentrations: 20.8 (air control), 10, 5, 2.5, 1.5, 0.5 and 0.1%. At the fourth and fifth days the CO<sub>2</sub>-release, the O<sub>2</sub>-uptake, as well as the ethylene production by fruits were measured. The cultivars Elstar and Jonagold showed the highest CO<sub>2</sub>-production and O<sub>2</sub>-uptake, while Fuji and Boskoop the lowest rates of CO<sub>2</sub>-production and O<sub>2</sub>-uptake. Although the cultivars Braeburn and Topaz taken up more O<sub>2</sub> than Fuji and Boskoop, they showed also very low CO<sub>2</sub>-production. In general, it was possible to verify a pronounced reduction in the CO<sub>2</sub>-production only at O<sub>2</sub>-concentrations below 5%, being that the majority of cultivars began anaerobic respiration at O<sub>2</sub>-concentrations below 1.5%. The ethylene production was also very impaired by the continuous decrease of O<sub>2</sub>-concentrations and it was not more possible to detect ethylene at O<sub>2</sub>-concentrations below 2.5%.

Key words: fruits, controlled atmosphere, ethylene, CO<sub>2</sub>-production, O<sub>2</sub>-uptake

#### REFERÊNCIAS

BIALE, J.B. **Respiration of fruits**. In: W. Ruhland (ed.). *Handbuch der Pflanzenphysiologie*. Berlin: Springer Verlag, v.12, p.536-592, 1960.

BRACKMANN, A.; SAQUET, A.A. Efeito das condições de atmosfera controlada sobre a ocorrência de degenerescência em maçã 'Fuji'. *Scientia Agrícola*, v.52, p.263-267, 1995.

BRACKMANN, A.; SAQUET, A.A. Low ethylene and rapid CA storage of 'Gala' apples. *Acta Horticulturae*, n.485, p.79-83, 1999.

FIDLER, J.C.; NORTH, C.J. The effect of conditions of storage on the respiration of apples. I. The effects of temperature and concentrations of carbon dioxide and oxygen on the production of carbon dioxide and uptake of oxygen. *Journal of Horticultural Science*, v.42, p.189-206, 1967.

FIDLER, J.C.; NORTH, C.J. The effect of conditions of storage on the respiration of apples. VI. The effects of temperature and controlled atmosphere storage on the relationship between rates of production of ethylene and carbon dioxide. *Journal of Horticultural Science*, v.46, p.237-243, 1971.

GOFFINGS, G.; HERREGODS, M. The influence of the storage conditions on some quality parameters of Jonagold apples. *Acta Horticulturae*, n.368, p.37-42, 1994.

JOBLING, J.J.; McGLASSON, W.B. A comparison of ethylene production, maturity and controlled atmosphere storage life of Gala, Fuji and Lady Williams apples (*Malus domestica*, Borkh.). *Postharvest Biology and Technology*, v.6, p.209-218, 1995.

KENDE, H. Ethylene biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, v.44, p.283-307, 1993.

KUPFERMAN, E. Maturity and storage of Gala, Fuji, and Braeburn apples. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, v.5, p.10-15, 1994.

LAU, O.L. Storage procedures, low oxygen and low carbon dioxide atmospheres on storage quality of 'Golden Delicious' and 'Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.110, p.541-547, 1985.

LAU, O.L. Tolerance of three apple cultivars to ultra-low levels of oxygen. *HortScience*, v.25, p.1412-1414, 1990.

MEHERIUK, M.; PRANGE, R.K.; LIDSTER, P.D.; PORRIT, S.W. *Postharvest disorders of apples and pears*. Ottawa: Agriculture Canada Publication 1737/E, 1994. 67p.

PATTERSON, M. E. Handling Granny Smith apples: The biology and storage technology for maximum storage. In: Fifth Int. Contr. Atm. Res. Conf., 1989, Washington. *Proceedings...*, Washington, 1989, v.1, p.7-11.

SAQUET, A.A.; STREIF, J.; BANGERTH, F. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in 'Conference' pears and 'Jonagold' apples during controlled atmosphere storage. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, v.75, p.243-249, 2000.

SAQUET, A.A.; STREIF, J. Untersuchungen zur Atmung und zur Ethylenbildung einiger neuer Apfelsorten. *Erwerbsobstbau*, v.42, p.109-112, 2000.

SAQUET, A. A. *Untersuchungen zur Entstehung physiologischer Fruchterkrankungen sowie zur mangelhaften Aromabildung von 'Conference' Birnen und 'Jonagold' Äpfeln unter verschiedenen CA-Lagerbedingungen*. Tese de Doutorado. Universidade de Hohenheim, Stuttgart: Verlag Grauer, Alemanha, 2001, 191p.

SIEDOW, J.N.; UMBACH, A.L. Plant mitochondrial electron transfer and molecular biology. *The Plant Cell*, v.7, p.821-831, 1995.

STREIF, J. *Ernte, Lagerung und Aufbereitung*. In: F. Winter et al. (eds.). *Lucas' Anleitung zum Obstbau*. Stuttgart: Eugen Ulmer. 31 Auflage, p.304-337, 1992.

STREIF, J. Optimierung der CA-Lagerung von Äpfeln. *Obstbau*, v.10, p.527-529, 1999.