

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRESSÃO HIPERBÁRICA E TEMPERATURA NA  
QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE TOMATE ‘DÉBORA’**

**Carlos Orlando Inestroza Lizardo  
Engenheiro Agrônomo**

**2017**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRESSÃO HIPERBÁRICA E TEMPERATURA NA  
QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE TOMATE ‘DÉBORA’**

**Carlos Orlando Inestroza Lizardo  
Orientador: Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

**2017**

I42p Inestroza Lizardo, Carlos Orlando  
Pressão hiperbárica e temperatura na qualidade pós-colheita de  
tomate 'Débora' / Carlos Orlando Inestroza Lizardo. – – Jaboticabal,  
2017

xii, 71 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Ben-Hur Mattiuz

Banca examinadora: Ricardo Alfredo Kluge, Teresinha de Jesus  
Deléo Rodrigues, Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, Rogério Falleiros  
Carvalho

#### Bibliografia

1. *Solanum lycopersicum* L. 2. Atmosfera hiperbárica. 3.  
Conservação. 4. Amadurecimento. 5. Sistema antioxidante. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.563:635.64

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria  
Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

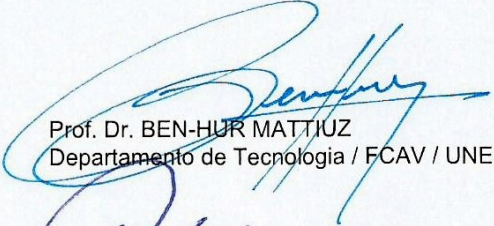
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PRESSÃO HIPERBÁRICA E TEMPERATURA NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA  
DE TOMATE 'DÉBORA'

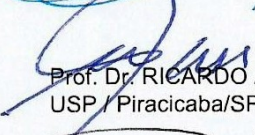
AUTOR: CARLOS ORLANDO INESTROZA LIZARDO

ORIENTADOR: BEN-HUR MATTIUZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



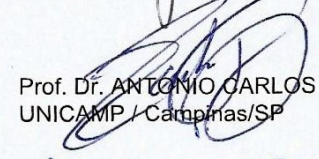
Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ  
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. RICARDO ALFREDO KLUGE  
USP / Piracicaba/SP



Prof. Dr. ROGERIO FALLEIROS CARVALHO  
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA FERRAZ  
UNICAMP / Campinas/SP



Profa. Dra. TERESINHA DE JESUS DELEO RODRIGUES  
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 20 de abril de 2017.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Carlos Orlando Inestroza Lizardo** – nascido em Juticalpa, Honduras, no dia 15 de agosto de 1986. Filho de Carlos Orlando Inestroza Juarez e Lourdes Albertina Lizardo. Iniciou o curso de Engenharia Agrônômica em janeiro de 2004, na Universidade Nacional de Agricultura de Honduras, que foi concluído em dezembro de 2007. Em janeiro de 2008 assumiu o cargo de professor na Universidade Nacional de Agricultura, Catacamas-Honduras. Em agosto de 2009 ingressou no curso de mestrado em Produção Agroindustrial, na área de pós-colheita de frutas e hortaliças, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade do Chile, o qual foi financiado pela Organização dos Estados Americanos (OEA). Recebeu o título de mestre em novembro de 2011. Em agosto de 2013 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, localizada na cidade de Jaboticabal - São Paulo, na linha de pesquisa em Pós-colheita, sendo bolsista do programa PAEDEX-UNESP.

*Aos meus dois tesouros, Luciana Thaís e  
Juliana Paola, por ser minha maior inspiração.*

**DEDICO**

*A minha amada esposa, Ana Luisa Carrero,  
pelo amor, paciência, dedicação, ajuda  
e cumplicidade, TE AMO.*

**OFEREÇO**

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pela graça da vida, pela minha saúde e pela força que me deu para seguir em frente nos momentos difíceis desta caminhada.

À Universidade Estadual Paulista pela bolsa de estudos de doutorado, programa PAEDEX-UNESP

À Universidade Nacional de Agricultura de Honduras, pela licença laboral outorgada para poder realizar os meus estudos de doutorado.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) por financiar a minha pesquisa (Processo nº 2015/07152-6).

Ao professor Dr. Ben-Hur Mattiuz, pela orientação, dedicação, confiança, apoio e por proporcionar as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de minha pesquisa.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Pós-colheita, especialmente a: Vanessa Galati, Vanessa Voigt, Carol, Josi, João e Kelly, obrigado pela ajuda, convivência e aprendizado durante esta etapa da minha vida.

Aos meus professores e colegas do curso de doutorado em Produção Vegetal, aos funcionários da Seção de pós-graduação e do Departamento de Tecnologia, pelo auxílio e amizade.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Ricardo Alfredo Kluge, Prof. Dra. Teresinha de Jesus Deléo Rodrigues, Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho pela disponibilidade e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos meus familiares, em especial: Minha mãe, Lourdes Lizardo e minha avó querida Blacina Lizardo, pelo apoio incondicional.

Àqueles que, embora não tenha citado os nomes, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível.

Muito Obrigado!



## SÚMARIO

RESUMO.....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O tomate .....	3
2.2. Pressões hiperbáricas.....	4
2.3. Sistema antioxidante .....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	7
3.1. Sistema hiperbárico .....	7
3.2. Material vegetal.....	8
3.3. Etapa I – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora à temperatura de ambiente (23°C).....	9
3.4. Etapa II – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora armazenados sob refrigeração (13°C) .....	10
3.5. Avaliações.....	11
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
5.1. Etapa I – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora à temperatura de ambiente (23°C) .....	16
Perda de massa.....	16
Coloração .....	18
Firmeza.....	19
Taxa respiratória (TR).....	21
Etileno.....	23
Sólidos solúveis (SS).....	24
Acidez titulável (AT).....	26
Relação SS:AT .....	27
Licopeno .....	28
Ácido ascórbico .....	30
Polifenóis extraíveis totais .....	31
Atividade antioxidante total .....	32
Peroxidação de lipídeos.....	34
Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD).....	35
Atividade da enzima catalase (CAT).....	36

Atividade das Peroxidase (POD) .....	38
5.2. Etapa II – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora armazenados sob refrigeração (13°C).....	39
Perda de massa.....	39
Coloração .....	40
Firmeza.....	42
Taxa respiratória.....	43
Etileno.....	45
Sólidos solúveis (SS).....	46
Acidez titulável (AT).....	46
Relação SS:AT .....	48
Licopeno .....	49
Ácido ascórbico .....	50
Polifenóis extraíveis totais .....	51
Atividade antioxidante total .....	53
Peroxidação de lipídeos.....	54
Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD).....	55
Atividade da enzima catalase (CAT).....	56
Atividade das Peroxidase (POD) .....	58
6. CONCLUSÕES.....	60
7. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	61
8. REFERÊNCIAS.....	62

## PRESSÃO HIPERBÁRICA E TEMPERATURA NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE TOMATE 'DÉBORA'

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de pressões hiperbáricas na conservação pós-colheita de tomate de mesa cv. Débora. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da FCAV-UNESP, Câmpus de Jaboticabal, utilizando tomates provenientes de produções comerciais da região de Ribeirão Preto-SP. Na primeira etapa, os níveis de pressão hiperbárica aplicados foram 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa a temperatura de  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ , durante 2, 4 ou 6 dias, e por mais 2 dias em condição de ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ , 50% UR, 100 kPa). Na segunda etapa, os tratamentos consistiram em submeter os tomates às condições de pressão anteriormente descritas à temperatura de  $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ , durante 4 ou 8 dias, e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ , 88% UR, 100 kPa). Foram realizadas análises para avaliar a qualidade pós-colheita (perda de massa, firmeza, coloração da casca, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, taxa respiratória e produção de etileno) e a influencia no sistema antioxidante dos tomates (teor de licopeno, ácido ascórbico, atividade antioxidante total, polifenóis, peroxidacão de lipídeos e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD)). A pressão de 800 kPa a  $23^{\circ}\text{C}$  diminuiu a perda de massa em 82% depois de 6 dias. A mesma tendência foi observada para a firmeza, sendo que no 6º dia de armazenamento, os frutos com maior firmeza foram aqueles submetidos às pressões de 600 e 800 kPa (média de 17,60 N), enquanto que os tomates do controle apresentaram 8,15 N. Na temperatura de  $13^{\circ}\text{C}$ , as pressões de 400 a 800 kPa, durante 8 dias, influenciaram a menor taxa respiratória dos tomates e um atraso no aparecimento do pico do etileno. Independente da temperatura de armazenamento, observou-se uma relação diretamente proporcional entre a pressão aplicada e a manutenção da coloração inicial dos tomates, ocorrendo a redução da síntese de licopeno em até a metade nos tomates tratados com 800 kPa em relação aos do controle. Por outro lado, as maiores pressões (400, 600 e 800 kPa) também influenciaram aumento da atividade enzimática da CAT e diminuição das POD, enzimas relacionadas com a senescência dos frutos. As pressões hiperbáricas no intervalo de 400 a 800 kPa mostraram ser eficazes na conservação pós-colheita dos tomates cv. Débora quando aplicadas a 13 e  $23^{\circ}\text{C}$ .

Palavras chave: *Solanum lycopersicum* L, atmosfera hiperbárica, conservação, amadurecimento, sistema antioxidante

## HYPERBARIC PRESSURE AND TEMPERATURE IN THE POS-HARVEST QUALITY OF TOMATO 'DEBORA'

**ABSTRACT** - The objective of this work was to evaluate the effect of the application of hyperbaric pressures on the post-harvest conservation of table tomato cv. Debora. The experiments were carried out at the Laboratory of Post-Harvest Technology of FCAV-UNESP, Jaboticabal Campus, using tomatoes from commercial production in the region of Ribeirão Preto-SP. In the first stage, the applied hyperbaric pressure levels were 100 (control), 200, 400, 600 and 800 kPa at  $23\pm 1^\circ\text{C}$  for 2, 4 or 6 days and for a further 2 days in ambient conditions ( $23^\circ\text{C}$ , 50% RH, 100 kPa). In the second stage, the treatments consisted in subjecting the tomatoes to the pressure conditions described above at  $13\pm 1^\circ\text{C}$  for 4 or 8 days and for another 3 or 6 days under ambient conditions ( $23^\circ\text{C}$ , 88% RH, 100 kPa). Analysis were carried out to evaluate the post-harvest quality (loss of mass, firmness, peel color, soluble solids content, titratable acidity, respiratory rate and ethylene production) and the influence on the antioxidant system of the tomatoes (lycopene content, ascorbic acid content, total antioxidant activity, polyphenols, lipid peroxidation and activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD)). The pressure of 800 kPa at  $23^\circ\text{C}$  decreased the mass loss by 82% after 6 days. The same trend was observed for firmness, and on the 6th day of storage, the fruits with the greatest firmness were those submitted to pressures of 600 and 800 kPa (mean of 17.60 N), while the tomatoes of the control presented 8.15 N. At the temperature of  $13^\circ\text{C}$ , the pressures from 400 to 800 kPa during 8 days influenced the lower respiratory rate of the tomatoes and a delay in the appearance of the ethylene peak. Regardless of the storage temperature, a direct proportional relation between the applied pressure and the maintenance of the initial coloration of the tomatoes was observed, with the reduction of the lycopene synthesis by half in the tomatoes treated with 800 kPa in comparison with the tomatoes of the control. On the other hand, the higher pressures (400, 600 and 800 kPa) also influenced the increase of the enzymatic activity of the CAT and the decrease of the POD, enzymes related to the senescence of the fruits. The hyperbaric pressures in the range of 400 to 800 kPa have been shown to be effective in the post-harvest conservation of tomatoes cv. Deborah when applied at 13 and  $23^\circ\text{C}$ .

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., hyperbaric atmosphere, conservation, ripening, antioxidant system.

## 1. INTRODUÇÃO

O tomateiro é uma das olerícolas mais cultivadas, alcançando um nível de popularidade elevado em todas as dietas do mundo, principalmente por ser uma importante fonte de fibra, vitamina C, licopeno e outros compostos com atividade antioxidante. Isso torna o tomate um alimento funcional com importante papel na manutenção da saúde humana, associado especificamente à prevenção e combate a diversos tipos de câncer e de doenças cardiovasculares.

Os tomates da cultivar Débora possuem excelentes características organolépticas, tornando-os preferidos para o consumo *in natura*, com consequente valorização comercial. Entretanto, os frutos desta cultivar apresentam uma vida pós-colheita menor que os tomates 'longa vida', restrita a poucos dias.

Trabalhos recentes demonstram a possibilidade do uso de pressões hiperbáricas para retardar os mecanismos fisiológicos de amadurecimento e senescência em vegetais. Autores relatam que a aplicação do tratamento por pressão em temperatura ambiente ou sob refrigeração, podem ter efeitos positivos na atividade fisiológica de produtos hortícolas. Pesquisas apontam para reduções significativas da perda da massa fresca, da taxa respiratória, da produção de etileno, da perda de firmeza, da manifestação de danos pelo frio, possibilitando o aumento da vida pós-colheita de produtos como milho verde, abacate, alface, tomate, com manutenção da qualidade (BABA e IKEDA, 2003; GOYETTE, 2010; VIGNEAULT et al., 2012; LIPLAP et al., 2013a).

Além disso, há indícios que a técnica pode provocar um estresse específico no vegetal, dando origem a respostas biológicas benéficas (*hormesis*), como o aumento da síntese de licopeno em tomates evidenciado por Goyette et al. (2012b) e Liplap et al. (2013b) e da produção de fitoalexinas, induzindo resistência contra patógenos, como o *Botrytis cinerea* (ROMANAZZI; NIGRO; IPPOLITO, 2008).

Esta técnica visa também a economia de energia, pois este processo utiliza apenas entre 2-6% da energia necessária na refrigeração, visto que a pressurização não precisa ser instantânea e é necessário pouca energia para manter a pressão ao longo do armazenamento (VIGNEAULT et al., 2012).

Assim, estratégias alternativas, como o emprego de atmosfera hiperbárica, para conservação pós-colheita de produtos perecíveis com menor consumo de energia, que permitam o aumento de compostos antioxidantes, têm ganhado cada vez mais interesse no meio científico, considerando a importância do conceito de reduzir o uso de substâncias químicas, melhorar a conservação e a qualidade de frutas e hortaliças para servirem como alimento funcional.

No entanto, embora tenham sido publicados resultados promissores em relação ao uso de pressões hiperbáricas na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças, as escassas pesquisas geradas ainda são de caráter exploratório, com limitações sobre o conhecimento dos efeitos fisiológicos e de sistema antioxidante. Aliado a isso, não há pesquisas desenvolvidas, com esta tecnologia, para uma condição específica de uma determinada região ou para uma cultivar em particular, limitando o desenvolvimento da técnica como uma alternativa na pós-colheita de frutas e hortaliças.

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de pressões hiperbáricas em temperatura de ambiente (23°C) e de refrigeração (13°C), na pós-colheita de tomates de mesa cv. Débora.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O tomate

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das olerícolas mais cultivadas e consumidas no mundo, daí sua grande importância comercial (BECKLES, 2012; AZABOU et al., 2016). Além disso, os tomates sintetizam uma grande variedade de fitoquímicos com alto poder antioxidante como vitaminas, carotenoides e compostos fenólicos associados à redução do risco de doenças crônicas, como as cardiovasculares e os cânceres (DEL GIUDICE et al., 2015; STAJCIC et al., 2015)

O Brasil é o nono maior produtor de tomate no mundo, com uma produção aproximada de 4,15 milhões de toneladas por ano. Com 1,04 milhão de toneladas produzidas anualmente, o estado de São Paulo é o maior produtor do País (AGRIANUAL, 2017). Em 2016 a CEAGESP comercializou cerca de 315 mil toneladas de tomate para consumo *in natura* (AGRIANUAL, 2017), caracterizando o tomate como a hortaliça mais popular do País (HENZ E MORETTI, 2005).

Do ponto de vista da conservação pós-colheita, o tomate é um fruto climatérico, que geralmente é colhido no estágio de maturação fisiológica (verde-maduro), com o objetivo de prolongar a conservação e minimizar as perdas durante a manipulação e o transporte (WANG et al., 2008). Em condições de temperatura de ambiente (em torno de 23°C) os tomates amadurecem rapidamente, mudando a coloração, a firmeza, o sabor, a composição química, e aumentando a perda de água, o que diminui significativamente o período para sua comercialização (JAVANMARDI e KUBOTA, 2006).

Dentre as cultivares de tomateiro plantadas em São Paulo, destaca-se a 'Débora' que produz tomates oblongos, peso médio entre 120 e 160g, coloração avermelhada quando atingem o amadurecimento e, geralmente, são consumidos *in natura* por possuírem excelentes características organolépticas (NASCIMENTO et al., 2010). No entanto, os frutos desta cv. apresentam uma vida de prateleira curta quando comparada às demais cultivares, sendo inferior a uma semana quando armazenados a 24°C (SANINO, 2004).

Com o objetivo de manter a qualidade e prolongar a vida útil potencial, atualmente são aplicadas diferentes tecnologias, das quais, a mais utilizada é a

refrigeração. O armazenamento de tomates sob refrigeração (10 a 15°C) reduz de modo eficiente a taxa respiratória, mantém a qualidade geral do produto aumentando a vida útil (SALTVEIT, 2003). Entretanto, a refrigeração é uma tecnologia que requer um alto consumo energético (RAGHAVAN et al., 2004), além de não permitir sua implementação em regiões não servidas pela energia elétrica.

## 2.2. Pressões hiperbáricas

O uso de pressões hiperbáricas na pós-colheita, consiste em expor as frutas e hortaliças a pressões entre 100 (1 atm<sub>abs</sub>) e 1000 kPa (10 atm<sub>abs</sub>), as quais são obtidas utilizando um fluxo constante de ar comprimido (GOYETTE et al., 2011). Estas agem instantaneamente e de maneira uniforme, independentemente do tamanho, forma ou composição do produto, e são microbiologicamente seguras. Além disso, requerem apenas entre 2-6% da energia necessária para a refrigeração, visto que a pressurização não precisa ser instantânea, e também necessita de pouca energia para manter a pressão ao longo do armazenamento (VIGNEAULT, et al., 2012).

As pressões hiperbáricas diferem dos tratamentos de alta pressão em alimentos (100 e 1200 MPa) (GOYETTE et al., 2007), as quais são consideradas elevadas para frutas e hortaliças frescas, pois ocasionariam danos irreversíveis nos tecidos (AHMED e RAMASWAMY, 2006; YI, et al., 2016).

Diversas pesquisas mostram que o uso de pressões hiperbáricas pode influenciar, direta ou indiretamente, a fisiologia pós-colheita e a manutenção da qualidade de algumas frutas e hortaliças. Concretamente, Baba e Ikeda (2003) reportaram a diminuição da taxa respiratória e da produção de etileno de frutos de umezeiro (*Prunus mume* L.), quando submetidos a pressões de 0,5 a 5 MPa durante 10 min e mantidos a 0,5 MPa durante 5 dias.

Pressões de 700 e 900 kPa, aplicadas em abacates 'Hass', durante 7 dias, a 20°C, diminuiram a taxa respiratória, a perda de massa e retardaram o processo de amadurecimento normal, resultando no prolongamento da vida pós-colheita dos frutos (LIPLAP et al., 2013).

Tomates armazenados a 13°C e 900 kPa durante 5, 10 e 15 dias, apresentaram redução de 22% na taxa respiratória, quando comparados ao controle (13°C +



100 kPa). Além disso, os autores observaram atraso da síntese de licopeno e do amolecimento quando comparados aos frutos sob pressão ambiente (GOYETTE, et al., 2012b). Mais recentemente, Liplap et al. (2013a) verificaram que tomates armazenados a 20°C e sob pressão de 700 a 900 kPa durante 4 dias, apresentaram taxa respiratória similar aos do tratamento controle (20°C e 100 kPa). Além disso, os tomates tratados apresentaram maior turgidez e um atraso no aparecimento da cor vermelha, resultado da menor síntese de licopeno.

Milho doce submetido a pressões entre 300 e 900 kPa durante 3 dias a 20°C, apresentou uma relação inversa entre os níveis de pressão aplicados e as taxas respiratórias. Além disso, com o aumento da pressão aplicada houve a maior conservação da massa fresca, dos sólidos solúveis e da coloração dos grãos. Entretanto, houve o amarelecimento das palhas que revestem as espigas (LIPLAP et al., 2013c).

Alfaces tratadas durante 5 dias com 850 kPa, a 20°C, apresentaram maior turgescência, conteúdo de clorofila, qualidade visual e firmeza, em relação aquelas não tratadas (100 kPa a 20°C) (LIPLAP et al., 2014b). Os autores sugerem que a pressão de 850 kPa apresenta potencial para manter a qualidade de alfaces em um armazenamento de curto prazo.

### **2.3. Sistema antioxidante**

Adicionalmente aos efeitos benéficos que oferece a pressão hiperbárica em relação à manutenção da conservação pós-colheita de produtos hortícolas, pesquisas têm sido conduzidas sobre a possível influência desta técnica no sistema antioxidante enzimático e não enzimático das frutas e hortaliças, o que daria origem a respostas biológicas benéficas (*hormesis*) como o aumento na produção de compostos antioxidantes.

Liplap et al. (2013b) ao tratar tomates com pressões hiperbáricas durante 4 dias, a 20°C, verificaram que a quantidade de licopeno nos frutos foi inversamente proporcional à pressão utilizada (300 a 900 kPa), com redução de 40 a 80%. Entretanto, após a retirada dos tomates da condição de pressão, e deixados completar

o amadurecimento por 10 dias, os pesquisadores constataram um aumento de 26% no teor de licopeno dos frutos tratados com 900 kPa, em relação aos frutos à pressão de ambiente. Os autores atribuem o aumento do teor de licopeno ao estresse fisiológico induzido pela pressão durante o armazenamento. Especula-se que a pressão hiperbárica durante o armazenamento possa ter agido de um modo semelhante a outros tratamentos físicos utilizados na pós-colheita como a irradiação, os tratamentos térmicos ou as atmosferas controladas (USALL et al., 2016).

As tecnologias clássicas de pós-colheita envolvem a aplicação de condições de estresse para estender o armazenamento e a vida útil. No entanto, pesquisas recentes têm se preocupado com a compreensão dos mecanismos pelos quais os estresses abióticos afetam a qualidade das frutas e hortaliças durante a pós-colheita (PEDRESCHI e LURIE, 2015).

Segundo Gill e Tuteja (2010) os estresses abióticos levam à superprodução de espécies reativas de oxigênio (ERO) nos vegetais. Esses compostos são altamente reativos e tóxicos, causando danos às proteínas, lipídios, carboidratos e DNA, resultando em estresse oxidativo. Dessa forma, para prevenir lesões devido a esse tipo de estresse, a célula vegetal desenvolve mecanismos de defesa que envolvem alguns compostos metabólicos não enzimáticos (flavonoides, ligninas, ácido ascórbico,  $\alpha$ -tocoferol, betacaroteno, licopeno e polifenóis) e algumas enzimas como a superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) e glutatona redutase (GR) (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010).

O aumento da síntese desses compostos bioativos, especialmente em tomate, se reveste de importância dada a associação destes com a prevenção de importantes doenças humanas, melhorando a funcionalidade desses alimentos (CHEN et al. 2007). Nas últimas décadas, muitas pesquisas têm demonstrado a relação direta entre a ingestão de compostos bioativos presentes nas frutas e hortaliças e os benefícios destes à saúde humana (MARTÍ; ROSELLÓ; CEBOLLA-CORNEJO, 2016). Estudos epidemiológicos sugerem que o frequente consumo desses alimentos é associado com a baixa incidência de doenças degenerativas incluindo o câncer, doenças cardiovasculares, inflamações, artrites, declínio do sistema imune, disfunção cerebral, diabetes, mal de Alzheimer e alguns tipos de catarata (OLIVEIRA et al., 2011).

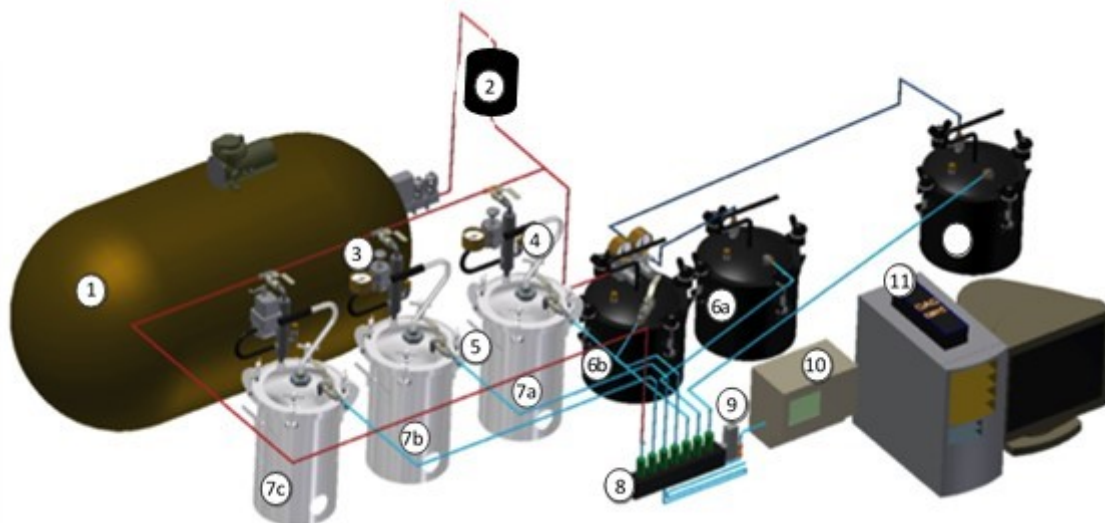
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Sistema hiperbárico

Os experimentos foram conduzidos utilizando um sistema de pressão hiperbárica esquematizado por Goyette et al. (2011) e Liplap et al. (2014a), representado na Figura 1. Este sistema é formado por 6 câmaras de aço ligadas a um circuito aberto pelo qual um fluxo constante de ar comprimido circula para manter as concentrações de oxigênio (21%) e de nitrogênio (78%) constantes. O dióxido de carbono foi adsorvido pela passagem prévia do fluxo por uma câmara apropriada, contendo CaO. Cada câmara foi vedada com uma tampa de aço parafusada, possuindo o volume interno de 10,75 L (capacidade aproximada para 20 tomates) e resistência à pressão de 1000 kPa.

Cada tampa foi equipada com um regulador de pressão colocado na entrada de cada câmara e uma válvula na saída para regular a pressão e o fluxo de ar, respectivamente, de cada compartimento. Também foi instalada uma válvula de segurança na tampa para impedir qualquer excesso de pressão. A entrada da câmara foi conectada a um tanque de ar comprimido com capacidade de 250 L (Schulz, mod. MSV 20 MAX, Joinville, SC, Brasil), para fornecimento de ar.

Foi utilizado um fluxímetro para medir o fluxo de ar (Bronkhorst™, Ruurlo, Netherlands) com intervalo de medição de 5 a 2.000 mL min<sup>-1</sup> ±12 mL min<sup>-1</sup>. Para medir a concentração de CO<sub>2</sub> foi utilizado um analisador infravermelho de gases (Guardian® Plus, Kirk-ton Campus, Livingston, England) com intervalo de medição de 0 a 2000 ppm ± 40 ppm .



**Figura 1.** Esquema do sistema de pressão hiperbárica utilizado para a realização dos experimentos: 1. Tanque de ar comprimido; 2. Depurador de CO<sub>2</sub>; 3. Regulador de pressão; 4. Válvula de segurança; 5. Válvula de controle de fluxo; 6a. Câmara para pressão ambiente (100 kPa); 6b. Câmara para pressão de 200 kPa; 7a,b,c. Câmara para pressão de 400, 600 e 800 kPa, respectivamente; 8. Conjunto válvula-coletor; 9. Medidor de fluxo de ar; 10. Analisador infravermelho de gás; 11. Placa de aquisição de dados e computador.

O medidor de fluxo do ar, a válvula de controle, o analisador do gás CO<sub>2</sub>, foram ligados a uma placa de controle e de aquisição de dados (Personnel DAQ 3000, Cleveland, OH, USA) de um computador portátil. Foi utilizado o software (DasyLab®, Measurement Computing Corporation TM, Norton, MA, USA) para registrar a pressão, a taxa de fluxo de ar, o nível de CO<sub>2</sub>, calculando assim, a taxa respiratória em tempo real mediante a seguinte equação (1).

$$TR = \frac{\Delta CO_2 \times Q}{m} \quad (1)$$

Em que o  $\Delta CO_2$ : é a diferença entre a concentração de entrada e saída de CO<sub>2</sub> do recipiente (ppm); **Q**: a taxa de fluxo de ar (mL min<sup>-1</sup>); **m**: massa do produto (g).

### 3.2. Material vegetal

Foram utilizados tomates da cv. Débora, provenientes de produções comerciais da região de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, Brasil (21°20'18" S e 47°43'58" O, 793 m de altitude), colhidos no estágio verde-maturo, segundo a classificação de López Camelo e Gómez (2004).

Os frutos foram transportados durante 1 hora para o Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal. Sequencialmente foram: [1] lavados com água potável e detergente neutro, sanitizados em solução de Dicloro S. Triazinatriona Sódica Dihidratada (Sumaveg®) a  $200 \text{ mg L}^{-1}$ , por 5 minutos; [2] selecionados para garantir a homogeneidade do lote, em tamanho, forma, coloração, e ausência de danos e doenças; [3] colocados em câmara fria a  $23^{\circ}\text{C}$  ou  $13^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, para secagem do excesso de água e redução da temperatura, previamente à aplicação dos tratamentos nas temperaturas de ambiente (Etapa I) ou de refrigeração (Etapa II).

### **3.3. Etapa I – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora à temperatura de ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ )**

Em cada colheita foram selecionados 60 tomates com base nos parâmetros mencionados no item 3.2. Foram usados 10 tomates para determinar a qualidade inicial e confirmar a homogeneidade da matéria-prima (Tabela 1) e os demais foram divididos em cinco grupos de 10 frutos. Cada grupo de tomates foi colocado em uma câmara (total de cinco), que foi selada, e submetido à pressão de 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa, por um determinado período, na temperatura de  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . A umidade relativa no interior das câmaras foi mantida a  $95 \pm 2,5\%$  (monitorada a cada 30 minutos com registrador de dados HOB0 Prov2 U-23-001).

Foram estipulados três períodos de permanência sob tratamento hiperbárico: 2, 4 ou 6 dias. Cada período foi repetido 3 vezes, num total de 9 colheitas no campo (3 períodos x 3 repetições).

Ao término de cada período de armazenamento, as câmaras foram despressurizadas automaticamente durante 2h. Cinco frutos (unidade experimental) foram avaliados imediatamente e os outros cinco mantidos por mais dois dias em condição de ambiente ( $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , 50% UR, 100 kPa), quando foram analisados. Esse período ao ambiente foi importante para acompanhar a evolução da maturação dos tomates.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) com 5 tratamentos de pressão e 3 repetições (blocos), sendo que cada colheita foi considerada um bloco.

**Tabela 1.** Parâmetros iniciais de qualidade dos tomates cv. Débora utilizados na 1ª etapa.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Firmeza (N)	35,21 ± 1,45
Luminosidade (L*)	54,89 ± 0,79
Cromaticidade (C*)	28,01 ± 0,61
Ângulo Hue (h°)	112,45 ± 1,66
Produção de etileno ( $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) a 23°C	2,60 ± 0,35
Sólidos solúveis - SS (%)	4,29 ± 0,08
Acidez titulável - AT (g de ácido cítrico 100 g <sup>-1</sup> de polpa)	0,29 ± 0,01
Relação SS:AT	14,77 ± 0,63
Ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> de polpa)	20,70 ± 0,60
Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> polpa)	0,40 ± 0,09

Os valores indicam a média e o erro padrão de nove repetições que consistem de 10 tomates cada.

### **3.4. Etapa II – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora armazenados sob refrigeração (13°C)**

Os experimentos foram realizados de forma similar à primeira etapa. Entretanto, em cada colheita, foram selecionados 85 tomates com base nos parâmetros mencionados no item 3.2. Destes, foram usados 10 tomates para determinar a qualidade inicial e confirmar a homogeneidade da matéria-prima (Tabela 2) e os demais foram divididos em cinco grupos de 15 frutos. Cada grupo de tomates foi colocado em uma câmara (total de cinco), que foi selada, e submetido à pressão de 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa, por um determinado período, na temperatura de 13±1°C. A umidade relativa no interior das câmaras foi mantida a 95±2,5% (monitorada a cada 30 minutos com registrador de dados HOBO Prov2 U-23-001).

Foram estipulados dois períodos de permanência sob tratamento hiperbárico: 4 e 8 dias. Cada período foi repetido três vezes, num total de 6 colheitas no campo (2 períodos x 3 repetições).

Ao término de cada período de tratamento, as câmaras foram despressurizadas automaticamente durante 2h. Cinco frutos (unidade experimental) foram avaliados e os outros 10 frutos mantidos por mais 3 ou 6 dias em local com condição de ambiente ( $23\pm 1^\circ\text{C}$ , 88% UR, 100 kPa), quando foram analisados.

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC) com 5 tratamentos de pressão e 3 repetições (blocos), sendo que cada colheita foi considerada um bloco.

**Tabela 2.** Parâmetros iniciais de qualidade dos tomates cv. Débora utilizados na 2ª etapa.

Parâmetros	Valores
Firmeza (N)	45,15 ± 1,57
Luminosidade (L*)	53,85 ± 0,80
Cromaticidade (C*)	28,00 ± 0,82
Ângulo Hue (h°)	108,30 ± 2,20
Produção de etileno ( $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) a 23°C	1,38 ± 0,14
Sólidos solúveis - SS (%)	4,19 ± 0,08
Acidez titulável - AT (g de ácido cítrico 100 g <sup>-1</sup> de polpa)	0,39 ± 0,01
Relação SS:AT	10,84 ± 0,13
Ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> de polpa)	19,21 ± 0,42
Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> polpa)	0,55 ± 0,07

Os valores indicam a média e o erro padrão de seis repetições que consistem de 10 tomates cada.

### 3.5. Avaliações

**Perda de massa:** os tomates foram pesados usando uma balança eletrônica de 50 a 6000 g ± 2 g (Filizola, modelo BP6, São Paulo, Brasil) antes de serem colocados nas câmaras, estabelecendo esse valor como o peso inicial. Após cada período, tanto de tratamento hiperbárico quanto de condição de ambiente, os tomates foram pesados e a perda de massa foi calculada como sendo a diferença entre a massa inicial e a

massa final do produto, dividida pela massa inicial. A perda de massa foi expressa em porcentagem do valor inicial.

**Firmeza:** a firmeza foi medida utilizando-se penetrômetro digital de 5 a 200 N  $\pm$  1 N (Impac, Modelo IP-90DI, São Paulo, SP, Brasil), com ponteira de 8 mm. Foram avaliados 5 frutos de cada repetição, realizando-se a leitura em 2 pontos opostos na região equatorial, após a retirada da película dos frutos. A medida foi expressa como a força, em Newton (N), necessária para penetrar a polpa do tomate.

**Coloração da casca:** a coloração dos tomates foi medida utilizando um colorímetro portátil Minolta CR-400 (Minolta Corp, Tóquio, Japão) com iluminante padrão D<sub>65</sub>, um ângulo observador de 0° e calibrado com uma cor padrão (branco), usando o sistema CIELab obtendo a luminosidade (L\*) (0 = preto, 100 = branco), a cromaticidade (C\*) (0 a 60) e o ângulo Hue (h°) (0° = vermelho; 90° = amarelo; 180° = verde; 270° = azul). Foram avaliados 5 frutos de cada repetição, realizando-se 2 leituras por fruto em 2 pontos opostos, na região equatorial.

**Taxa respiratória:** as concentrações de CO<sub>2</sub> foram mensuradas ao longo do experimento. A taxa de respiração dos frutos foi calculada automaticamente em tempo real durante todo o período experimental conforme o descrito na seção 3.1; e expressa em mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

**Produção de etileno:** na primeira etapa a produção de etileno dos tomates foi determinada somente após a retirada dos frutos da condição de ambiente, enquanto que, na segunda etapa, foi determinada após tratamento hiperbárico e condição de ambiente. Cinco tomates foram colocados em recipiente plástico de 3,2 L, com tampa dotada de septo de borracha. Após 1h do fechamento, foram retiradas amostras de 500  $\mu$ L da composição gasosa interna dos recipientes (*head space*), usando seringa de cromatografia gasosa (SGE, Analytical Science). Foram realizadas três repetições por tratamento.

A amostra foi injetada em cromatógrafo a gás (Trace GC Ultra, Thermo Scientific) equipado com detector de ionização de chama (FID), coluna capilar



Porapack N, com 2 m de comprimento e regulada para 80°C, com hidrogênio como gás de arraste (35 mL min<sup>-1</sup>). As temperaturas de trabalho do aparelho foram de 110°C para a coluna, 250°C para o detector, 200°C para o injetor. Para calibrar o CG foi utilizado um padrão comercial com 1,0 Micromol Mol<sup>-1</sup> de etileno (White Martins, Brasil). A produção de etileno foi expressa em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

**Sólidos solúveis e acidez titulável:** o conteúdo de sólidos solúveis e da acidez titulável foram obtidos mediante análise em polpa homogeneizada dos tomates por um processador de alimentos portátil (Mondial Super Centrifuga Premium).

Os sólidos solúveis foram determinados em refratômetro manual digital (Atago Palette, PR-101), com intervalo de medição de 0 a 45%  $\pm$  0,1%, utilizando-se o líquido obtido da polpa triturada. Os resultados foram expressos em porcentagem.

A acidez titulável foi determinada em 10 gramas da polpa homogeneizada diluída em 50 mL de água destilada, pela titulação com solução padronizada de NaOH a 0,1N até o pH da solução atingir 8,1. O resultado foi expresso em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa.

**Ácido ascórbico:** foi doseado em 10 gramas de polpa triturada, adicionada de 70 mL de ácido oxálico a 0,5%, frio, que após agitação e filtração, teve seu volume completado para 100 mL com o mesmo reagente. A quantificação foi feita através de titulometria com solução de 2,6 dicloro-fenol-indofenol de sódio e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa (met 967.21 AOAC, 1997).

**Licopeno:** para determinar o conteúdo de licopeno foi utilizada a metodologia de Nagata e Yamashita (1992). Cada amostra de polpa de tomate foi macerada em N<sub>2</sub> líquido, transferida (2 g) para um tubo Falcon de 50 mL, adicionando-se a solução extratora a base de acetona P.A. (4 mL) e hexano P.A. (6 mL), homogeneizando-se em agitador tipo Vortex (Phoenix Luferco, modelo AP 56, Araraquara, Brasil). Depois de homogeneizado, foi retirado 4 mL da fase líquida e colocada em cubeta de quartzo para a leitura em espectrofotômetro UV-visível (Femto, 700 plus, São Paulo, Brasil) em 663 nm (clorofila a), 645 nm (clorofila b), 505 nm (licopeno), 453 nm ( $\beta$ -caroteno).

Para quantificar o conteúdo de licopeno foi utilizada a equação (2).

$$\text{Licopeno} = -0,0458 A_{663} + 0,204 A_{645} + 0,372 A_{505} - 0,0806 A_{453} \quad (2)$$

Em que  $A_{xxx}$  = absorvância no comprimento de onda especificado.

Os resultados foram expressados em mg 100 g<sup>-1</sup> de polpa.

**Atividade antioxidante total:** foi realizada pelo método de DPPH, proposto por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). A solução de DPPH foi preparada a 2x10<sup>-4</sup> g mL<sup>-1</sup> (0,0100 mg de DPPH em 50 mL de etanol a 99,8%). Para a extração, as amostras foram macerada em N<sub>2</sub> líquido, pesadas e diluídas em 10 mL de etanol a 99,8% em tubo para centrífuga, e centrifugadas a 2.000 x g por 10 min a 5°C. Alíquotas de 500 µL do sobrenadante foram combinadas com 3 mL de etanol P.A. Após a adição de 300 µL de DPPH 2x10<sup>-4</sup> g mL<sup>-1</sup>, homogeneização, os tubos de ensaios foram armazenados no escuro por 60 min. O controle negativo foi preparado com o DPPH a 0,3 mM em etanol para observar o decaimento do radical contra os antioxidantes doadores. A determinação foi realizada mediante leitura da absorvância a 517 nm e os resultados foram convertidos em porcentagem de atividade antioxidante (% DPPH reduzido = Abs branco – Abs amostra), expressos em µmol de Trolox equivalente por 100 g<sup>-1</sup> de polpa (µmol TEAC 100 g<sup>-1</sup> polpa).

**Polifenóis extraíveis totais:** a determinação foi realizada pelo método espectrofotométrico, utilizando o reativo de Folin-Ciocalteu (SINGLETON e ROSSI Jr., 1965). As amostras foram maceradas em N<sub>2</sub> líquido, foram pesados 2 g do material e colocadas em tubos de centrífuga, contendo acetona a 50%. Em seguida foram levados para banho ultrassônico por 20 min e, posteriormente, centrifugados a 6.000 x g durante 10 minutos, recuperando-se o sobrenadante. O precipitado foi reextraído e os sobrenadantes combinados. Alíquotas de 0,1 mL do sobrenadante foram transferidas para tubos de ensaio, juntamente com 0,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu e 2,5 mL de solução saturada de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Após 1 hora de reação (completa precipitação do carbonato) foi realizada a leitura em espectrofotômetro com absorvância a 725 nm. Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico por 100 g<sup>-1</sup> polpa (mg GAE 100g<sup>-1</sup>).

**Peroxidação de lipídeos:** foi determinada pelo método de Heath e Packer (1968). As amostras maseadas em N<sub>2</sub> líquido foram pesadas, adicionou-se 4 mL de tampão TCA (1% w/v), homogenizadas e filtradas em lã de vidro. Em seguida, foram centrifugadas a 10.000 x g por 10 min a 4°C. Do sobrenadante, pipetou-se 1 mL e transferiu-se para tubo de ensaio, adicionando-se 3 mL de ácido tiobarbitúrico 0,5% (p/v) em TCA 20% (p/v), incubando-se em banho-maria a 95°C por 60 min. Para parar a reação, os tubos foram mantidos por 10 minutos em banho de gelo. Na sequência foram centrifugados novamente por 10 minutos a 10.000 x g. O sobrenadante foi utilizado para realizar a leitura da absorbância, em espectrofotômetro, a 535 e 600 nm. Os resultados foram expressos em nmol de malondialdeído (MDA) 10 g<sup>-1</sup> de polpa.

**Atividade da Superóxido dismutase (SOD) (EC 1.15.1.1):** foi determinada, conforme Beauchamp e Fridovich (1971). A reação foi obtida combinando-se 50 µL de extrato enzimático, 2 mL de 50 mmol L<sup>-1</sup> de tampão fosfato de sódio pH 7,8, 450 µL µmol L<sup>-1</sup> da mistura de azul de tetrazólio (NBT) (33µmol L<sup>-1</sup>) e EDTA (0,66 mmol L<sup>-1</sup>) (5:4), 0,5 mL da mistura de L-metionina (5 mmol L<sup>-1</sup>) e riboflavina (1,65 mol L<sup>-1</sup>) (1:1), totalizando um volume de 3,0 mL. Após iluminação dos tubos, com lâmpadas fluorescentes de 20 W, por 20 minutos, a 25°C, a redução do NBT foi medida por leituras de absorbância, em espectrofotômetro, a 560 nm. A atividade da SOD foi expressa em U mg<sup>-1</sup> de proteína, em que “U” representa a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a razão de redução do NBT.

**Atividade da Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6):** foi determinada conforme Kar e Mishra (1976). A reação foi obtida combinando-se 150 µL de amostra extraída em tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100 mmol L<sup>-1</sup> (pH 7,5). Utilizou-se 1950 µL de tampão fosfato de potássio 100 mmol L<sup>-1</sup> (pH 7,5) como tampão de determinação, 150 µL de tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100 mmol L<sup>-1</sup> (pH 7,5), como tampão de extração e 750 µL solução de peróxido de hidrogênio 50 mM como substrato enzimático. As leituras foram feitas em espectrofotômetro com absorbância a 240 nm. A atividade enzimática foi expressa em µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consumido min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> de proteína.

**Atividade das Peroxidases (POD) (EC 1.11.1.7):** foi determinada conforme Lima, Brasil e Oliveira, (1999). O sistema de reação foi composto de 1 mL de extrato enzimático com 0,5 mL de 30% de peróxido de hidrogênio em tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,7) e 0,5 mL de solução de fenol e aminoantipirina. O sistema de reação foi colocado em banho-maria a 30°C durante 5 minutos. Adicionou-se 2 mL de álcool etílico absoluto para parar a reação e realizar a leitura em espectrofotômetro a 505 nm de absorvância. A atividade específica da peroxidase foi expressa em  $\mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  decomposto por  $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$  de proteína.

#### **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) usando o software Infostat, versão 2012 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). As médias foram comparadas pelo teste Tukey com 95% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ). Quando constatadas diferenças significativas, procedeu-se à análise de regressão.

#### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

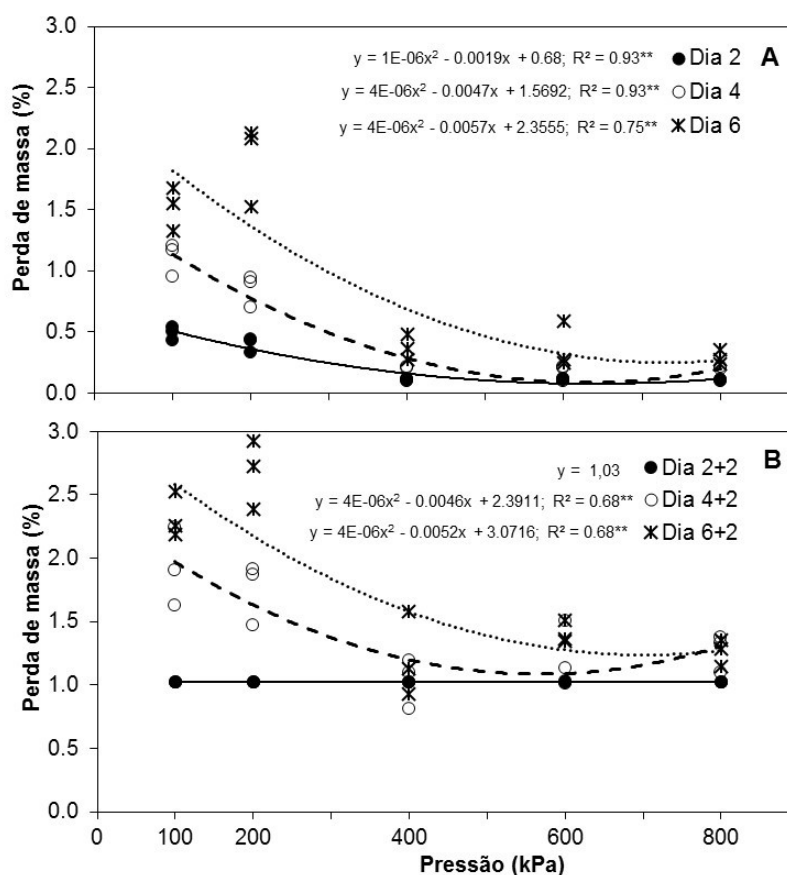
##### **5.1. Etapa I – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora à temperatura de ambiente (23°C)**

###### **Perda de massa**

Após os períodos de tratamento hiperbárico (2, 4 e 6) e de condição de ambiente (4+2 e 6+2), foram verificadas equações funcionais de segundo grau que relacionam a perda de massa dos tomates com a pressão aplicada (Figura 2A e 2B).

No 2º dia de tratamento, os tomates armazenados nas pressões de 400, 600 e 800 kPa apresentaram perdas médias de massa de 0,11%, sendo significativamente menores às obtidas pelos tratamentos, controle (0,49%) e 200 kPa (0,40%).

Resultados similares foram obtidos no dia 4, enquanto que no 6º dia a perda de massa dos tomates a 800 kPa foi 80% menor que a 100 kPa (controle), mas similar aos tratamentos 400 e 600 kPa (Figura 2A).



**Figura 2.** Relação entre a perda de massa de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Após a permanência à condição de ambiente 4+2 e 6+2, as tendências de perda de massa seguiram o mesmo padrão observado após os períodos de armazenamento hiperbárico (Figura 2B).

Os resultados obtidos desta pesquisa sugerem que a modificação da pressão atmosférica ao redor do produto, principalmente nas pressões de 400, 600 e 800 kPa foi eficaz na redução da perda de massa dos tomates cv. Débora.

Os tomates são muito suscetíveis à rápida perda de água, o que é determinado pela perda de massa; isto ocorre devido à epiderme fina que oferece pouca resistência à transferência de massa (GARCÍA et al., 2014). Em tomate cereja foram encontradas perdas de massa de até 10%, após 25 dias de armazenamento a 5°C e 80 a 85% UR (FAGUNDES et al., 2015a). Perdas de massa de 5 a 6% afetam negativamente a aparência, textura e peso comercial de tomates (KANTOLA e HELÉN, 2001).

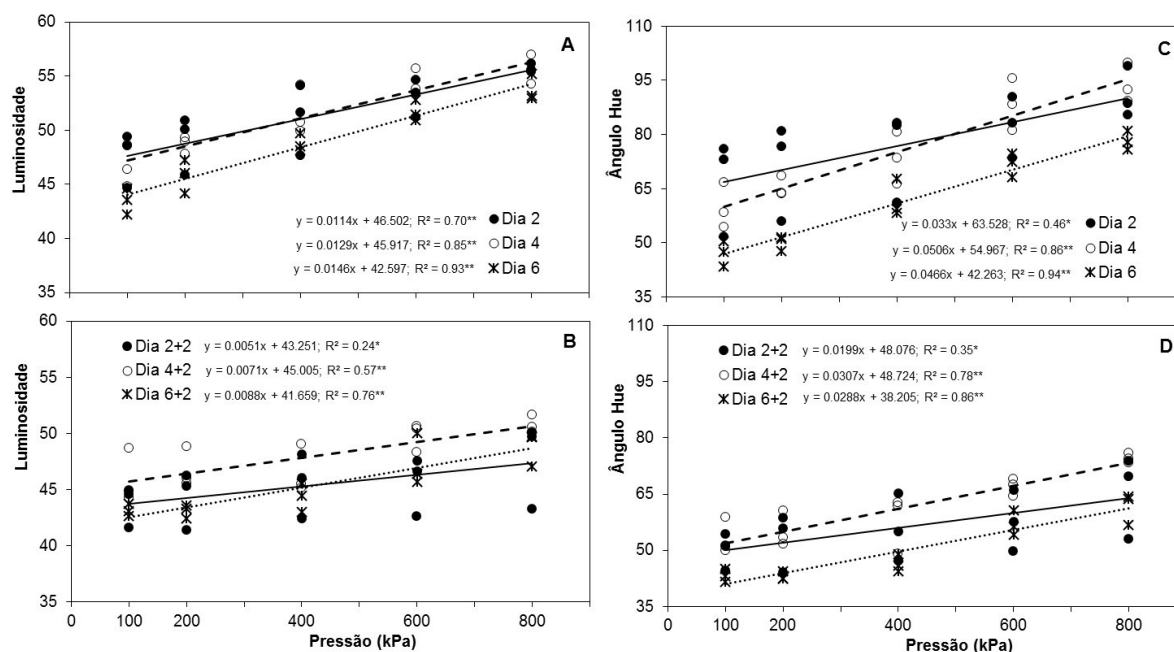
A modificação da pressão atmosférica é um dos principais fatores que influenciam na pressão de vapor do ambiente. A velocidade de perda de água de um vegetal fresco é controlada principalmente pela diferença entre a pressão de vapor do ar úmido nos espaços intercelulares do tecido vegetal e do ar que o circunda. Assim, uma diferença menor na pressão de vapor entre o ar do produto e o ar ambiente, tem como resultado uma menor perda de água do vegetal (KADER, 2002). Isto explica as maiores perdas de massa verificadas no tratamento controle, quando comparada aos tratamentos sob atmosfera hiperbárica.

### **Coloração**

Após os períodos de tratamento hiperbárico (2, 4 e 6) e de condição de ambiente (2+2, 4+2 e 6+2), foi observada uma relação diretamente proporcional ( $P < 0,01$ ) entre a luminosidade, ângulo Hue dos tomates cv. Débora; e a pressão aplicada (Figura 3A, 3B, 3C e 3D). Durante todo o armazenamento, os tomates do controle apresentaram valores menores de luminosidade e ângulo Hue em relação aos tomates pressurizados. Enquanto que, a cromaticidade dos tomates não foi influenciada pelas pressões hiperbáricas, verificando-se valores médios de 28,33, 29,19, 30,64, 31,41, 32,19 e 32,72, nos dias 2, 4, 6, 2+2, 4+2 e 6+2, respectivamente.

A coloração da casca é a característica externa mais importante para determinar o grau de amadurecimento de tomates (BATU, 2004; KIM et al., 2015). Tomates com médias baixas de luminosidade e de ângulo Hue indicam uma coloração mais avermelhada e escura, ou seja, mais maduros. Enquanto que, a cromaticidade não é um bom indicador do amadurecimento de tomates, pois durante o amadurecimento os tomates apresentam diferentes cores simultaneamente, devido a processos como a degradação da clorofila e a síntese de carotenoides (LÓPEZ CAMELO e GÓMEZ, 2004). Os resultados obtidos neste experimento indicam que as

pressões hiperbáricas apresentaram efeito inibitório no desenvolvimento da cor vermelha dos tomates cv. Débora.



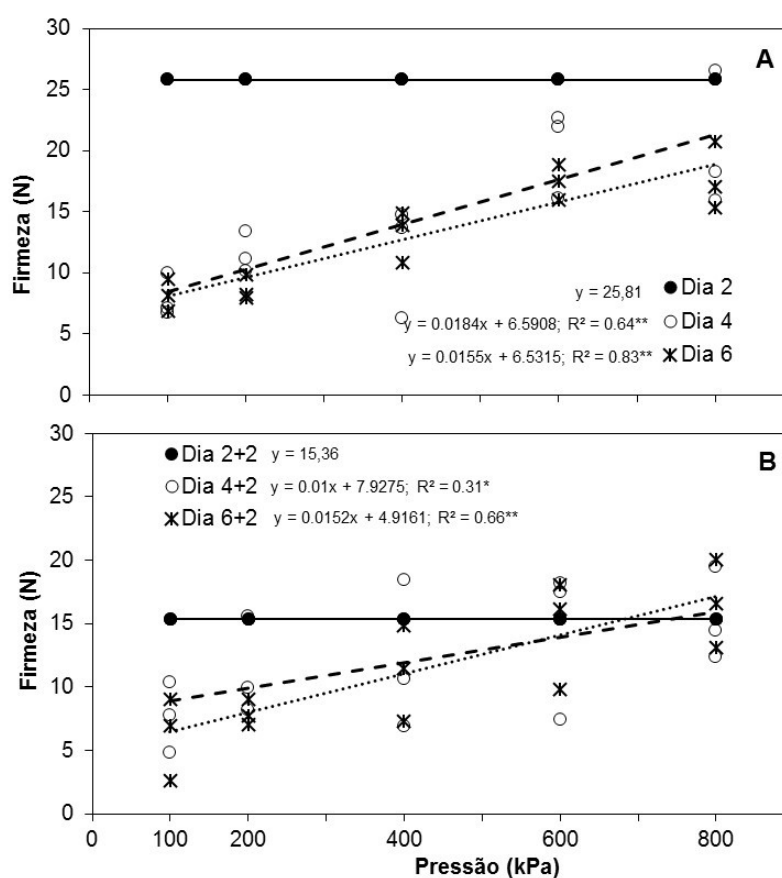
**Figura 3.** Relação entre a luminosidade e o ângulo Hue de tomates cv. Débora com a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A e C) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B e D). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

## Firmeza

Após os períodos de tratamento hiperbárico (4 e 6 dias) e de condição de ambiente (4+2 e 6+2), foi observada uma tendência diretamente proporcional entre a firmeza dos tomates cv. Débora e a pressão aplicada (Figura 4A e 4B).

No 2º dia de armazenamento, não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) que relacionara as variáveis em questão. No entanto, os tomates apresentaram uma redução média de 27% (Figura 4A) em comparação aos valores iniciais ( $35,21 \pm 1,45$  N). Após 4 dias, os tomates tratados a 800 kPa apresentaram a firmeza cerca de 61% superior à dos tomates do controle (100 kPa). Uma tendência similar foi observada no 6º dia, onde os frutos nas pressões de 600 e 800 kPa apresentaram maior firmeza (média de 17,60 N), enquanto que os tomates do controle e de 200 kPa apresentaram 8,15 e 8,68 N, respectivamente.

A manutenção da firmeza nas frutas e hortaliças depende, principalmente, de fatores como a turgescência dos tecidos e a degradação da parede celular, desencadeados pelo amadurecimento (FAGUNDES et al., 2015a). Neste experimento verificou-se que a diferença de firmeza dos tomates está relacionada com ambos fatores, pois os tomates mais firmes apresentaram menor perda de massa (maior turgescência) (Figura 2) e coloração menos vermelha (Figura 3).



**Figura 4.** Relação entre a firmeza de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Em tomates cereja com revestimentos antifúngicos e armazenados por 21 dias a 5°C, 90 a 95% UR, a maior firmeza foi observada naqueles frutos que apresentaram menor perda de água (FAGUNDES et al., 2015b). Resultados similares foram verificados em mirtilos armazenados durante três semanas a 4°C, sendo que a perda



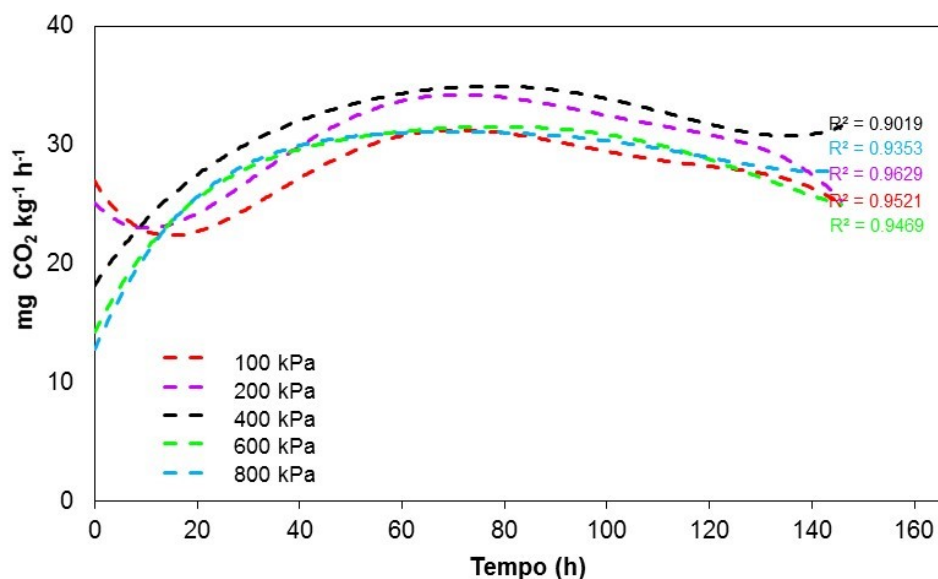
de água na pós-colheita foi o fator que mais influenciou na perda de firmeza dos frutos (PANIAGUA et al., 2013).

Após o armazenamento na condição de ambiente, as tendências verificadas entre a firmeza dos tomates e a pressão aplicada, foram similares às observadas após os períodos de armazenamento hiperbárico (Figura 4B). No dia 2+2 não foi verificada uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) entre a firmeza dos tomates e a pressão aplicada; enquanto que no dia 4+2 e 6+2, foi observada uma relação linear entre ambas variáveis.

A firmeza é um atributo de importância primordial na determinação da qualidade de tomates, pois afeta a suscetibilidade dos frutos ao dano físico e, conseqüentemente, sua aptidão para a comercialização. Estudos demonstram que o tomate precisa de uma firmeza mínima de 6,86 N para ser comercializado *in natura* (GORMLEY e EGAN, 1978). Com base neste parâmetro, pode-se afirmar que os tomates 'Débora' armazenados sob as pressões de 200, 400, 600 e 800 kPa à temperatura de 23°C, apresentaram ótima firmeza para comercialização após 8 dias à colheita (6 dias no tratamento hiperbárico + 2 dias a pressão de 100 kPa), enquanto que os tomates do controle estavam em condições de comercialização por apenas 6 dias no tratamento hiperbárico (Figura 4B).

### **Taxa respiratória (TR)**

Nas primeiras 15 horas de armazenamento, os tratamentos influenciaram de maneira diferente as taxas respiratórias dos tomates (Figura 5). Os frutos armazenados a 100 e 200 kPa apresentaram taxas respiratórias médias de 24 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto que os submetidos às maiores pressões (400, 600 e 800 kPa) apresentaram TR inicial média de 14 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, igualando às taxas dos tratamentos 100 e 200 kPa na 15ª hora de tratamento.



**Figura 5.** Taxa respiratória em tempo real de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 6 dias a 23°C e 95% UR

Isto pode-se atribuir à diluição do CO<sub>2</sub> nos recipientes que continham os frutos e à solubilização do CO<sub>2</sub> no interior dos frutos, produto do incremento das pressões parciais dos gases do ar no interior das câmaras hiperbáricas (GOYETTE et al., 2012a). Provavelmente, o CO<sub>2</sub> gerado na respiração do produto tenha sido solubilizado na polpa até alcançar a pressão parcial do CO<sub>2</sub> do ar que o circunda. Posteriormente, o CO<sub>2</sub> foi diluído no interior da câmara hiperbárica, ocasionando um aumento da pressão parcial do CO<sub>2</sub> do ar que circunda o produto com consequente aumento da concentração do CO<sub>2</sub> no interior da câmara. Este processo de diluição e solubilização é contínuo, e se estabiliza somente quando a quantidade de CO<sub>2</sub> que sai da câmara para o analisador de gases se torna igual à gerada pela taxa respiratória dos tomates (LIPLAP, et al., 2014a).

Após as 15 horas de tratamento, as taxas respiratórias de todos os tomates aumentaram progressivamente, alcançando o equilíbrio aproximadamente na 60ª hora. A partir desse momento e até o final do experimento, foram verificadas maiores taxas respiratórias nos tomates tratados com 200 e 400 kPa, em relação às do controle, 600 e 800 kPa.

A pressão não foi eficiente na diminuição da taxa respiratória de tomates cv. Débora, pois os tratamentos pressurizados não mostraram redução alguma em relação ao controle.

Resultados similares foram previamente descritos para tomates submetidos a diferentes pressões à temperatura de 20°C (LIPLAP et al., 2013a), no entanto, em tomates armazenados sob pressões hiperbáricas por 5, 10 e 15 dias a 13°C foi encontrada uma redução na taxa respiratória de 22, 20, 16 e 11% quando os frutos foram tratados com 900, 700, 500 e 300 kPa, respectivamente (GOYETTE et al., 2012b).

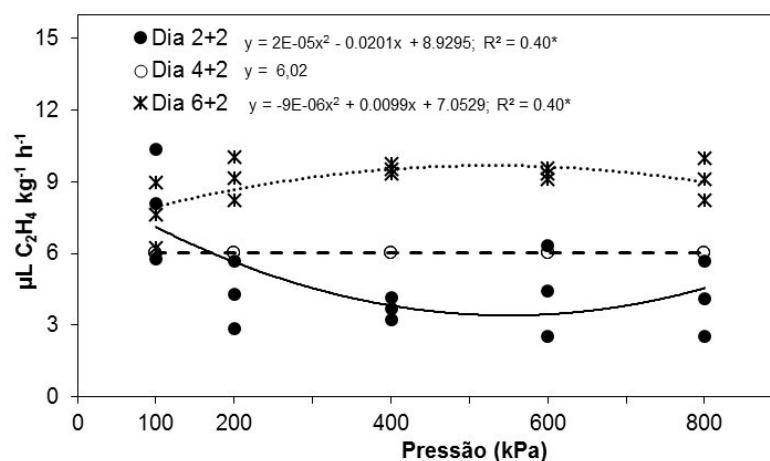
Comparando os resultados obtidos neste experimento com os de Goyette et al. (2012b) e Liplap et al. (2013a), pode-se especular que existe um possível sinergismo entre as temperaturas de refrigeração e as pressões hiperbáricas na redução da taxa respiratória. No entanto, atualmente as informações publicadas do efeito de atmosferas hiperbáricas no metabolismo das frutas e hortaliças são limitadas, por isto recomenda-se uma maior investigação.

## **Etileno**

Nos dias 2+2 e 6+2 foi observada uma relação funcional significativa ( $P < 0,05$ ) entre a produção de etileno dos tomates cv. Débora e a pressão aplicada, (Figura 6). Enquanto que, no dia 4+2 não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) para as variáveis em questão; apresentando os tomates uma produção média de etileno de  $6 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

No dia 2+2 os tomates do controle apresentaram a maior produção de etileno ( $8 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) em relação aos tomates pressurizados. Enquanto que, no dia 6+2 os tomates nas pressões de 400, 600 e 800 kPa apresentaram produção levemente superior à apresentada pelos tomates do controle.

O etileno é o principal hormônio que inicia e controla o climatério e amadurecimento (ZHU et al., 2015). A maioria das cultivares de tomate apresentam um comportamento climatérico, o que significa que, qualquer aumento significativo na taxa respiratória e produção de etileno estimula o amadurecimento dos frutos, eleva as perdas e diminui a qualidade pós-colheita dos produtos armazenados (GUO, et al., 2014).

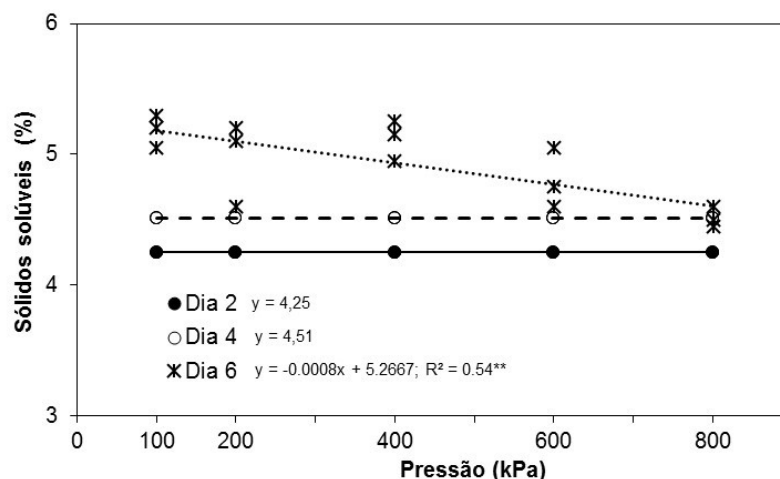


**Figura 6.** Relação entre a produção de etileno de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR, seguido de 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa. \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Os resultados obtidos neste experimento apontam que os tomates do controle alcançaram o climatério no dia 2+2, enquanto que os pressurizados no dia 6+2. Isto pode-se interpretar como um atraso no amadurecimento dos frutos pressurizados em relação aos frutos do controle; pois além de expressar o climatério mais tardio (Figura 6) também apresentaram coloração menos avermelhada (Figura 3), e maior firmeza (Figura 4)

### Sólidos solúveis (SS)

Após 6 dias de pressão hiperbárica, os tomates armazenados a 800 kPa apresentaram teor de SS, 13% menor ao obtido pelos tomates do controle (Figura 7). Enquanto que após à condição de ambiente não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) entre o conteúdo de SS dos tomates e a pressão aplicada. Após a retirada do ambiente, as médias de SS foram de 4,38, 4,67 e 4,91, nos dias 2+2, 4+2 e 6+2, respectivamente.



**Figura 7.** Relação entre os sólidos solúveis de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR. \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

O menor conteúdo de SS dos tomates submetidos às atmosferas hiperbáricas no dia 6, é indicativo da lenta conversão de carboidratos complexos a açúcares simples, ocasionado pela maior pressão aplicada (LIPLAP, et al., 2013a). Nota-se que, após permanecerem ao ambiente por mais 2 dias, o conteúdo de SS dos tomates, armazenados por 6 dias, nas atmosferas hiperbáricas não diferiram significativamente dos frutos do controle. Levando-se em consideração que o incremento no conteúdo de SS na pós-colheita de tomates está relacionado com o avanço do processo de amadurecimento dos frutos, pode-se dizer que houve influência da pressão aplicada no conteúdo de SS dos tomates durante o tratamento hiperbárico por 6 dias, indicando um atraso no amadurecimento; porém, ao transferir os tomates para o ambiente, estes amadureceram normalmente.

A quantidade e o tipo de açúcares são componentes importantes da qualidade pós-colheita dos tomates, afetando o sabor e a qualidade geral do fruto tanto para sua comercialização *in natura* quanto para industrialização. Esses fatores são dependentes da interação de fatores genéticos, agronômicos, climáticos e de manejo pós-colheita (BECKLES, 2012).

### Acidez titulável (AT)

A acidez titulável (AT) dos tomates cv. Débora não foi afetada significativamente ( $P>0,05$ ) pelas pressões hiperbáricas nos dois períodos avaliados (tratamento hiperbárico e condição de ambiente) (Tabela 3). No último dia de avaliação (6+2) o conteúdo médio de AT foi 14% menor (0,25 g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> polpa) em relação ao inicial (0,29 g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> polpa).

**Tabela 3.** Acidez titulável (AT) e relação SS:AT de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR, e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa

Parâmetro	Tratamento	Dias de armazenamento					
		Pressão			Pressão + Ambiente		
		2	4	6	2+2	4+2	6+2
AT (g ácido cítrico 100 g <sup>-1</sup> polpa)	100 kPa	0,30 Aa*	0,31 Aa	0,26 Aa	0,26 Aa	0,26 Aa	0,25 Aa
	200 kPa	0,29 Aa	0,28 Aa	0,24 Aa	0,26 Aa	0,24 Aa	0,25 Aa
	400 kPa	0,29 Aa	0,26 Aa	0,26 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa
	600 kPa	0,27 Aa	0,26 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa	0,24 Aa	0,23 Aa
	800 kPa	0,25 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa	0,24 Aa	0,24 Aa	0,25 Aa
	C.V (%)	10,70	9,29	7,36	6,98	7,14	9,72
	Relação SS:AT	100 kPa	14,60 Ab	15,06 Ab	20,00 Aa	17,12 Ab	18,80 Aab
	200 kPa	14,72 Aa	16,79 Aa	20,71 Aa	17,19 Aa	19,29 Aa	19,32 Aa
	400 kPa	15,00 Ab	17,42 Aab	19,88 Aa	17,80 Aa	18,82 Aa	19,48 Aa
	600 kPa	15,19 Aa	16,54 Aa	19,32 Aa	17,28 Aa	19,22 Aa	20,87 Aa
	800 kPa	16,60 Aa	17,88 Aa	18,12 Aa	17,58 Aa	18,89 Aa	20,40 Aa
	C.V (%)	8,20	6,80	6,58	5,27	4,42	9,98

\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nos distintos parâmetros (AT e SS:AT *ratio*) e condições de armazenamento (pressão e pressão + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

A acidez no tomate indica a quantidade de ácidos orgânicos presente no fruto (FERREIRA et al., 2010). Uma redução da acidez durante a pós-colheita de tomate, está relacionada com um maior consumo dos ácidos orgânicos no processo respiratório e/ou com a conversão de ácidos em açúcares na glicogênese, o que está associado a um maior amadurecimento dos frutos. Os resultados de acidez obtidos neste trabalho têm relação com as taxas respiratórias encontradas, pois os

tratamentos sob pressão não apresentaram vantagem quanto às taxas respiratórias em relação ao controle, conseqüentemente os valores de acidez seguiram uma tendência similar.

### **Relação SS:AT**

A relação SS:AT (*ratio*) dos tomates cv. Débora não foi afetada significativamente ( $P>0,05$ ) pelas pressões hiperbáricas (Tabela 3). Isto é explicado pela pouca variação verificada no conteúdo de SS e a ausência de diferenças significativas nas médias de AT.

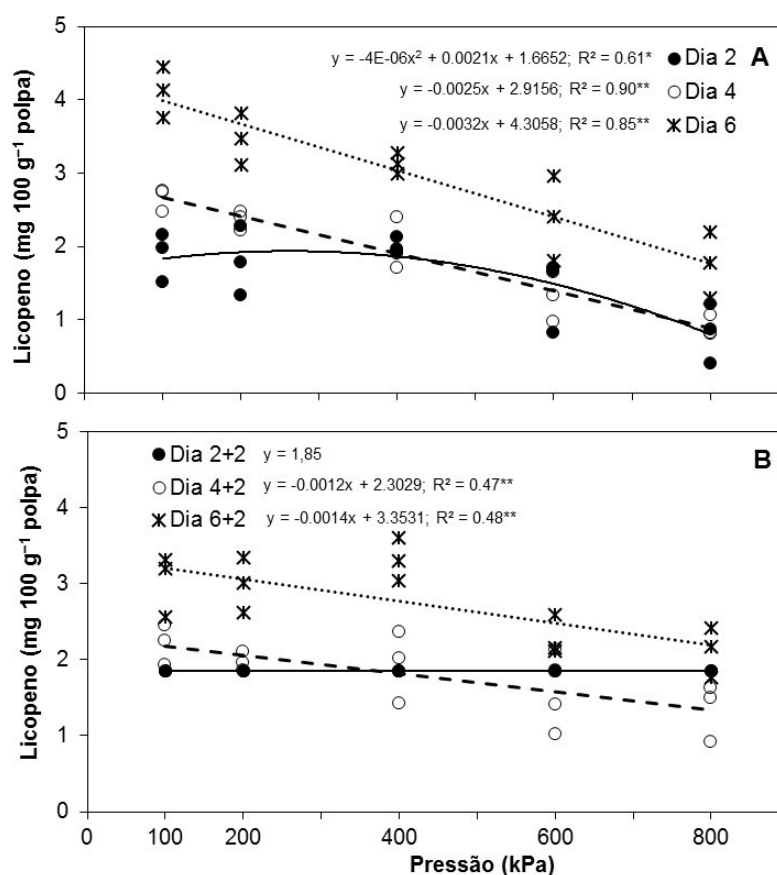
No 2º dia os tomates de todos os tratamentos apresentaram em média uma relação SS:AT de 15,30, enquanto que no final da condição em ambiente (6+2) a relação média foi de 19,81.

Os açúcares e ácidos orgânicos compreendem a maior parte do teor de matéria seca total em tomates (MALUNDO; SHEWFELT; SCOTT, 1995). O *ratio* determina o equilíbrio entre os açúcares e os ácidos no fruto, e tem influência na aceitação do produto pelo consumidor. Assim, baixas quantidade de açúcares e altas de ácidos refletirão em gosto ácido, enquanto que o inverso dará ao produto um gosto mais adocicado. Quando os açúcares e ácidos são baixos, o resultado é um tomate insípido (KADER, 1986; SCHOUTEN; WOLTERING; TIJSKENS, 2016). Esta relação é também atribuída à maturação de alguns vegetais, visto que valores baixos de *ratio* denotam a predominância da acidez sobre os açúcares, característica de frutos imaturos.

A tendência dos tomates de todos os tratamentos foi de aumentar o *ratio* durante o armazenamento, resultado do amadurecimento dos frutos. Segundo Beckles (2012) um tomate para consumo *in natura* possui um sabor desejável, quando o *ratio* tem valores iguais ou superiores a 12,5. Neste trabalho, todos os tratamentos apresentaram frutos com relação SS:AT maior ao valor sugerido, o que indica que os tomates apresentaram uma excelente combinação de açúcar e ácido, refletindo em uma boa qualidade.

## Licopeno

Após os períodos de tratamento hiperbárico e de condição de ambiente (4+2 e 6+2), foram observadas diferentes equações que relacionam o conteúdo de licopeno dos tomates com a pressão aplicada. Verifica-se que os tomates submetidos às atmosferas hiperbáricas apresentaram o conteúdo de licopeno menor ao obtido pelos tomates do controle (Figura 8A e 8B).



**Figura 8.** Relação entre o conteúdo de licopeno de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

No 4° e 6° dia, houve uma relação inversamente proporcional ( $P < 0,01$ ), entre o conteúdo de licopeno dos tomates e a pressão aplicada; sendo que, os tomates na maior pressão (800 kPa) apresentaram o conteúdo de licopeno 66 e 57% menor em relação aos frutos controle (Figura 8A).



Estes resultados indicam que a pressão hiperbárica influenciou na desaceleração dos processos de maturação, que culminam em aumento de licopeno nos tomates, mesmo mantidos em temperatura ótima para a síntese deste composto (16 a 26°C) (TÜRK et al., 1993).

Após o armazenamento ao ambiente (4+2 e 6+2) foi verificada uma tendência similar à observada após o tratamento hiperbárico, sendo que os tomates a 800 kPa apresentaram 39 e 30% menos licopeno em relação aos do controle, respectivamente (Figura 8B).

O processo de maturação dos tomates está associado com a mudança na coloração de verde para vermelho, resultado da degradação das clorofilas e principalmente da síntese de carotenoides (licopeno e  $\beta$ -caroteno) (SMITA et al., 2013; SU et al., 2015). Conforme registros de Tohge, Alseekh, e Fernie (2014), a quantidade de carotenoides pode aumentar de 10 a 14 vezes em tomates, durante o amadurecimento, sendo o licopeno considerado o carotenoide mais abundante e o responsável pela cor vermelha dos tomates amadurecidos (BRANDT et al., 2006; DEL GIUDICE et al., 2015).

Tomates armazenados a 13°C e submetidos a diferentes níveis de pressão hiperbárica durante 5, 10 e 15 dias, mostraram atraso na síntese de licopeno quando comparados com os frutos controle. Entretanto, após a retirada destes tomates da condição hiperbárica para completarem o amadurecimento à temperatura de 20°C durante 12 dias, foi constatado um aumento significativo no teor de licopeno dos frutos tratados, em relação aos frutos a pressão ambiente (GOYETTE, 2010). Resultados similares foram obtidos por Liplap et al. (2013b) ao armazenar tomates sob condições hiperbáricas durante 4 dias a 20°C e em pressão ambiente durante 10 dias para completarem o amadurecimento.

Em nosso caso, não foi observado o aumento no conteúdo de licopeno nos tomates sob atmosfera hiperbárica. Provavelmente os dois dias na condição de ambiente não foram suficientes para a evolução completa da coloração, como aconteceu nos experimentos de Goyette (2010) e de Liplap et al. (2013b). Além disso, pode-se atribuir à influência de fatores pré-colheita como a cultivar utilizada, temperatura de produção, luminosidade, tipo de solo e nutrição vegetal (MATTIUZ, 2007). Portanto, a resposta dos tomates às pressões hiperbáricas pode estar

relacionada com um estresse específico gerado pela pressão, o que daria origem a respostas biológicas como a síntese de carotenoides.

### Ácido ascórbico

Com exceção do 4º dia de tratamento hiperbárico, não houve diferença entre os dias de armazenamento (tratamento hiperbárico e ambiente) para o conteúdo de ácido ascórbico (AA) (Tabela 4). Comparando ao valor inicial (20,70 mg AA 100 g<sup>-1</sup> polpa), houve redução média de 24% no conteúdo, já nos primeiros 2 dias de tratamento hiperbárico. Aos 4 dias de tratamento, os tomates tratados com 600 e 800 kPa apresentaram o conteúdo de AA 15% maior ao dos tomates do controle, porém não diferiram significativamente dos demais tratamentos (média de 19,60 mg AA 100 g<sup>-1</sup> polpa). No entanto, esse aumento não foi verificado no 6º dia, cujos tomates apresentaram um conteúdo médio de 20,04 mg AA 100 g<sup>-1</sup> polpa e sem diferenças significativas entre os tratamentos.

Quando os tomates foram colocados na condição de ambiente (23°C e 100 kPa) por mais dois dias, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos nos dias 2+2, 4+2 e 6+2, apresentando médias de 17,50, 19,71 e 20,1 mg AA 100g<sup>-1</sup> polpa, respectivamente (Tabela 4).

**Tabela 4.** Conteúdo de ácido ascórbico (mg 100 g<sup>-1</sup> polpa) de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR, e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa

Tratamento	Dias de armazenamento					
	Pressão			Pressão + Ambiente		
	2	4	6	2+2	4+2	6+2
100 kPa	15,18 Ac*	17,53 Bb	20,51 Aa	17,75 Aa	20,45 Aa	20,59 Aa
200 kPa	15,10 Ab	19,62 ABa	20,16 Aa	17,92 Ab	18,98 Aa	17,99 Ab
400 kPa	16,52 Aa	19,58 ABa	20,06 Aa	17,38 Aa	19,13 Aa	19,93 Aa
600 kPa	15,70 Aa	19,97 Aa	20,03 Aa	18,39 Aa	19,53 Aa	20,67 Aa
800 kPa	16,62 Aa	20,42 Aa	19,44 Aa	16,06 Ab	20,48 Aab	21,72 Aa
C. V. (%)	6,32	4,00	5,18	8,38	6,48	9,04

\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nas condições de armazenamento (pressão e pressão + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

O ácido ascórbico é um composto antioxidante que tem importante papel na supressão dos radicais livres (GILL e TUTEJA, 2010; KAUR et al., 2013), com capacidade de doar elétrons a uma ampla gama de reações enzimáticas e não enzimáticas (DAS e ROYCHOUDHURY, 2014). Por isso, seu metabolismo está associado com a defesa ao estresse oxidativo (TSANIKLIDIS et al., 2014).

Assim, como outros parâmetros avaliados, esse composto em frutas e hortaliças pode ser influenciado por vários fatores, tais como diferenças genotípicas, condições climáticas pré-colheita e práticas culturais, métodos de maturação e colheita, e manejo pós-colheita (LEE e KADER, 2000).

Nesta pesquisa, foi verificado o aumento do conteúdo de AA com o amadurecimento dos tomates. No entanto, as pressões hiperbáricas não alteraram o conteúdo desse ácido (Tabela 4). De forma similar, Liplap et al. (2013b) verificaram que tomates armazenados durante 4 dias sob pressões de 300, 500, 700 e 900 kPa a 20°C, e mantidos por mais 10 dias em condições de temperatura e pressão de ambiente (20°C e 100 kPa), aumentaram o conteúdo de AA em 26% durante o amadurecimento. No entanto, estes autores relatam que não foi observado efeito significativo das pressões hiperbáricas sobre o conteúdo de AA quando comparado aos tomates não tratados.

### **Polifenóis extraíveis totais**

Não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) no conteúdo de polifenóis dos tomates durante as duas condições de armazenamento (tratamento hiperbárico e nas condições de ambiente) (Tabela 5). No entanto, os tomates apresentaram um incremento médio de 33% no conteúdo de polifenóis totais do 2° para o 6° dia de armazenamento hiperbárico. Este incremento não foi verificado durante a condição ambiente que obtiveram valores médios de 9,33 mg GAE 100 g<sup>-1</sup> polpa.

Os fatores abióticos como luz, temperatura e radiações ionizantes podem induzir um aumento no conteúdo de polifenóis nos vegetais, devido ao estresse gerado (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010). Tratamentos de 6,08 kJ m<sup>-2</sup> de luz UV-B durante 10 a 18 dias, induziram o aumento de 32% nos compostos fenólicos da casca de tomates frescos (CASTAGNA, et al., 2014). Esse efeito foi verificado previamente

por Liu et al. (2011) ao tratar tomates com 20 e 40 kJ m<sup>-2</sup> de luz UV-B durante 14, 21, 28 e 37 dias (período de amadurecimento). No entanto, apesar de existirem evidências que os tratamentos físicos de pré e pós-colheita podem influenciar o aumento do conteúdo fenólico dos vegetais, esse efeito não foi observado, nesta pesquisa, com o emprego das pressões hiperbáricas em tomates da cv. Débora (Tabela 5).

**Tabela 5.** Conteúdo de polifenóis extraíveis totais (mg GAE 100 g<sup>-1</sup> polpa) de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR, e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa

Tratamento	Dias de armazenamento					
	Pressão			Pressão + Ambiente		
	2	4	6	2+2	4+2	6+2
100 kPa	7,72 Ab*	7,82 Ab	10,00 Aa	9,63 Aab	8,22 Ab	9,92 Aa
200 kPa	7,51 Ab	8,04 Ab	9,96 Aa	8,95 Aa	8,53 Aa	10,02 Aa
400 kPa	7,61 Ab	7,80 Ab	10,01 Aa	9,30 Aa	8,45 Aa	9,22 Aa
600 kPa	7,43 Ab	8,40 Ab	10,65 Aa	10,22 Aa	9,00 Aa	10,05 Aa
800 kPa	8,11 Ab	8,70 Aab	10,30 Aa	9,80 Aa	9,16 Aa	9,47 Aa
C. V. (%)	7,77	6,63	4,20	6,53	6,78	4,61

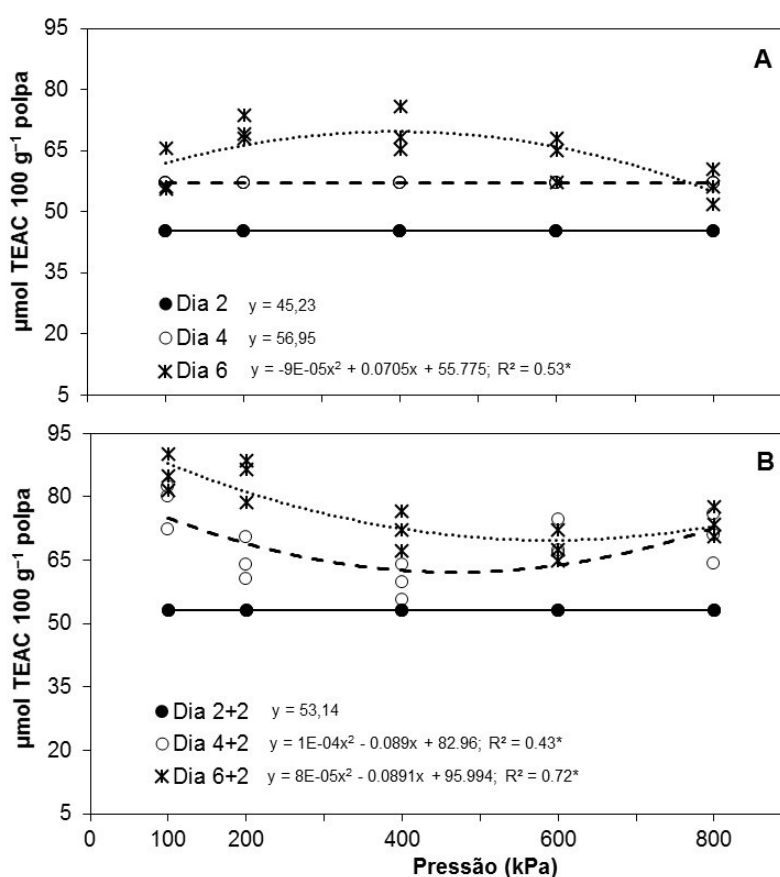
\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nas condições de armazenamento (pressão e pressão + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

### Atividade antioxidante total

Após o períodos de tratamento hiperbárico (6) e de condição de ambiente (4+2 e 6+2), foram observadas diferentes equações que relacionam a atividade antioxidante ( $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$  polpa) dos tomates com a pressão aplicada (Figura 9A e 9B). No 6° dia houve tendência de aumento do conteúdo antioxidante dos tomates com o aumento da pressão, até 400 kPa. Os tomates tratados com 400 kPa apresentaram conteúdo antioxidante 18% maior do que o controle, após 6 dias de armazenamento.

No entanto, quando os frutos foram colocados em condição de ambiente, mostraram uma tendência diferente à anterior, pois nos dias 4+2 e 6+2 os tomates do tratamento controle e de 200 kPa apresentaram a maior atividade antioxidante (Figura 9B).

Por outro lado, no final do armazenamento (6+2), a atividade antioxidante dos tomates aumentou em média 86% em relação ao conteúdo inicial (41,28  $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$  polpa) o que evidencia um aumento da atividade antioxidante conforme aumenta o amadurecimento dos tomates. Neste sentido, a maior atividade antioxidante ao final do experimento pode estar relacionada com o maior conteúdo de licopeno, de ácido ascórbico e de polifenóis registrados. Estes compostos são os antioxidantes majoritários nos tomates (LUNA-GUEVARA et al., 2014), possuindo uma relação direta com a atividade antioxidante total encontrada neste trabalho.



**Figura 9.** Relação entre a capacidade antioxidante de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

## Peroxidação de lipídeos

A peroxidação de lipídeos expressa pelo conteúdo de malondialdeído (MDA) dos tomates da cv. Débora não foi influenciada pelas pressões aplicadas, mas pelo tempo de armazenamento (Tabela 6). Entre o 2° e 6° dia de armazenamento hiperbárico houve um incremento médio de 37% no conteúdo de MDA dos tomates; enquanto que o conteúdo no final do armazenamento (6+2) foi 27% maior em relação ao inicial (5,95 nMol MDA 10 g<sup>-1</sup> polpa).

O estresse oxidativo é fator central em fenômenos de estresses bióticos e abióticos, e ocorre quando há desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) e de defesa antioxidante, em qualquer compartimento da célula (FOYER e NOCTOR, 2000). O estresse oxidativo pode ser medido mediante a peroxidação dos lipídeos; um processo que é iniciado pela reação de um radical livre com um ácido graxo insaturado e propagado por radicais peroxilas; resultando na formação de hidroperóxidos lipídicos e aldeídos, tais como o malondialdeído, 4-hidroxinonenal e isoprostanos (LIMA e ABDALLA, 2001). Este processo pode ocorrer em todos os organismos vivos, e pode desencadear lesões nas células (GILL e TUTEJA, 2010), alterando as membranas e levando a transtornos de permeabilidade e de morte celular.

**Tabela 6.** Peroxidação de lipídeos (nMol de malondialdeído 10 g<sup>-1</sup> polpa) de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR, e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa

Tratamento	Dias de armazenamento					
	Pressão			Pressão + Ambiente		
	2	4	6	2+2	4+2	6+2
100 kPa	5,19 Ab*	5,69 Ab	7,64 Aa	6,67 Ab	6,00 Ab	7,81 Aa
200 kPa	5,32 Ab	6,17 Ab	7,26 Aa	6,53 Ab	6,44 Ab	8,11 Aa
400 kPa	5,20 Ab	5,74 Aab	7,03 Aa	6,67 Ab	6,34 Ab	7,48 Aa
600 kPa	4,78 Ab	6,02 Aa	6,91 Aa	6,63 Aab	6,33 Ab	7,57 Aa
800 kPa	5,49 Ab	6,70 Aa	6,66 Aa	6,14 Aa	6,43 Aa	7,01 Aa
C.V. (%)	5,55	8,57	6,06	4,61	5,02	5,81

\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nas condições de armazenamento (pressão e pressão + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Conforme o relatado por Kou et al. (2016), tomates armazenados a 20°C sob tratamentos hipobáricos (40 e 70 kPa) apresentam um conteúdo de MDA ligeiramente menor ao apresentado pelo controle (100 kPa) aos 12 dias de armazenamento. No entanto, após 24 dias, os tomates tratados apresentaram um conteúdo de MDA 53% menor ao verificado nos tomates do controle.

A influência das pressões hiperbáricas sobre o conteúdo de MDA não está clara e na literatura não há relatos do efeito de tratamentos hiperbáricos sobre o conteúdo de MDA em frutas e hortaliças frescas. No entanto, o conteúdo de MDA dos tomates tratados com 600 e 800 kPa no 6º dia de armazenamento hiperbárico foi inferior em 10 e 13%, respectivamente, ao dos tomates controle (Tabela 6). Mostrando tendência de menor peroxidação de lipídeos.

### Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD)

A atividade enzimática da SOD foi influenciada pelo tempo de armazenamento, ocorrendo decréscimo da atividade nas condições de armazenamento hiperbárico e de ambiente (Tabela 7), contrariamente ao observado para o conteúdo de MDA dos tomates (Tabela 6).

**Tabela 7.** Atividade da enzima superóxido dismutase (U mg proteína<sup>-1</sup>) de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR, e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa

Tratamento	Dias de armazenamento					
	Pressão			Pressão + Ambiente		
	2	4	6	2+2	4+2	6+2
100 kPa	6,37 Aba*	4,12 Ab	3,36 Ab	12,27 Aa	6,98 Ab	4,51 Ab
200 kPa	6,99 Aa	3,68 Ab	3,30 Ab	8,08 Ba	6,88 Aa	3,79 Ab
400 kPa	5,15 Ba	3,92 Aab	3,51 Ab	9,74 ABa	6,14 Ab	4,27 Ab
600 kPa	5,55 ABa	3,46 Ab	3,22 Ab	10,81 ABa	6,40 Ab	4,00 Ac
800 kPa	5,32 ABa	3,35 Ab	3,03 Ab	10,21 ABa	5,58 Ab	4,22 Ab
C.V. (%)	10,62	16,63	8,15	9,38	13,69	9,76

\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nas condições de armazenamento (pressão e pressão + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Com 2 dias de tratamento hiperbárico, os tomates tratados a 200 kPa apresentaram atividade enzimática 36% maior em relação aos tratados a 400 kPa. Os demais tratamentos apresentaram em média 5,75 U  $\mu$ g de proteína, sem diferenças significativas. No 4° e 6° dia não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, no entanto houve uma diminuição média da atividade da SOD em relação ao 2° dia, de 37 e 44%, respectivamente.

Com 2 dias de condição de ambiente (2+2), foram observadas atividades enzimáticas muito superiores às obtidas durante o armazenamento hiperbárico aos 2 dias, o que não foi verificado nas outras avaliações. A alta atividade da SOD evidenciada nos períodos iniciais de armazenamento (2 e 2+2), pode estar relacionada ao início do amadurecimento dos tomates. Enquanto que a baixa atividade provavelmente pode ser consequência de uma diminuição da síntese proteica associada à senescência (MAHARAJ et al., 2014). Apesar de a SOD ser considerada a primeira linha de defesa contra os ERO (GRATÃO et al., 2005), não foi observada a catalisação da atividade pelas pressões hiperbáricas, pois os níveis da SOD registrados nos tomates pressurizados foram similares aos obtidos pelos do controle.

### **Atividade da enzima catalase (CAT)**

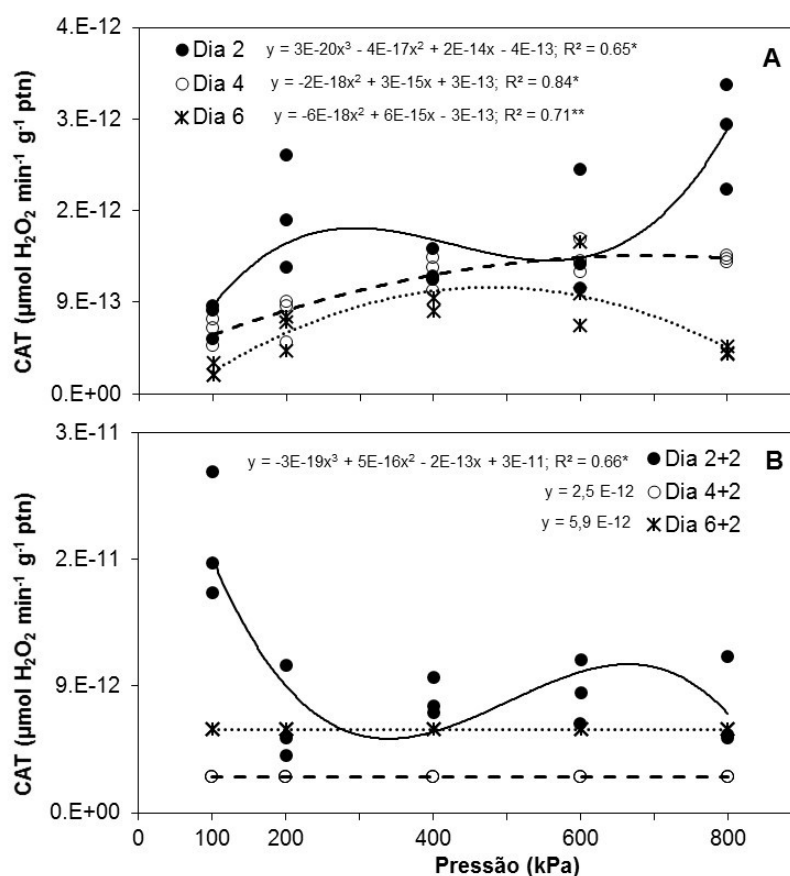
Foi verificada uma relação funcional significativa entre a atividade da CAT dos tomates cv. Débora e a pressão aplicada após os períodos de tratamento hiperbárico (2, 4 e 6 dias). Nestas avaliações foram observadas tendências similares dos tratamentos, cujos tomates do controle apresentaram a menor atividade enzimática, enquanto que a maior foi verificada nos tomates tratados nas pressões de 800, 600 e 400 kPa nos dias 2, 4 e 6, respectivamente (Figura 10A).

Na condição de ambiente, foi constatado o aumento significativo da CAT nos tomates de todos os tratamentos, em relação às atividades registradas durante o tratamento hiperbárico (Figura 10B). No dia 2+2, foi verificada uma relação funcional significativa ( $P < 0,05$ ), representada por uma equação de terceiro grau. Neste dia, os tomates do controle apresentaram a maior atividade enzimática. Para os dias 4+2 e 6+2 não foi possível estabelecer uma relação funcional significativa ( $P > 0,05$ ) e as



atividades foram em média  $2,5 \times 10^{-12}$  e  $5,9 \times 10^{-12}$   $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$  degradado  $\text{min}^{-1} \text{g}$  proteína $^{-1}$ , respectivamente.

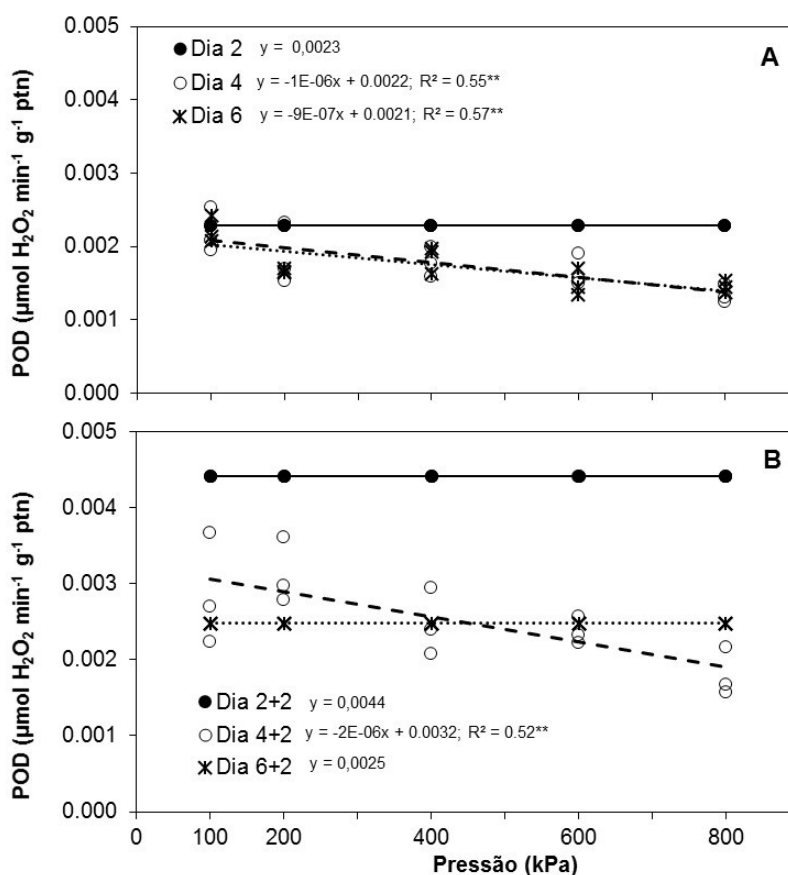
A CAT desempenha um papel fundamental na manutenção da homeostase do  $\text{H}_2\text{O}_2$  nas células vegetais. A enzima é importante na dismutação do  $\text{H}_2\text{O}_2$  gerado nos peroxissomas por oxidases envolvidas na  $\beta$ -oxidação de ácidos graxos, fotorrespiração e catabolismo purínico (IGAMBERDIEV e LEA 2002; GILL e TUTEJA, 2010). Por isso, a capacidade de os frutos em manter a alta atividade da CAT é considerado um mecanismo de defesa contra os fatores de estresse (BOONKORN, 2016). Neste sentido, os resultados demonstram que o estresse ocasionado pelo armazenamento hiperbárico gerou a ativação da CAT, o que está diretamente relacionado com uma maior proteção das células.



**Figura 10.** Relação entre a atividade da enzima catalase (CAT) de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

### Atividade das Peroxidase (POD)

Observou-se uma relação funcional significativa ( $P < 0,01$ ), entre a atividade enzimática das POD dos tomates 'Débora' e a pressão aplicada, nos períodos de tratamento hiperbárico (4 e 6) (Figura 11A). No 4º e 6º dia, as variáveis foram relacionadas por uma equação linear negativa, com os tomates submetidos a 800 kPa apresentando uma atividade enzimática 39% menor em relação aos do controle.



**Figura 11.** Relação entre a atividade das peroxidase (POD) de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 2, 4 ou 6 dias a 23°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias em condição de ambiente a 23°C, 50% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

No período de condição de ambiente 2+2 dias, os tomates de todos os tratamentos apresentaram um incremento da atividade da POD, em relação ao período precedente (armazenamento hiperbárico) (Figura 11B). Houve relação entre a atividade enzimática e a pressão aplicada somente no dia 4+2, seguindo uma

tendência linear negativa ( $P < 0,01$ ), ocorrendo a redução da atividade com o aumento da pressão aplicada.

Elevados níveis das POD são associados com a deterioração oxidativa de frutos que se encontram em estágio avançado de amadurecimento (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Com base também nos resultados obtidos para esta variável, são mais uma evidência de que os tomates submetidos a menores pressões hiperbáricas, apresentam um amadurecimento mais acelerado em relação aos tratados com 600 e 800 kPa, estando de acordo com os resultados de coloração (Figura 3), firmeza (Figura 4) e conteúdo de licopeno (Figura 8).

## **5.2. Etapa II – Uso de pressões hiperbáricas na qualidade pós-colheita de tomates cv. Débora armazenados sob refrigeração (13°C)**

### **Perda de massa**

A perda de massa dos tomates foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pelas condições de pressão nos períodos de tratamento hiperbárico de 4 e 8 dias (Figura 12).

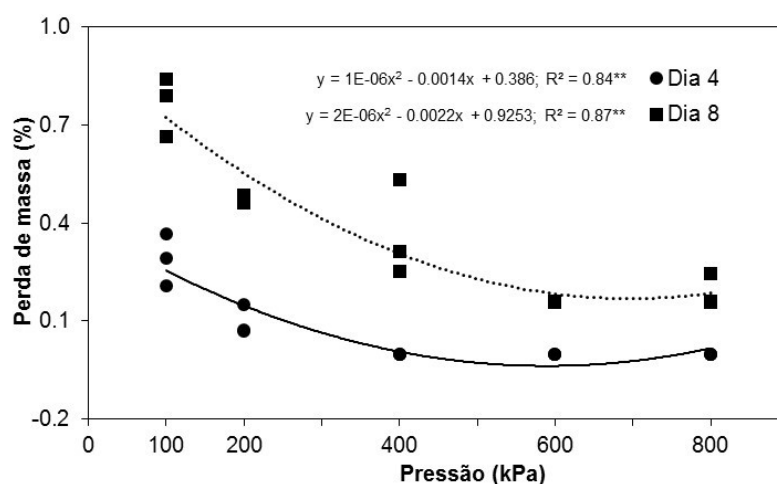
No 4º dia de tratamento, os tomates armazenados a 400, 600 e 800 kPa não registraram perdas de massa, enquanto que os do controle (100 kPa) apresentaram perda média de 0,29%. Resultados similares foram obtidos no 8º dia, cujos tomates tratados com 600 e 800 kPa apresentaram, em média, perdas de massa 74 e 60% menores às obtidas pelos tomates do controle e de 200 kPa, respectivamente.

Na condição de ambiente (4+3, 4+6, 8+3 e 8+6) não foi possível estabelecer uma relação funcional entre a perda de massa dos tomates e as pressões aplicadas ( $P > 0,05$ ), com registros médios de perdas de massa de 0,51, 0,92, 1,44 e 2,49%, respectivamente.

Os resultados demonstram que o efeito benéfico das pressões na diminuição da perda de massa, acontece somente quando os frutos estão na condição de pressão hiperbárica. Pode-se dizer que os frutos submetidos à pressão não apresentam vantagem em relação aos frutos do controle uma vez que são colocados sob

condições de ambiente, pois não apresentam diferenças significativas quanto à perda de massa.

Os resultados obtidos durante as condições de ambiente, diferem dos verificados, sob mesma condição, da primeira etapa (Figura 2B). Isto está relacionado com o maior período de condição de ambiente (6 dias) que foram submetidos os tomates da segunda etapa, em relação aos da primeira (2 dias). Considera-se que a diferença de perda de massa verificada entre os tratamentos hiperbáricos e os não tratados, após os períodos de armazenamento hiperbárico, foi diluída pelo período de condição de ambiente de 6 dias.



**Figura 12.** Relação entre a perda de massa de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR. \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

## Coloração

No 4º dia de armazenamento hiperbárico os tomates não apresentaram diferenças entre os tratamentos, quanto aos parâmetros de coloração (Tabela 8). No 8º dia, os tomates tratados com as maiores pressões (600 e 800 kPa) apresentaram maior luminosidade e ângulo Hue em relação aos frutos controle. Isso significa que os tomates apresentaram uma coloração mais clara e menos avermelhada em relação aos frutos do controle, sinalizando um atraso na evolução da coloração dos frutos armazenados por 8 dias nas maiores pressões.

Na condição de ambiente foi observada uma diminuição progressiva nos valores de luminosidade e de ângulo Hue nos tomates de todos os tratamentos, o que

está relacionado com uma coloração mais avermelhada e escura, resultado do amadurecimento dos frutos.

As diferenças de coloração registradas entre os tomates do controle e os tomates armazenados sob pressão hiperbárica foram manifestadas até a metade dos períodos de condição de ambiente (4+3 e 8+3 dias), pois ao final do período ao ambiente (4+6 e 8+6) os tomates apresentaram colorações similares. No entanto, os tomates tratados com 600 e 800 kPa apresentaram uma evolução da coloração mais lenta (principalmente o ângulo Hue) quando comparado ao controle, durante o armazenamento.

**Tabela 8.** Luminosidade ( $L^*$ ) e ângulo Hue ( $h^\circ$ ) de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR, e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa

Parâmetro	Tratamento	Dias de armazenamento					
		Pressão		Pressão 4 + Ambiente		Pressão 8 + Ambiente	
		4	8	4+3	4+6	8+3	8+6
$L^*$	100 kPa	52,17 Ba*	45,21 Cb	53,87 ABa	42,53 Ab	41,08 Ba	39,11 Ab
	200 kPa	53,40 ABa	46,83 Cb	53,27 Ba	41,97 Ab	40,91 Ba	39,38 Ab
	400 kPa	54,63 Aa	50,24 Bb	53,60 Ba	44,90 Ab	42,01 Ba	39,31 Ab
	600 kPa	54,27 ABa	52,87 Ab	53,90 ABa	45,00 Ab	42,18 Ba	39,13 Ab
	800 kPa	54,37 ABa	53,59 Aa	55,90 Aa	45,40 Ab	43,87 Aa	39,06 Ab
	C.V. (%)	1,49	1,80	1,40	4,77	1,19	1,20
$h^\circ$	100 kPa	101,03 Aa	51,37 Cb	76,47 Da	46,43 ABb	43,06 Ca	43,86 Aa
	200 kPa	102,57 Aa	56,53 Cb	79,63 CDa	44,00 Bb	44,96 Ca	42,90 Aa
	400 kPa	104,33 Aa	68,25 Bb	84,97 BCa	50,63 Ab	47,80 Ba	43,70 Aa
	600 kPa	104,97 Aa	77,43 Ab	90,00 Ba	51,10 Ab	50,14 ABa	44,57 Ab
	800 kPa	105,73 Aa	79,89 Ab	98,70 Aa	49,93 ABb	50,85 Aa	43,52 Ab
	C.V. (%)	1,88	3,33	2,23	4,50	1,79	1,79

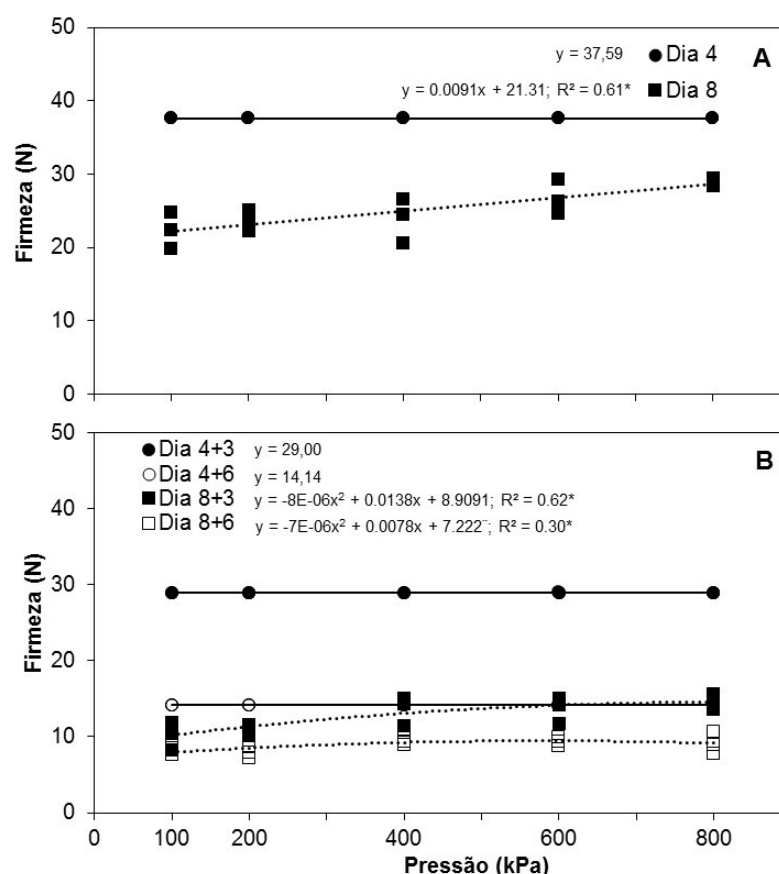
\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nos distintos parâmetros ( $L^*$ ,  $h^\circ$ ) e condições de armazenamento (pressão, pressão 4 + ambiente e pressão 8 + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

Pesquisas realizadas por Goyette et al. (2012b) e Liplap et al. (2013a) usando pressões hiperbáricas em tomates armazenados a 13 e 20°C, respectivamente, apresentam resultados similares aos obtidos nesta pesquisa. Estes resultados indicam que a coloração é muito influenciada pela pressão hiperbárica (principalmente

as de 600 e 800 kPa), o que estaria relacionado com a diminuição da síntese do licopeno. Além disso, seu efeito parece ser independente da temperatura de armazenamento.

## Firmeza

Quatro dias de tratamento hiperbárico não foram suficientes para mostrar diferenças entre as pressões aplicadas quanto à firmeza dos tomates (Figura 13A). Para o tratamento hiperbárico por 8 dias foi verificada uma relação funcional entre a pressão aplicada aos frutos e a manutenção da firmeza. Observa-se que os tomates tratados com as maiores pressões (600 e 800 kPa) apresentaram-se, em média, 25% mais firmes que os do controle, após 8 dias.



**Figura 13.** Relação entre a firmeza de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

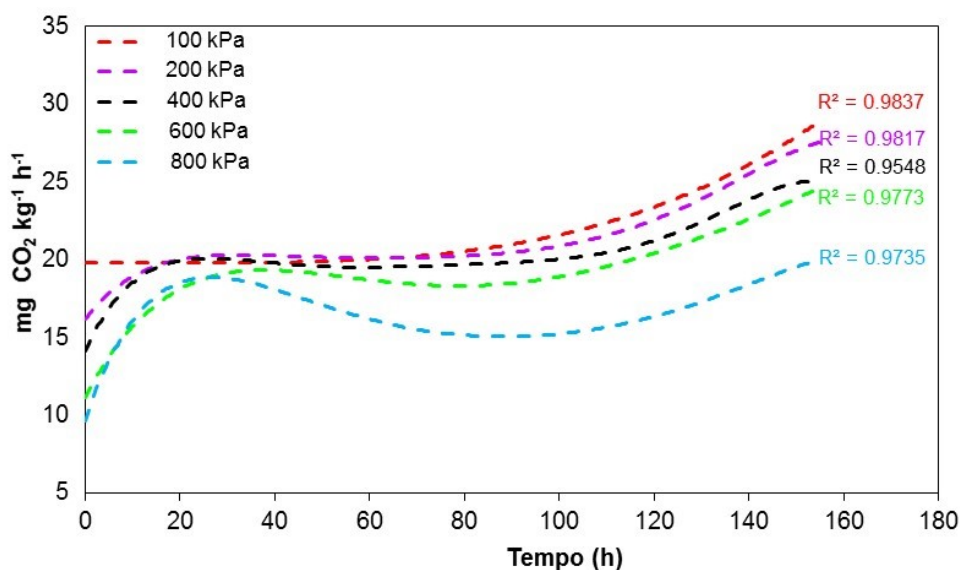
Na condição de ambiente 4+3 e 4+6 não foi possível estabelecer relação funcional entre a pressão aplicada e a firmeza dos tomates, seguindo a mesma tendência do dia 4 de tratamento hiperbárico (Figura 13B). Enquanto que nos dias 8+3 e 8+6, a diferença média dos tomates tratados com 600 e 800 kPa em relação ao controle foi de 69 e 24%, respectivamente.

Os resultados obtidos neste experimento demonstram que a manutenção da firmeza é obtida quando os tomates são pressurizados a 600 e 800 kPa por 8 dias. No experimento da primeira etapa (Figura 4), os frutos que permaneceram por 4 dias a 800 kPa, apresentaram-se, em média, 61% mais firmes que os do controle (Figura 4A). Provavelmente, a diferença dos resultados se deva às temperaturas distintas em que foram conduzidos os experimentos. Na temperatura mais elevada (23°C) o metabolismo dos tomates foi mais acelerado, exigindo menor tempo de exposição para manifestar o efeito das pressões.

### **Taxa respiratória**

Os tomates na pressão de 100 kPa (controle) apresentaram taxas respiratórias médias de 20 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> durante as primeiras 90 horas de tratamento (Figura 14). Os tomates dos demais tratamentos registraram taxas respiratórias médias de 14 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, aumentando até 18 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> em 20 horas. Este fenômeno também foi observado nos tomates tratados com pressões hiperbáricas e temperatura de 23°C (Figura 5). Uma das explicações seria a de diluição do CO<sub>2</sub> nos recipientes e solubilização desse gás no interior dos frutos, resultado do incremento das pressões parciais dos gases do ar no interior das câmaras hiperbáricas (GOYETTE et al., 2012a).

Os frutos dos tratamentos controle e 200 kPa, 400 e 600 kPa apresentaram um aumento progressivo na taxa respiratória a partir da 90<sup>a</sup>, até o final do armazenamento. Os tomates submetidos a 800 kPa apresentaram uma tendência diferente, com um declínio na taxa respiratória entre a 30<sup>a</sup> e a 100<sup>a</sup> hora de tratamento, com posterior aumento até 20 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Esta taxa respiratória (800 kPa) foi 31% menor que a média registrada pelos tomates do controle, ao final do armazenamento.



**Figura 14.** Taxa respiratória em tempo real de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 8 dias a 13°C e 95% UR

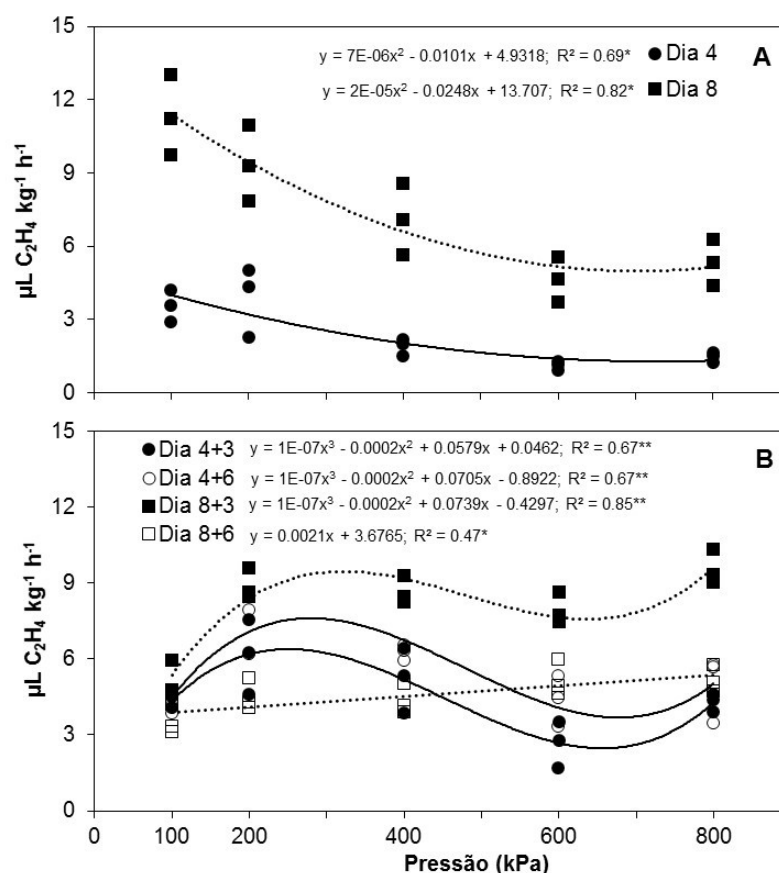
O efeito das pressões hiperbáricas na taxa respiratória dos vegetais ainda não está claro, pois dependendo da duração, intensidade e temperatura de aplicação, são encontradas diferentes respostas. Baba et al. (1999) em pesquisa conduzida com frutos de umezeiro tratados com altas pressões (5, 10, 50, 100, 150 e 200 MPa) durante 10 min e temperaturas de entre 1 a 10°C, relataram a diminuição da taxa respiratória em relação aos frutos do controle. Goyette et al. (2012b) relatam que o armazenamento sob pressões hiperbáricas por 5, 10 e 15 dias a 13°C, reduziu em 22, 20, 16 e 11% a taxa respiratória de tomates quando tratados com 900, 700, 500 e 300 kPa, respectivamente. No entanto, no experimento da primeira etapa (Figura 5), os tomates submetidos às pressões hiperbáricas, durante 2, 4 ou 6 dias a 23°C, não apresentaram redução da taxa respiratória, em comparação aos frutos na atmosfera normal (100 kPa). Estudos mais específicos a respeito de como estes fatores afetam a resposta dos frutos, quando tratados com pressões hiperbáricas, deveriam ser realizados.



## Etileno

Verifica-se que nos dois períodos de armazenamento hiperbárico (4 e 8) houve uma relação funcional significativa ( $P < 0,05$ ) entre a pressão aplicada e a quantidade de etileno produzido pelos tomates (Figura 15A). Ocorreu redução na produção do etileno com o aumento dos níveis de pressão, tanto aos 4 quanto aos 8 dias. Houve uma tendência dos tomates do tratamento controle e 200 kPa apresentarem a maior produção de etileno, enquanto que as menores médias nos frutos a 600 e 800 kPa.

A maior produção de etileno apresentada pelos tomates do controle no 4º e 8º dia está relacionada com o início do climatério, e o maior amadurecimento dos frutos deste tratamento. Os dados do controle estão de acordo com os de coloração mais avermelhada (Tabela 8) de menor firmeza (Figura 13) e maior taxa respiratória (Figura 14), que os tomates submetidos a 600 e 800 kPa.



**Figura 15.** Relação entre a produção de etileno de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Nos dias 4+3 e 4+6 a maior produção de etileno foi registrada nos tomates tratados com 200 e 400 kPa, enquanto que a menor entre 600 e 800 kPa (Figura 15B). No entanto, nos dias 8+3 e 8+6 os tomates tratados com 800 kPa produziram 86 e 46% mais etileno que os tomates do controle, respectivamente. Neste sentido, o aumento da produção de etileno registrada nos tomates tratados com 800 kPa no dia 8+3 estaria mostrando um atraso no aparecimento do pico climatérico, em relação ao controle. Por outro lado, a relação linear positiva observada no final do experimento (8+6), indica o final do climatério dos tomates, demonstrando uma relação inversamente proporcional entre a pressão aplicada e o climatério dos frutos.

Tratamentos entre 5 e 200 MPa aplicados sob refrigeração (1 a 10°C), durante 10 min, diminuíram a produção de etileno em frutos de umezeiro, independente da pressão aplicada (BABA et al., 1999). Ao mesmo tempo, ao comparar os frutos tratados com 5 MPa com os do controle, foi verificada uma redução de 75% na atividade da enzima ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) oxidase nos frutos tratados, enquanto que os níveis do substrato (ACC) permaneceram inalterados. Neste sentido, a inibição da produção de etileno, pode ser atribuída em parte ao efeito inibitório da pressão sobre a atividade ACC oxidase, enzima que catalisa conversão do ACC em etileno.

### **Sólidos solúveis (SS)**

Os tomates apresentaram um incremento médio no conteúdo de SS de 4 e 6% nos 4 e 8 dias de tratamento hiperbárico, respectivamente, quando comparado ao valor inicial (Tabela 2). Apesar disso, os tratamentos não influenciaram o conteúdo de SS dos tomates após o armazenamento hiperbárico e a condição de ambiente, apresentando valor médio de 4,4%. De igual forma, Goyette et al. (2012b) não verificaram efeito de pressões hiperbáricas (300, 500 e 700 kPa) no conteúdo de SS de tomates armazenados durante 5, 10 e 15 dias a 13°C.

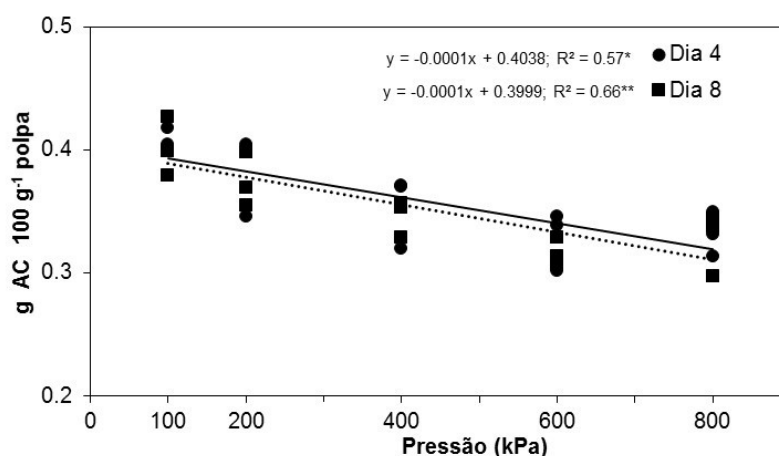
### **Acidez titulável (AT)**

Após o tratamento hiperbárico, houve uma relação linear significativa ( $P < 0,05$ ) entre a acidez titulável e a pressão aplicada (Figura 16). Contrariamente ao esperado, ocorreu uma tendência de redução do teor de AT com o aumento a pressão. A maior

acidez foi registrada nos frutos do controle, com 0,39 e 0,40 g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> polpa, nos dias 4 e 8, respectivamente, enquanto que nas mesmas avaliações os frutos tratados com 800 kPa apresentaram uma acidez 15 e 18% menor.

Esses dados estão de acordo com os de Goyette et al. (2012b) cujos tomates tratados com 300, 500 e 700 kPa durante 10 e 15 dias apresentaram uma redução na AT de entre 18 a 23% em relação aos frutos do controle (100 kPa). Já Baba et al. (1999), reportaram que frutos de umezeiro quando submetidos a pressão de 5 Mpa apresentaram uma acidez 27% maior que dos frutos controle.

Durante a condição de ambiente, não foi possível estabelecer uma relação funcional entre a AT e a pressão aplicada, apresentando ao final do período conteúdos médios de acidez de 0,34 e 0,32 g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> polpa, nos dias 4+6 e 8+6, respectivamente.



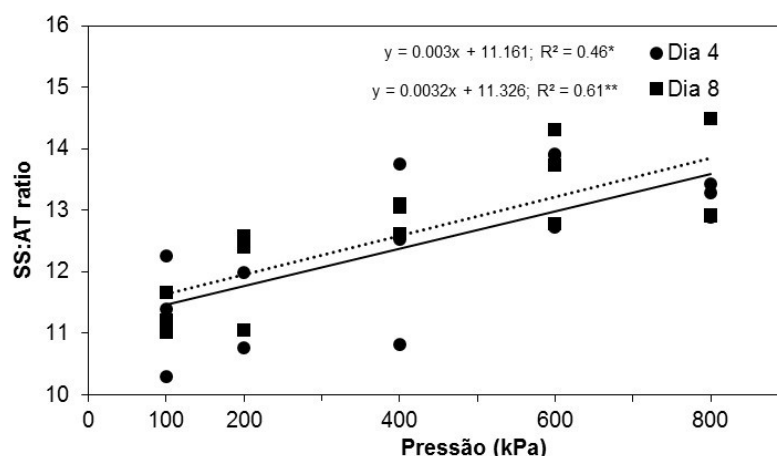
**Figura 16.** Relação entre a acidez titulável de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR. \* significativo (P<0,05); \*\* significativo (P<0,01)

Considerando as diferenças nas respostas dos frutos antes mencionados quando estes são tratados com diferentes intensidades de pressão, é evidente que existem mecanismos complexos que estão envolvidos na evolução da acidez durante o armazenamento hiperbárico. Assim, recomenda-se um maior aprofundamento em futuras pesquisas, procurando esclarecer os mecanismos envolvidos.

## Relação SS:AT

Observa-se uma relação linear positiva para a relação SS:AT (*ratio*) dos tomates cv. Débora em relação às pressões aplicadas, tanto no 4º quanto no 8º dia de tratamento hiperbárico (Figura 17). Na condição de ambiente não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) entre as variáveis.

Como não houve relação entre a pressão e os SS durante os períodos de tratamento hiperbárico para a variável SS, o aumento linear do *ratio* (proporcional ao aumento da pressão) está relacionado com a redução da acidez em função do aumento da pressão aplicada (Figura 16).



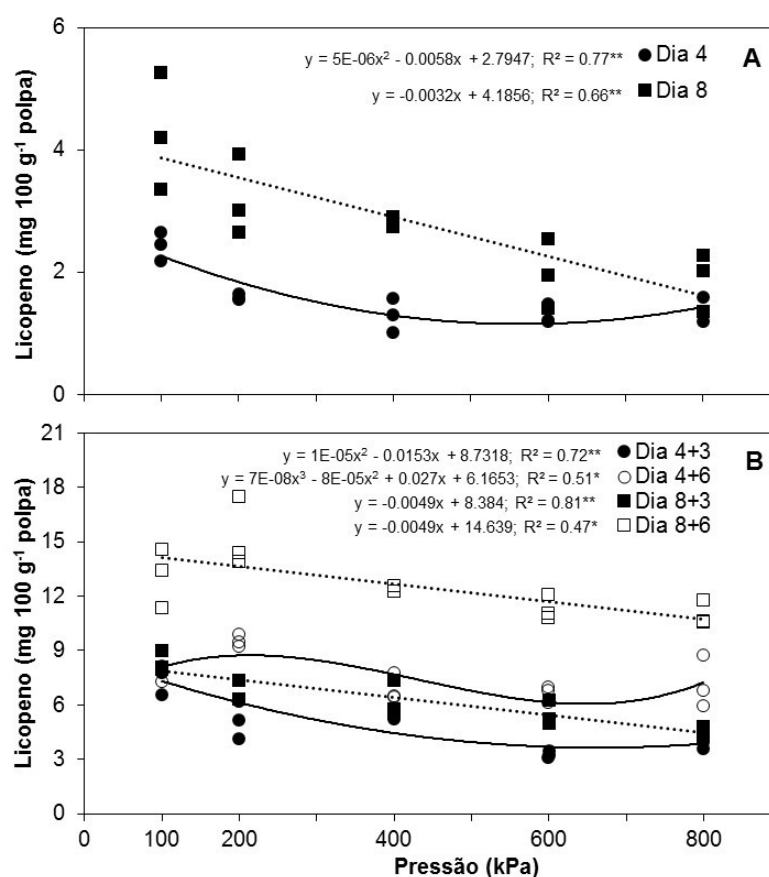
**Figura 17.** Relação entre o *ratio* de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR. \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Durante a condição de ambiente os tomates dos diferentes tratamentos apresentaram valores médios similares (12,42, 12,68, 12,53 e 13,78, nos dias 4+3, 4+6 8+3 e 8+6, respectivamente), pois neste período não foram constatadas diferenças significativas para o conteúdo de SS e de AT.

Segundo Beckles (2012) um tomate para consumo *in natura* possui um sabor desejável, quando o *ratio* tem valores iguais ou superiores a 12,5. Neste trabalho, durante a condição de ambiente os tratamentos apresentaram frutos com *ratio* próximos ao valor sugerido, indicando que os tomates apresentaram uma excelente combinação de açúcares e de ácidos.

## Licopeno

Existe uma relação funcional significativa ( $P < 0,01$ ) entre o conteúdo de licopeno dos tomates cv. Débora, e a pressão aplicada (Figura 18A e 18B). Essa relação foi verificada tanto nos tratamentos hiperbáricos quanto na condição de ambiente, de forma inversamente proporcional entre o conteúdo de licopeno e a pressão aplicada. No 4º e 8º dia os tomates do controle apresentaram de 80 a 130% mais licopeno que os tratados a 800 kPa, respectivamente.



**Figura 18.** Relação entre o conteúdo de licopeno de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Após três dias de armazenamento a 23°C (condição de ambiente), os tomates aumentaram, em média, três vezes as quantidades de licopeno em comparação aos tomates na saída do armazenamento hiperbárico. Esse aumento era esperado, pois os tomates passaram para uma condição com temperatura média maior que durante

o tratamento hiperbárico, considerada ótima (16 a 26°C) para a síntese de licopeno (TÜRK et al., 1993).

As tendências observadas em todos os períodos de avaliação do armazenamento a 23°C foram similares aos do armazenamento a 13°C, ou seja, registrou-se a redução do conteúdo de licopeno nos tomates com o aumento da pressão aplicada.

Pesquisas demonstram que o conteúdo de licopeno nos tomates é diretamente influenciado pelas pressões hiperbáricas, independentemente da temperatura de armazenamento dos frutos (GOYETTE, 2010; LIPLAP, et al., 2013b). Esses resultados poderiam estar relacionados com o fato que as pressões hiperbáricas influenciam o atraso da síntese de etileno, mediante a inibição da ACC oxidase, proporcionando um amadurecimento mais lento dos tomates e, conseqüentemente, uma menor síntese de licopeno.

### **Ácido ascórbico**

Após os períodos de tratamento hiperbárico (4 e 8), não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) entre o conteúdo de ácido ascórbico (AA) dos tomates cv. Débora e a pressão aplicada. Neste período o conteúdo médio de AA dos tomates foi 20,5 e 18,0 mg AA 100 g<sup>-1</sup> polpa no dia 4 e 8, respectivamente.

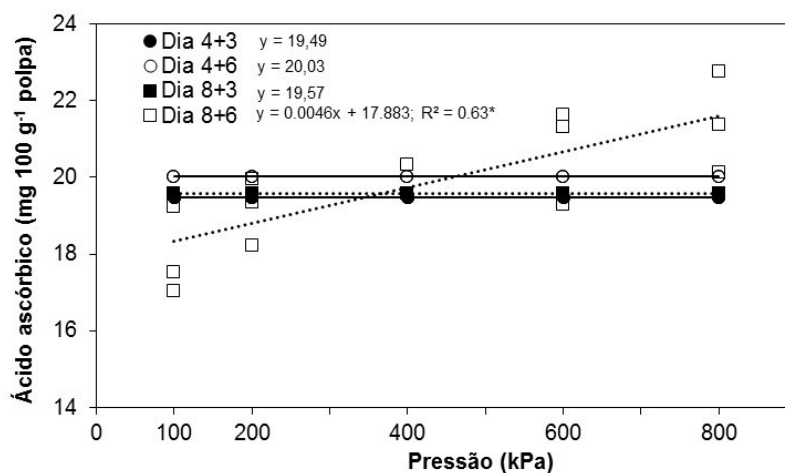
No dia 8+6 houve uma tendência linear positiva entre o conteúdo de AA e a pressão aplicada, sendo que os tomates tratados com 800 kPa apresentaram teores 20% maiores de ácido ascórbico em relação aos frutos do controle (Figura 19).

O aumento do teor de AA pode ter ocorrido em resposta ao estresse provocado pelas pressões hiperbáricas durante o armazenamento, e/ou pela diminuição na atividade de enzimas envolvidas na conversão do AA em ácido tartárico.

Para as condições de ambiente 4+3, 4+6 e 8+3, não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) entre o conteúdo de AA dos tomates e a pressão aplicada, apresentando conteúdos médios de 19,5, 20,0 e 19,6 mg de AA 100 g<sup>-1</sup> polpa, respectivamente.

Em tomates tratados com pressões hiperbáricas de 300, 500, 700 e 900 kPa a 20°C durante 4 dias, e mantidos por mais 10 dias em condição de temperatura e pressão de ambiente (20°C e 100 kPa), não foram constatadas diferenças

significativas quando comparados os conteúdos de AA de tomates (LIPLAP et al., 2013b). No entanto, estes autores afirmam que, durante todo o armazenamento ao ambiente, os teores de AA dos tomates submetidos à pressão hiperbárica foram superiores em até 11% aos apresentados pelos tomates do controle.



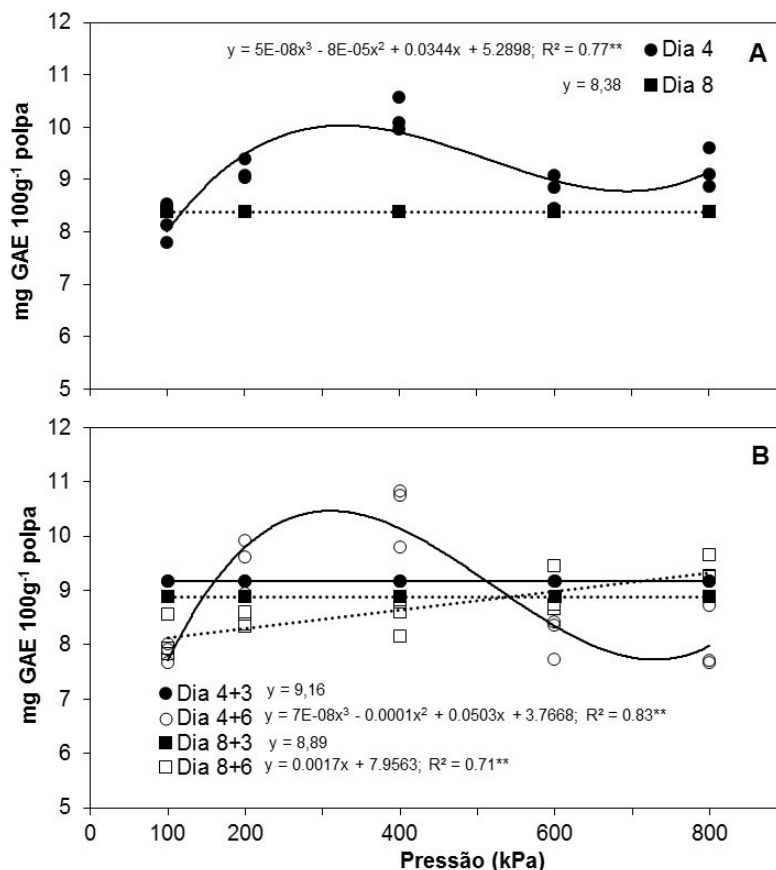
**Figura 19.** Relação entre o conteúdo de ácido ascórbico de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR, seguido de 3 ou 6 dias a 23°C, 88% UR e 100 kPa. \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Resultados similares foram obtidos na primeira etapa, cujos tomates tratados com 600 e 800 kPa, durante 4 dias, a temperatura de 23°C, apresentaram 15% mais ácido ascórbico em relação aos do controle (Tabela 4). No entanto, essas diferenças não foram verificadas quando o período de armazenamento hiperbárico de 2 e 6 dias. Assim, especula-se que as condições de aplicação do tratamento (principalmente temperatura e duração do tratamento) podem ter influenciado nas diferentes respostas.

### Polifenóis extraíveis totais

Foi observada uma relação funcional significativa ( $P < 0,05$ ) entre o conteúdo de polifenóis dos tomates cv. Débora e a pressão aplicada nos dias 4, 4+6 e 8+6 (Figura 20A e 20B). No 4º dia, os tomates tratados com 200 e 400 kPa apresentaram os maiores conteúdos de polifenóis, apresentando média 19% superior em relação aos

tomates do controle. Enquanto que no 8º dia foram verificados conteúdos médios de 8,38 mg GAE 100 g<sup>-1</sup> polpa, sem diferenças significativas entre tratamentos.



**Figura 20.** Relação entre o conteúdo de polifenóis de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Durante a condição de ambiente 4+3 e 8+3 não foi possível estabelecer uma relação funcional ( $P > 0,05$ ) entre o conteúdo de polifenóis dos tomates cv. Débora e a pressão aplicada (Figura 20B). No entanto, similar ao verificado no 4º dia, no dia 4+6 os tomates tratados a 200 e 400 kPa apresentaram os maiores conteúdos de polifenóis. No dia 8+6 houve uma relação linear positiva entre o conteúdo de polifenóis e a pressão aplicada, sendo que os tomates do tratamento 800 kPa apresentaram um conteúdo de polifenóis 16% maior ao apresentado pelos frutos do controle.

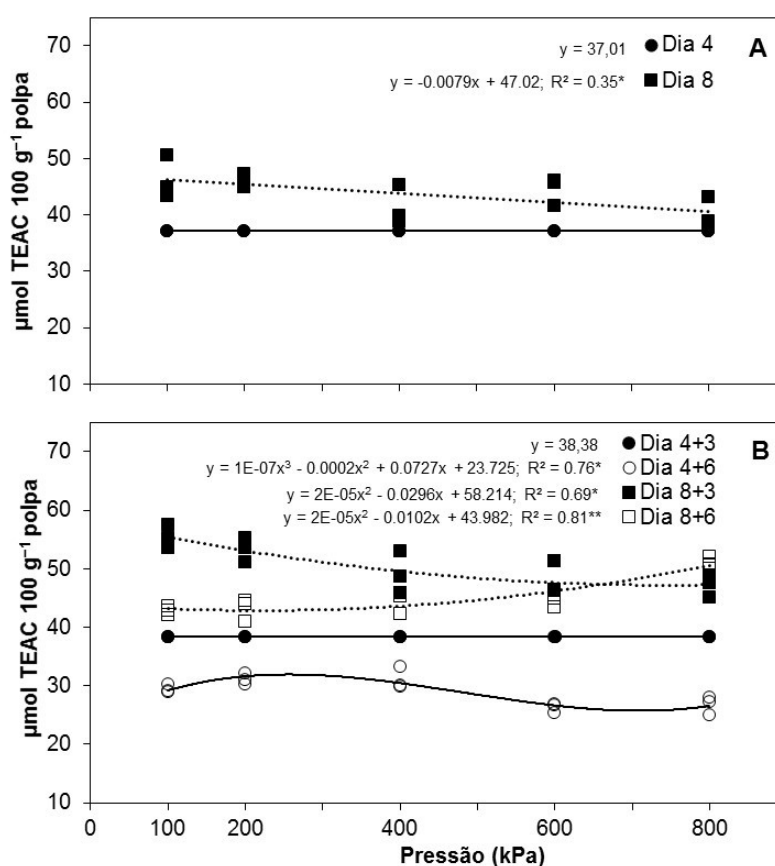
De acordo com os resultados obtidos neste experimento, os tratamentos de 200 e 400 kPa mantiveram o conteúdo fenólico (principalmente no tratamento de 4 dias).



No entanto, na primeira etapa, com frutos armazenados à temperatura de 23°C, não foram encontradas diferenças significativas no conteúdo de polifenóis dos tomates tratados em relação aos do controle (Tabela 5).

### Atividade antioxidante total

No armazenamento hiperbárico de 8 dias foi observada uma relação inversamente proporcional entre o conteúdo antioxidante dos tomates com o aumento da pressão aplicada (Figura 21A). No entanto, o modelo desta relação tem um ajuste de apenas 35%.



**Figura 21.** Relação entre a atividade antioxidante de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Durante a condição de ambiente 4+6, observou-se que os tomates tratados com 200 kPa apresentaram maior atividade antioxidante em relação aos tratados com 600 e 800 kPa (Figura 21B). Similar ao ocorrido no 8° dia de armazenamento hiperbárico, no dia 8+3 foi observada uma relação inversamente proporcional entre a atividade antioxidante dos tomates e a pressão aplicada. No entanto, no último dia (8+6), a tendência foi oposta à anterior, pois os tomates tratados com 600 e 800 kPa apresentaram atividade antioxidante 15% superior à do controle. Uma tendência similar foi observada neste mesmo dia para a variável ácido ascórbico e polifenóis, cujos tomates tratados com 800 kPa apresentaram valores 20% superiores de ácido ascórbico (Figura 19) e 16% de polifenóis (Figura 20B) em relação aos do controle. Martínez-Valverde et al. (2002) correlacionaram positivamente o conteúdo de licopeno, de ácido ascórbico e de polifenóis com a atividade antioxidante de nove variedades comerciais de tomate.

Por outro lado, o conteúdo médio geral de atividade antioxidante no final da condição de ambiente foi 27% maior em relação aos conteúdos iniciais.

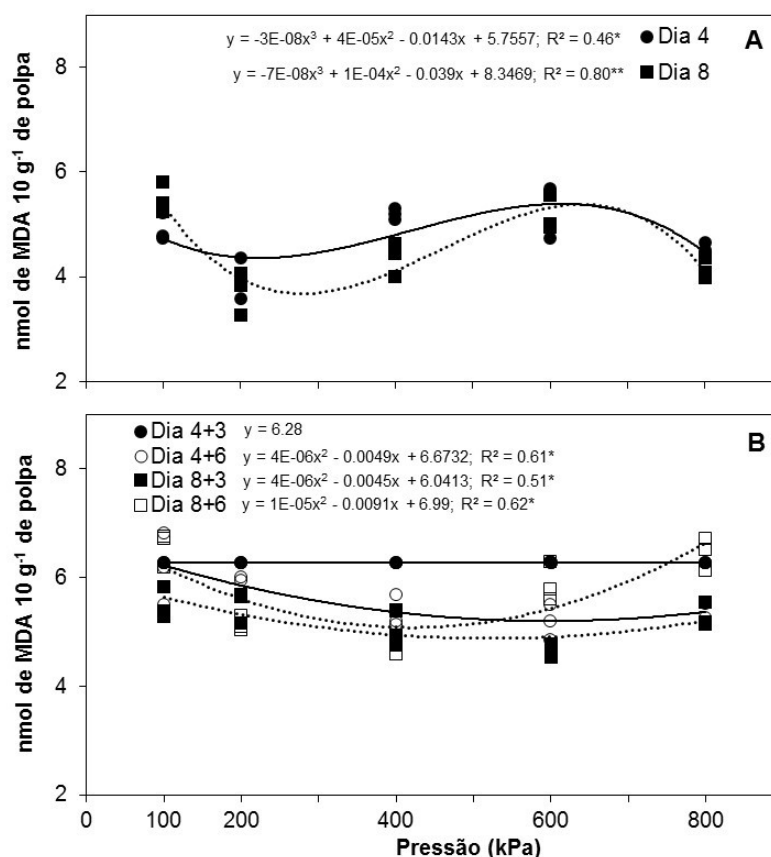
### **Peroxidação de lipídeos**

No armazenamento hiperbárico foi verificada uma relação funcional de terceiro grau entre a peroxidação de lipídeos dos tomates, expressa como conteúdo de malondialdeído (MDA) e a pressão aplicada (Figura 22A). Conforme as linhas de tendência, o conteúdo mais baixo de MDA dos tomates foi encontrado no tratamento de 800 kPa e entre os tratamentos de 200 e 400 kPa; enquanto que o maior conteúdo foi verificado nos tomates tratados com o controle e 600 kPa.

De uma forma geral, o menor conteúdo de MDA durante a condição de ambiente foi verificado nos tomates tratados com 400 e 600 kPa, enquanto que os maiores nos frutos do controle (Figura 22B). No entanto, ao final da condição de ambiente (8+6), estes conteúdos não apresentaram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) em relação aos tratados com 800 kPa (Figura 22B).

A peroxidação de lipídeos) é uma das principais causas de deterioração da membrana, sendo considerada uma medida direta do nível de estresse dos tecidos vegetais (IMAHORI, BAI E BALDWIN, 2016). Neste sentido, a célula vegetal desenvolveu mecanismos que produzem alguns compostos metabólicos não

enzimáticos (flavonoides, ligninas, carotenoides, entre outros) e ativam algumas enzimas (SOD, CAT, POD, ascorbato peroxidase, entre outras), que convertem as ERO em produtos menos tóxicos para prevenir lesões devido ao estresse. Assim, o estresse tem uma função de vital importância, pois está envolvido nas vias de sinalização para a produção de moléculas antioxidantes. Portanto, a importância do equilíbrio entre o sistema antioxidante e os níveis de estresse deve ser destacado (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010).



**Figura 22.** Relação entre a peroxidação de lipídeos (nMol de malondialdeído 10 g<sup>-1</sup> polpa) de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo (P<0,05); \*\* significativo (P<0,01)

### Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD)

A atividade enzimática da SOD nos tomates cv. Débora, não foi influenciada pelas pressões (P>0,05) durante os tratamentos hiperbáricos de 4 e 8 dias. Enquanto

que, durante a condição de ambiente foram observadas diferenças significativas unicamente no dia 4+3 e 4+6, em que frutos tratados com 800 kPa, apresentaram uma atividade enzimática superior à apresentada pelos frutos tratados com 200 kPa. No entanto, essas diferenças não foram verificadas no dia 8+3 e 8+6 (Tabela 9).

De forma similar ao ocorrido na primeira etapa (Tabela 7), as pressões hiperbáricas não promoveram a atividade da SOD.

**Tabela 9.** Atividade da enzima superóxido dismutase (U mg proteína<sup>-1</sup>) de tomates cv. Débora submetidos a diferentes pressões por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR, e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa

Tratamento	Dias de armazenamento					
	Pressão		Pressão 4 + Ambiente		Pressão 8 + Ambiente	
	4	8	4+3	4+6	8+3	8+6
100 kPa	3,28 Ab*	4,29 Aa	3,33 ABb	4,84 ABa	4,26 Aa	4,12 Aa
200 kPa	2,83 Ab	4,57 Aa	3,21 Bb	4,45 Ba	4,58 Aa	3,73 Ab
400 kPa	2,97 Ab	4,32 Aa	3,57 ABb	4,50 ABa	4,15 Aa	3,61 Aa
600 kPa	3,26 Ab	4,14 Aa	3,53 ABb	4,72 ABa	4,33 Aa	3,82 Aa
800 kPa	2,85 Ab	4,34 Aa	3,68 Ab	5,15 Aa	3,94 Aa	3,43 Aa
C.V. (%)	10,96	4,19	3,80	4,86	6,44	8,62

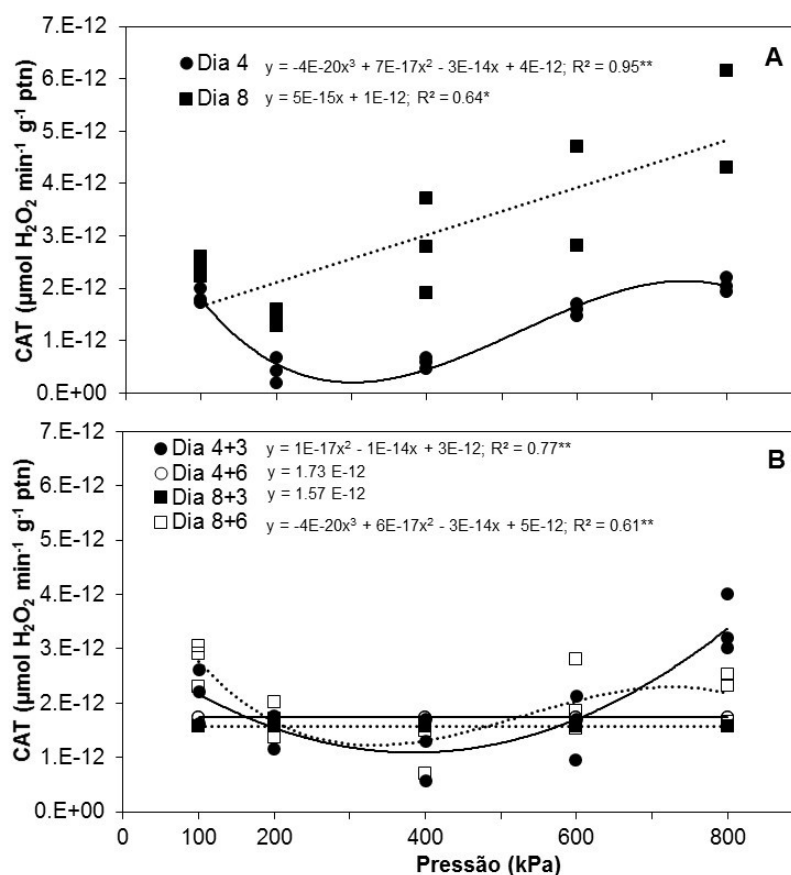
\* Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, nas condições de armazenamento (pressão, pressão 4 + ambiente e pressão 8 + ambiente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

### Atividade da enzima catalase (CAT)

No 4° dia de tratamento hiperbárico houve relação funcional entre a atividade da CAT dos tomates da cv. Débora e as pressões aplicadas, representada por uma equação de terceiro grau, (Figura 23A). Nesta linha de tendência, pode-se observar que as pressões entre 200 e 400 kPa foram as que induziriam a menor atividade enzimática nos tomates, enquanto que pressões entre 600 e 800 kPa, as maiores. No 8° dia, foi verificada uma relação linear positiva e diretamente proporcional entre a atividade enzimática da CAT e a pressão aplicada. Os tomates tratados com 800 kPa apresentaram uma atividade enzimática 79% maior à apresentada pelos tomates do controle.

Resultado semelhante ocorreu na condição de ambiente (4+3 e 8+6), cujos tomates com a menor atividade enzimática foram os tratados com 200 e 400 kPa, enquanto que a maior atividade enzimática foi observada nos frutos tratados com 800

kPa (4+3) e nos tomates do controle (8+6). No entanto, a atividade enzimática apresentada por estes, foi similar à obtida pelos tomates tratados com 600 e 800 kPa (Figura 23B).



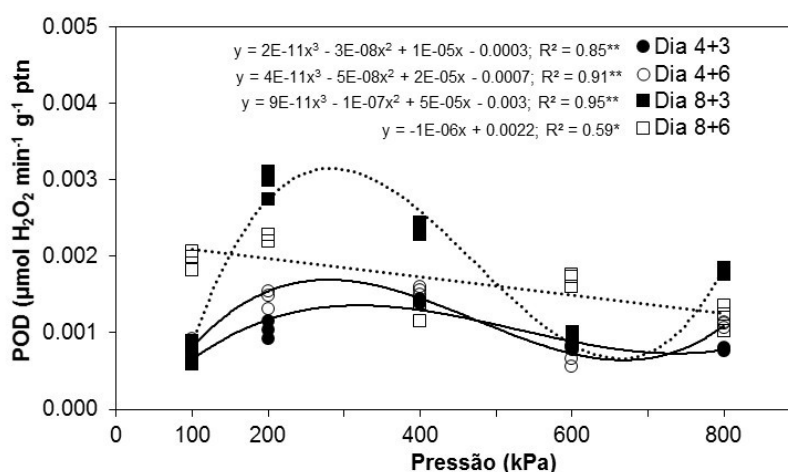
**Figura 23.** Relação entre a atividade da enzima catalase (CAT) de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR (A) e por mais 3 ou 6 dias em condição de ambiente a 23°C, 88% UR e 100 kPa (B). \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

Os estresses ambientais causam aumento ou esgotamento da atividade enzimática da CAT, dependendo da intensidade e duração (Sharma e Dubey, 2005). Como foi discutido anteriormente, a CAT é uma das principais enzimas do sistema antioxidante das plantas, que é ativado como uma resposta ao estresse oxidativo (SEVILLANO et al., 2009).

### Atividade das Peroxidase (POD)

Para o 4° e 8° dia de tratamento hiperbárico não foi possível estabelecer uma relação funcional entre a atividade enzimática das POD e a pressão aplicada, apresentando médias de  $5,18 \times 10^{-4}$  e  $9,92 \times 10^{-4}$   $\mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  decomposto por  $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$  de proteína.

No entanto, durante a condição de ambiente (4+3, 4+6 e 8+3), nas pressões de entre 200 e 400 kPa obteve-se a maior atividade enzimática nos tomates, enquanto que a menor foi verificada nos tomates do controle e a 600 kPa (Figura 24). No maior tempo de armazenamento (8+6), houve uma relação linear negativa ( $P < 0,05$ ) entre as variáveis estudadas, cujos tomates do controle apresentaram uma atividade das POD 67% maior à apresentada pelos tratados com 800 kPa.



**Figura 24.** Relação entre a atividade enzimática das peroxidase (POD) de tomates cv. Débora e a pressão aplicada por 4 ou 8 dias a 13°C e 95% UR, seguido de 3 ou 6 dias a 23°C, 88% UR e 100 kPa. \* significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* significativo ( $P < 0,01$ )

As POD podem ser consideradas como indicador de amadurecimento e senescência em diversos tecidos vegetais. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), elevados níveis das POD estão associados com a deterioração oxidativa de frutos que se encontram em estágio avançado de amadurecimento. Os resultados encontrados no último dia da simulação comercial (8+6), estão em concordância com estas afirmações, pois como foi discutido anteriormente, neste período, os frutos do controle também apresentaram a maior taxa respiratória (Figura 14), antecipação do pico de

etileno (Figura 15), e maior conteúdo de licopeno (Figura 18), em relação aos frutos tratados.

Por outro lado, uma elevada atividade enzimática das POD também está associada com a ativação do sistema de defesa, em resposta a uma grande diversidade de agentes estressores (ataques de patógenos, insetos e estressores abióticos), funcionando como um protetor eficaz de formas intermediárias reativas de radicais  $O_2$  e radicais peróxido em condições de estresse (NASCIMENTO e BARRIGOSI, 2014).

## 6. CONCLUSÕES

As pressões hiperbáricas no intervalo de 400 a 800 kPa aplicadas nas temperaturas de 13 e 23°C, apresentaram efeito positivo nas características de conservação dos tomates cv. Débora, destacando-se a menor perda de massa, a manutenção da firmeza e a mudança mais lenta da coloração (verde para vermelho). Além disso, este intervalo de pressão não alterou as características de sabor dos tomates (sólidos solúveis, acidez e *ratio*), sendo em todo momento similar aos tomates controle.

Influenciaram o aumento da atividade enzimática da CAT e a redução da atividade das POD, enzimas relacionadas com a senescência dos frutos.

As pressões hiperbáricas de 400 a 800 kPa, sob condições de refrigeração (13°C), adicionalmente influenciaram menor taxa respiratória e atraso na produção de etileno dos tomates 'Débora'.



## **7. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Fatores como temperatura, tempo de exposição e intensidade do tratamento influenciaram na resposta das variáveis. Em função disso, recomenda-se a realização de mais pesquisas que avaliem o efeito destes fatores, com a finalidade de otimizar os tratamentos.

Recomenda-se a realização de outras análises que incluíssem enzimas como a ascorbato peroxidase (APX) e glutathione redutase (GR), assim como análises de peróxido de hidrogênio; com a finalidade de esclarecer a influência das pressões hiperbáricas no sistema antioxidante dos tomates.

## 8. REFERÊNCIAS.

AGRIANUAL 2017: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comercio, 2015. 472 p.

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. High pressure processing of fruits and vegetables. **Stewart Postharvest Review**, London, v.1, n.8, p.1-10, 2006.

AZABOU, S.; ABID, Y.; SEBII, H.; FELFOUL, I.; GARGOURI, A.; ATTIA, H. Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. **Food Science and Technology**, London, v.68, p.280-287, 2016.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 16<sup>th</sup> ed. Washington: Ed. Patrícia Cunniff, 1997. v.2, cap.37.

BABA, T.; COMO, G.; OHTSUBO, T.; IKEDA, F.; LIZADA, M. C. C. Effects of high-pressure treatment on mume fruit (*Prunus mume*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.4, p.399-401, 1999.

BABA, T.; IKEDA, F. Use of high-pressure treatment to prolong the postharvest life of mume fruit (*Prunus mume*). **Acta Horticulturae**, Leuven, v.628, p.373-377, 2003.

BATU, A. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.61, p.471-475, 2004.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, New York, v.44, p.276-287, 1971.

BECKLES, D.M. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.63, n.1, p.129-140, 2012.

BOONKORN, P. Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. **International Food Research Journal**, Serdang, v.23, n.3, p.934-938, 2016.

BRANDT, S.; PÉK, Z.; BARNA, É.; LUGASI, A.; HELYES, L. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.86, p.568-572, 2006.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, Zurich, v.28, p.25-30, 1995.

CASTAGNA, A.; DALL'ASTA, C.; CHIAVARO, E.; GALAVERNA, G.; RANIERI, A. Effect of Post-harvest UV-B Irradiation on Polyphenol Profile and Antioxidant Activity in Flesh and Peel of Tomato Fruits. **Food Bioprocess Technology**, Boca Raton, v.7, p.2241-2250, 2014.

CHEN, L.; VIGNEAULT, C.; RAGHAVAN, V.G. S.; KUBOW, S. Importance of the phytochemical content of fruits and vegetables to human health. **Stewart Postharvest Review**, London, v.3, n.3, 2007.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005 d. 575p.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Environmental Science**, 2014. Doi: 10.3389/fenvs.2014.00053.

DEL GIUDICE, R.; RAIOLA, A.; TENORE, G.C.; FRUSCIANTE, L.; BARONE, A.; MONTI, D.M.; RIGANO, M.M. Antioxidant bioactive compounds in tomato fruits at different ripening stages and their effects on normal and cancer cells. **Journal of Functional Foods**, Amsterdam, v.18, p.83-94, 2015.

FAGUNDES, C.; MORAES K.; PÉREZ-GAGO M.B.; PALOU, L.; MARASCHIN, M.; MONTEIRO, A.R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.109, p.73-81, 2015a.

FAGUNDES, C.; PALOU, L.; MONTEIRO, A.R.; PÉREZ-GAGO, M.B. Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. **Scientia Horticulturae**, New York, v.193, p.249-257, 2015b.

FERREIRA, S.M.R.; FREITAS, R.J.S.D.; KARKLE, E.N.L.; QUADROS, D.A.D.; TULLIO, L.T.; LIMA, J.J.D. Quality of tomatoes cultivated in the organic and conventional cropping systems. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.1, p.224-230, 2010.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist**, London, v.146, p.359-388, 2000.

GARCÍA, M.; CASARIEGO, A.; DÍAZ, R.; ROBLEJO, L. Effect of edible chitosan/zeolite coating on tomatoes quality during refrigerated storage. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Al Ain, v.26, n.3, p.238-246, 2014.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, New York, v.48, p.909-930, 2010.

GONZALEZ-AGUILAR, G.A.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; AYALA-ZAVALA, J.F.; YAHIA, E.M. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.21, n.10, p.475-482, 2010.

GORMLEY, R.; EGAN, S. Firmness and colour of the fruit of some tomato cultivars from various sources during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.29, n.6, p.534-538, 1978.

GOYETTE, B.; VIGNEAUL, C.; CHARLES, M.T.; RAGHAVAN.V.G.S. Pressure treatment for increasing fruit and vegetable qualities. **Stewart Postharvest Review**, London, v.3, n.5, 2007.

GOYETTE, B. **Hyperbaric treatment to enhance quality attributes of fresh horticultural produce**. 2010. 180 f. Thesis (Doctoral) - Department of Bioresource Engineering McGill University, Montreal Quebec, 2010.

GOYETTE, B.; VIGNEAULT, C.; WANG, N.; RAGHAVAN, V. Conceptualization, design and evaluation of a hyperbaric respirometer. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.105, n.2, 283-288, 2011.

GOYETTE, B.; VIGNEAULT, C.; RAGHAVAN, G.; CHARLES, M.T. Hyperbaric treatment on respiration rate and respiratory quotient of tomato. **Food Bioprocess Technology**, New York, v.5, p.3066-3074, 2012a.

GOYETTE, B.; VIGNEAULT, C.; CHARLES, M.T.; RAGHAVAN, G. Effect of hyperbaric treatments on the quality attributes of tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.92, n.3, p.541-551, 2012b.

GRATÃO, P.L.; POLLE, A.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v.32, p.481-494, 2005.

GUO, Q.; WU, B.; PENG, X.; WANG, J.; LI, Q.; JIN, J.; HA, Y. Effects of chlorine dioxide treatment on respiration rate and ethylene synthesis of postharvest tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.93, p.9-14, 2014.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry Biophysics**, Abingdon, v.125, p.2141-2145, 1968.

HENZ, G.; MORETTI, C. Tomate, Manejo pós-colheita. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v.30, p.24-28, 2005.

IGAMBERDIEV, A.U.; LEA, P.J. The role of peroxisomes in the integration of metabolism and evolutionary diversity of photosynthetic organism. **Phytochemistry**, Madison, v.60, p.651-674, 2002.

IMAHORI, Y.; BAI, J.; BALDWIN, E. Antioxidative responses of ripe tomato fruit to postharvest chilling and heating treatments. **Scientia Horticulturae**, New York, v.198, p.398-406, 2016.

JAVANMARDI, J.; KUBOTA, C. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.41, p.151-155, 2006.

KADER, A.A. Effects of postharvest handling procedures on tomato quality. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.209-221, p.190, 1986.

KADER, A.A. Postharvest biology and technology: an Overview. In: KADER, A.A. **Postharvest technology of horticultural crops**. Davis: University of California, 2002. p.43-54.

KANTOLA, M.; HELÉN, H. Quality changes in organic tomatoes packaged in biodegradable plastic films. **Journal of Food Quality**, London, v.24, p.167-176, 2001.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, Wadsworth, v.57, p.315-319, 1976.

KAUR, C.; WALIA, S.; NAGAL, S.; WALIA, S.; SINGH, J.; SINGH, B .B.; SAHA, S.; SINGH, B.; KALIA, P.; JAGGI, S.; SARIKA. Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v.50, p.139-145, 2013.

KIM, J.Y.; LEE, J.S.; KWON, T.R.; LEE, S.I.; KIM, J.A.; LEE, G.M.; PARK, S.C.; JEONG, M.J. Sound waves delay tomato fruit ripening by negatively regulating ethylene biosynthesis and signaling genes. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.110, p.43-50, 2015.

KOU, X.; WANG, Y.; CHEN, Q.; XUE, Z.; BAI, Y.; ZHOU, F. Effects of Hypobaric Treatments on the Quality, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Tomato. **Journal of Food Science**, Oxford, v.81 n.7, 2016.

LEE, S.K.; KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.20, n.3, p.207-220, 2000.

LIMA, E.S.; ABDALLA, D.S. Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, v.37, p.293-303, 2001.

LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; OLIVEIRA, A.M. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.1, p.21-25, 1999.

LIPLAP, P. **Respiration rate in transient period, its implication on the effect of hyperbaric pressure treatment; the treatment advantage in shelf life extension of various commodities.** 2013. 281f. Thesis (Doctoral) - Department of Bioresource Engineering McGill University, Montreal Quebec, 2013.

LIPLAP, P., VIGNEAULT, C., TOIVONENC, P., CHARLES, M.T.; RAGHAVAN, G.V. Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of tomato. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.86, p.240-248, 2013a.

LIPLAP, P.; CHARLEBOIS, D.; CHARLES, M.T.; TOIVONENC, P.; VIGNEAULT, C.; RAGHAVAN, G.V. Tomato shelf-life extension at room temperature by hyperbaric pressure treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.86, p.45-52, 2013b.

LIPLAP, P.; VIGNEAULT, C.; TOIVONEN, P.; BOUTIN, J.; RAGHAVAN, G.V. Effect of hyperbaric treatment on respiration rates and quality attributes of sweet corn. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, Olney, v.3, n.3, p.257-271, 2013c.

LIPLAP, P.; VIGNEAULT, C.; RENNIE, T.J.; BOUTIN, J.; RAGHAVAN, G.V. Method for determining the respiration rate of horticultural produce under hyperbaric treatment. **Food Bioprocess Technology**, Boca Raton, v.7, n.9, p.2461-2471, 2014a.

LIPLAP, P.; BOUTIN, J.; LEBLANC, D.I.; VIGNEAULT, C.; VIJAYA RAGHAVAN, G.S. Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of Boston lettuce. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v.49, n.1, p.137-145, 2014b.

LIU, C.; HAN, X.; CAI, L.; LU, X.; YING, T.; JIANG, Z. Postharvest UV-B irradiation maintains sensory qualities and enhances antioxidant capacity in tomato fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.59, n.3, p.232-237, 2011.

LÓPEZ CAMELO, A.; GÓMEZ, P. Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.22, n.3, p.534-537, 2004.

LUNA-GUEVARA, M.L.; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, O.; LUNA-GUEVARA, J.J.; HERNÁNDEZ-CARRANZA, P.; OCHOA-VELASCO, C.E. Quality parameters and bioactive compounds of red tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) cv Roma VF at different postharvest conditions. **Journal of Food Research**, Toronto, v.3, n.5, p.8, 2014.

MAHARAJ, R.; ARUL, J.; NADEAU, P. UV-C irradiation effects on levels of enzymic and non-enzymic phytochemicals in tomato. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, New York, v.21, p.99-106, 2014.

MALUNDO, T.M.M.; SHEWFELT, R.L.; SCOTT, J.W. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.6, p.103-110, 1995.

MARTÍ, R.; ROSELLÓ, S.; CEBOLLA-CORNEJO, J. Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. **Cancers**, Basel, v.8, n.6, p.58, 2016.

MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M.J.; PROVAN, G.; CHESSON, A. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.82, n.3, 323-330, 2002.

MATTIUZ, B.H. Fatores da pré-colheita influenciam a qualidade final dos produtos. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, v.7, p.18-21, 2007.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Journal-Japanese Society of Food Science and Technology**, Tokyo, v.39, n.10, p.925-928, 1992.

NASCIMENTO, A.D.R.; SOARES JÚNIOR, M.S.; CALIARI, M.; FERNANDES, P.M.; RODRIGUES, J.P.; CARVALHO, W.T. Quality of tomatoes for fresh consumption grown in organic and conventional systems in the state of Goiás, Brazil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.31, n.4, p.628-635, 2010.

NASCIMENTO, J.B.; BARRIGOSI, J.A.F. O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. **Agrarian Academy**, Goiânia, v.1, p.234-250, 2014.



OLIVEIRA, D.S.; AQUINO, P.P.; RIBEIRO, S.M.R.; PROENÇA, R.P.C.; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Health Sciences**, Maringá, v.33, n.1, p.89-98, 2011.

OMS-OLIU, G.; HERTOOG, M.L.A.T.M.; VAN DE POEL, B.; AMPOFO-ASIAMA, J.; GEERAERD, A.H.; NICOLAÏ, B.M. Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development, ripening, and postharvest shelf-life. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.62, n.1, p.7-16, 2011.

PANIAGUA, A.C.; EAST, A.R.; HINDMARSH, J.P.; HEYES, J. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.79, p.13-19, 2013.

PEDRESCHI, R.; LURIE, S. Advances and current challenges in understanding postharvest abiotic stresses in perishables. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.107, p.77-89, 2015.

RAGHAVAN, G.S.V.; VIGNEAULT, C.; GARIÉPY, Y.; MARKARIAN, N.; ALVO, P. Refrigerated and controlled/modified atmosphere storage. In: BARRETT, D.M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, S.F. (Ed.). **Processing fruits: Science and technology**. Boca Raton: CRC Press, 2004.p.23-52.

ROMANAZZI, G.; NIGRO, F.; IPPOLITO, A. Effectiveness of a short hyperbaric treatment to control postharvest decay of sweet cherries and table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.49, n.3, p.440-442, 2008.

SALTVEIT, M. Temperature extremes. In: BARTZ, J.A. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. New York: Marcel Dekket, 2003. p.438-457.

SANINO, A. **Conservação de tomate (*Lycopersicum esculentum*) 'Debora', submetido a diferentes condições de resfriamento e aquecimento intermitente**. 2004. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCHOUTEN, R.E.; WOLTERING, E.J.; TIJSKENS, L.M.M. Sugar and acid interconversion in tomato fruits based on biopsy sampling of locule gel and pericarp tissue. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.111, p.83-92, 2016.

SEVILLANO, L.; SANCHEZ-BALLESTA, M.T.; ROMOJARO, F.; FLORES, F.B. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.89, p.555-573, 2009.

SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.46, p.209-221, 2005.

SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A.J.R. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.16, n.3, p.144-158, 1965.

SMITA, S.; RAJWANSHI, R.; LENKA, S.K.; KATIYAR, A.; CHINNUSAMY, V.; BANSAL, K.C. Expression profile of genes coding for carotenoid biosynthetic pathway during ripening and their association with accumulation of lycopene in tomato fruits. **Journal of Genetics**, Hyderabad, v.92, n.3, p.363-368, 2013.

STAJCIC, S.; CETKOVIC, G.; CANADANOVIC-BRUNET, J.; DJILAS, S.; MANDIC, A.; CETOJEVIC-SIMIN, D. Tomato waste: varotenoids content, antioxidant and cell growth activities. **Food Chemistry**, New York, v.172, p.225-232, 2015.

SU, L.; DIRETTO, G.; PURGATTO, E.; DANOUN, S.; ZOUINE, M.; LI, Z.; ROUSTAN, J.; BOUZAYEN, M.; GIULIANO, G.; CHERVIN, C. Carotenoid accumulation during tomato fruit ripening is modulated by the auxin-ethylene balance. **BMC Plant Biology**, London, v.15, n.1, p.114, 2015.

TOHGE, T.; ALSEEKH, S.; FERNIE, A.R. On the regulation and function of secondary metabolism during fruit development and ripening. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.65, n.16, p.4599-4611, 2014.

TSANIKLIDIS, G.; DELIS, C.; NIKOLOUDAKIS, N.; KATINAKIS, P.; AIVALAKIS, G. Low temperature storage affects the ascorbic acid metabolism of cherry tomato fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v.84, p.149-157, 2014.

TÜRK, R.; SENIZ, V.; ÖZDEMİR, N.; SÜZEN, M.A. Changes in the chlorophyll carotenoid and lycopene contents of tomatoes in relation to temperature. **International Symposium on Postharvest Treatment of Horticultural Crops**, Wageningen, v.368, p.856-862, 1993.

USALL, J.; IPPOLITO, A.; SISQUELLA, M.; NERI, F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.122, p.30-40, 2016.

VIGNEAULT, C.; LEBLANC, D.I.; GOYETTE, B.; JENNI, S. Invited review: engineering aspects of physical treatments to increase fruit and vegetable phytochemical content. **Canadian Journal of Plant Science**, Washington, v.92, n.3, p.373-397, 2012.

WANG, Y.; WANG, B.; LI, L. Keeping quality of tomato fruit by high electrostatic field pretreatment during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.88, n.3, p.464-470, 2008.

YI, J.; FENG, H.; BI, J.; ZHOU, L.; ZHOU, M.; CAO, J.; LI, J. High hydrostatic pressure induced physiological changes and physical damages in asparagus spears. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.118, p.1-10, 2016.

ZHU, T.; TAN, W.R.; DENG, X.G.; ZHENG, T.; ZHANG, D.W.; LIN, H.H. Effects of brassinosteroids on quality attributes and ethylene synthesis in postharvest tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v.100, p.196-204, 2015.