

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

**QUALIDADE DE BRÓCOLIS E CAJU SUBMETIDOS A  
ATMOSFERAS HIPERBÁRICAS**

**Emmanuel Moreira Pereira**

**Engenheiro Agrônomo**

**2019**

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

**QUALIDADE DE BRÓCOLIS E CAJU SUBMETIDOS A  
ATMOSFERAS HIPERBÁRICAS**

**Discente: Emmanuel Moreira Pereira**

**Orientador: 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)**

**2019**

P436q      Pereira, Emmanuel Moreira  
Qualidade de brócolis e caju submetidos a atmosferas  
hiperbáricas / Emmanuel Moreira Pereira. -- Jaboticabal,  
2019  
88 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista  
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
Jaboticabal

Orientador: Ben-Hur Mattiuz

1. Pós-colheita. 2. *Anacardium occidentale* L. 3.  
*Brassica oleracea* var. itálica. 4. Pressão hiperbárica. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade  
de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor.

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DE BRÓCOLIS E CAJU SUBMETIDOS A ATMOSFERAS HIPERBÁRICAS

**AUTOR: EMMANUEL MOREIRA PEREIRA**

**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

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

Prof. Dr. RICARDO ALFREDO KLUGE  
Departamento de Ciências Biológicas-ESALQ/USP / Piracicaba/SP

Prof. Dr. ANGELO PEDRO JACOMINO  
Departamento de Produção Vegetal-ESALQ/USP / Piracicaba/SP

Pesquisadora Dra. JULIANA SANCHES DE LAURENTIZ  
IAC / Campinas/SP

Jaboticabal, 29 de julho de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Emmanuel Moreira Pereira, nascido em Alexandria, Rio Grande do Norte, no dia 07 de janeiro de 1990. Filho de Flamaliel Fábio Pereira e Joaquina Ionete Fernandes Moreira Pereira. Em 2009, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Campina Grande, câmpus de Pombal. Durante toda a graduação realizou estágio na área de Pós-colheita, sendo bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no período de 2010 a 2012. Com defesa da monografia em fevereiro de 2014, recebeu o título de Engenheiro Agrônomo. Em março de 2014 ingressou no curso de mestrado em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande de Campina Grande/UFCG. Em fevereiro de 2016 obteve o título de mestre em Engenharia Agrícola (Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas) pela Universidade Federal de Campina Grande, com a dissertação intitulada “Produção de farinha obtida de brotos de palma”. Em Agosto de 2016 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 da CAPES. Em Março de 2018 iniciou o curso de especialização em Ciências dos Alimentos, pela Universidade Federal de Pelotas de Pelotas-RS, com trabalho de conclusão de curso intitulado “Conservação de goiaba vermelha ‘Pedro Sato’ pelo uso de recobrimento à base de quitosana e gelatina pela técnica layer-by-layer”, recebendo o título de especialista em Ciência dos Alimentos em Março de 2019. Atualmente é servidor público da Universidade Federal da Paraíba, Câmpus Bananeiras – Paraíba.

Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes.

Isaac Newton

Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros foram.

Alexandre Graham Bell

Tudo é do Pai, toda honra e toda glória; é Dele a vitória alcançada em minha vida

Padre Fábio de Melo

Primeiramente a Deus, pois sempre foi meu pilar nos momentos mais difíceis,  
dando-me força e perseverança.

A meus pais, Flamaliel e Joaquina, a meu irmão Ivo Lucas por serem as pessoas  
mais importantes para mim e os que me ensinaram os valores da vida, sinônimos de  
honestidade, humildade e amor. Obrigado por serem exemplo de perfeição e  
dedicação a nossa família.

In memória do meu avô, Gregório Moreira, minha tia avó Maria de Lurdes, ao meu  
padrinho João Benicio e meu tio Ricardo, pois sempre encontrei apoio e dedicação.  
Eternas Saudades

Aos meus amigos e familiares que acreditaram em mim e me incentivaram  
para a realização deste trabalho.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que sempre esteve presente em minha vida, possibilitando esta conquista.

À minha família, que sempre apoiaram e dedicaram suas vidas à minha educação não medindo esforços para que pudesse concluí-la.

Ao meu orientador Prof. Ben-Hur Mattiuz e sua esposa Profa Claudia Mattiuz, pela oportunidade e que sempre me deu apoio me orientando a traçar os melhores caminhos, o meu muito obrigado.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, pela infraestrutura.

À Comissão do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela realização do curso de doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À empresa Val frutas pelo fornecimento dos frutos.

À toda equipe do Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Unesp/FCAV, em especial a Anderson Formiga, José Pinsetta Junior, Isabela Cordeiro, Karolayne Emiliano e Ariadne Marino pela amizade e as valiosas contribuições durante essa jornada e aos demais membros do grupo de Pós-colheita que de forma direta ou indireta contribuíram na realização deste trabalho.

Aos colegas de trabalho Hemmannuella Costa, Leandro Firmino, Welliton Barros, Suziane Regis, Kilma Silva, Richelita Casali e Daniel Mendes aos quais tenho imensa admiração e estima.

Aos amigos da república toca fogo que foram minha família durante esse período de pós-graduação.

E a todos que contribuíram de alguma maneira para a conclusão deste trabalho, e desta etapa da minha vida.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....</b>	<b>3</b>
1. Introdução .....	3
2. Revisão de literatura .....	5
3. Referências.....	10
<b>CAPÍTULO 2 - Altas pressões na conservação pós-colheita de brócolis .....</b>	<b>xiii</b>
1. Introdução .....	16
2. Material e métodos.....	17
3. Resultados e discussão .....	22
4. Conclusões .....	36
5. Agradecimentos .....	36
6. Referências.....	37
<b>CAPÍTULO 3 - Tratamentos hiperbáricos no aumento da vida útil de caju.....</b>	<b>xli</b>
1. Introdução .....	43
2. Material e métodos.....	44
3. Resultados e discussão .....	51
4. Conclusões .....	78
5. Agradecimentos .....	78
6. Referências.....	78
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>87</b>

## Qualidade de brócolis e caju submetidos a atmosferas hiperbáricas

**Resumo** - O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade pós-colheita de caju e brócolis 'Legacy' após diferentes períodos de altas pressões. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da FCAV-UNESP, Câmpus de Jaboticabal, utilizando inflorescências e cajus provenientes de produções comerciais da região de Taiuva e Taquaritinga-SP. O primeiro experimento submeteu-se as inflorescências aos níveis de pressão hiperbárica aplicados foram 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa a temperatura de  $22\pm 1^\circ\text{C}$ , durante 1, 2 e 3 dias. O segundo experimento consistiu em submeter os cajus às condições de pressão anteriormente durante 1, 2 e 4 dias, e por mais 2 dias em condição de ambiente ( $22^\circ\text{C}$ , 50% UR). Foram realizadas análises para avaliar a qualidade pós-colheita (perda de massa, firmeza, coloração da casca, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, taxa respiratória, produção de etileno ácido ascórbico, atividade antioxidante total, teor de taninos, peroxidação de lipídeos e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD). A pressão de 800 kPa a  $22^\circ\text{C}$  diminuiu a perda de massa. A mesma tendência foi observada para a firmeza. As altas pressões (400, 600 e 800 kPa) influenciaram a menor taxa respiratória dos brócolis e cajus. Observou-se uma relação diretamente proporcional entre a pressão aplicada e a diminuição do teor de taninos nos cajus, ocorrendo a redução da síntese desse composto fenólico. 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 brócolis e cajus.

**Palavras chave:** *Anacardium occidentale* L., *Brassica oleracea* var. itálica, altas pressões, conservação, amadurecimento.

## Quality of broccoli and cashew submitted to hyperbaric atmospheres

**Abstract** - The objective of this work was to evaluate the postharvest quality of cashew and broccoli 'Legacy' stalks after different periods of high pressure. The experiments were carried out at the Post Harvest Technology Laboratory of FCAV-UNESP, Jaboticabal Campus, using inflorescences and cashews from commercial productions from Taiuva and Taquaritinga-SP. The first experiment submitted inflorescences to hyperbaric pressure levels of 100 (control), 200, 400, 600 and 800 kPa at  $22 \pm 1$  ° C for 1, 2 and 3 days. The second experiment consisted of subjecting the cashews to pressure conditions previously for 1, 2 and 4 days, and for 2 more days at ambient conditions (22 °C, 50% RH). Analyzes were performed to evaluate postharvest quality (mass loss, firmness, peel color, soluble solids content, titratable acidity, respiratory rate, ethylene ascorbic acid production, total antioxidant activity, tannin content, lipid peroxidation and activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) ). The pressure of 800 kPa at 22 °C decreased the mass loss. The same tendency was observed for the firmness. The high pressures (400, 600 and 800 kPa) influenced the lower respiratory rate of broccoli and cashews, and a directly proportional relationship was observed between the pressure applied and the reduction of tannin content in the cashews, reducing the synthesis of this phenolic compound. Pressures (400, 600 and 800 kPa) also influenced increased CAT enzymatic activity and decreased POD, enzymes related to fruit senescence. The pressures from 400 to 800 kPa have been shown to be effective for postharvest conservation of broccoli and cashews.

**Keywords:** *Anacardium occidentale* L., *Brassica oleracea* var. *italica*, high pressures, conservation, ripening.

## CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

### 1. Introdução

Frutas e hortaliças são importantes fontes de vitaminas, minerais, fibras, e outros compostos bioativos, além de apresentarem baixos valores energéticos, fazendo de seu consumo em níveis adequados um importante fator protetor para morbidade (doenças cardiovasculares, hipertensão, diabetes e alguns tipos de câncer) e mortalidade (Brasil, 2014; Resende et al., 2016).

As frutas e hortaliças possuem tempo de prateleira é curto, deteriorando-se rapidamente e sua estocagem por longos períodos é tecnicamente inviável, fato que exige rapidez no seu processo de comercialização, desde a sua produção até o consumidor final (Martins, Margarido, Bueno, 2007). Dentre as frutas e hortaliças que mais são comercializadas no estado de São Paulo, destaca-se o brócolis de cabeça única e o caju, que possuem tempo de vida útil curto e alto valor agregado, com técnicas caras de conservação para aumento da vida de prateleira, como a refrigeração que encarece o custo do produto.

O brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) é uma hortaliça pertencente à família Cruciferae atual Brassicaceae, que apresenta-se como boa fonte de betacaroteno, vitamina C, selênio, fibra, luteína, zeaxantina, vitamina K, ácido fólico e minerais como cálcio, potássio, fósforo e enxofre, que contribuem para os efeitos promotores da saúde (Carvalho et al., 2006, Agte et al., 2000). O brócolis possui alta perecibilidade, apresentando vida útil restrita a apenas 2 dias em temperatura ambiente (23 °C) (Gioppo, 2011).

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é originário da região Amazônica brasileira. A fruta do cajueiro é formada por um pseudofruto, sendo esse o pedúnculo desenvolvido e suculento, e pela castanha, que é o fruto verdadeiro do tipo aquênio reniforme com pericarpo rígido e coloração verde-cinza (Lima, 1988; Vaughan e Geissler, 1997), com uma vida útil restrita a 48 horas após a colheita em temperatura ambiente (23 °C).

O tratamento hiperbárico é um tratamento físico que consiste em armazenar o produto vegetal em um ambiente com pressão parcial de oxigênio artificialmente elevada para valores acima de 21 kPa.

Pesquisas recentes demonstram a possibilidade do uso de pressões hiperbáricas para retardar os mecanismos fisiológicos de amadurecimento e senescência em vegetais. Inestroza-Lizardo et al. (2018) verificaram que aplicações de pressão hiperbárica possibilitaram retardo no amadurecimento de tomate cv. 'Débora', evidenciado pela redução da taxa respiratória e pela pouca mudança na coloração dos frutos, quando comparados ao controle. Além disso, autores observaram a manutenção da massa fresca e da firmeza, em frutos tratados com alta pressão quando comparados aos frutos de tomates sem esse tratamento (Vigneault et al., 2012; Liplap et al., 2013).

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). 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. (2013), e da produção de fitoalexinas, induzindo resistência contra patógenos, como o *Botrytis cinerea* (Romanazzi, Nigro, Ippolito, 2008).

Apesar de resultados promissores terem sido publicados em relação ao uso de pressões hiperbáricas na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças, as 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 desta tecnologia, com caju e brócolis, 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 (22 °C), na qualidade pós-colheita de brócolis e caju.

## 2. Revisão de literatura

### 2.1 O brócolis

O brócolis (*Brassica oleracea* var. *itálica*), é uma hortaliça que pertence à família das Brassicaceae, possui cor verde escura e inflorescência central compacta ou inflorescências laterais (tipo ramoso) (Figueira, 2005). É originária da Costa do Mediterrâneo e cresce de forma satisfatória na maioria das regiões do mundo. O cultivo durante os meses de temperatura amena proporciona a planta melhor desenvolvimento e melhor aparência (Tavares, 2000).

No Brasil, seu cultivo é realizado em todo país, principalmente nos cinturões verdes dos estados de São Paulo e Minas Gerais. A maior parte da produção é destinada ao mercado in natura em feiras livres, quitandas e supermercados. Somente no primeiro semestre de 2017 a Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), comercializou o equivalente a 8,4 toneladas de brócolis no estado de São Paulo (Agrinual, 2018).

O brócolis possui alta perecibilidade, apresentando vida útil restrita a apenas 2 dias em temperatura ambiente (Gioppo, 2011), após esse período perde massa fresca, assim como a perda da coloração verde. Sua senescência é rápida devido à elevada produção de etileno e da taxa respiratória, fazendo-se necessário o uso da refrigeração para prolongar a vida útil deste vegetal; contudo essa é uma tecnologia cara, que onera o processo de produção. Como explicam Raghavan et al. (2004), a refrigeração é uma tecnologia que requer um alto consumo energético, além de não permitir sua implementação em regiões não servidas pela energia elétrica.

Outras técnicas são utilizadas para o prolongamento da vida útil desse vegetal, como diferentes concentrações de O<sub>2</sub> e de CO<sub>2</sub> na atmosfera, conseguiram diminuição da taxa respiratória e prolongamento da vida de prateleira de até 4 dias quando comparados com o tratamento controle (Kader et al. 1989). Redução da temperatura (Salveit, 1999) que proporciona o aumento na vida de prateleira. Able et al. (2003) e Ku e Wills (1999) com aplicação de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) no escuro e na temperatura de armazenamento de 10 e 8 °C, obtiveram aumento no tempo de armazenamento de 21 e 67% respectivamente, quando comparados com

os vegetais não tratados. Contudo, na utilização de atmosfera controlada necessita-se de refrigeração, tornando-se uma tecnologia cara com os custos da implantação da atmosfera modificada além da refrigeração, assim como a aplicação de 1-MCP.

## 2.2 O caju

O caju é constituído por uma parte denominada castanha (fruto), a qual é processada industrialmente (torrada) e apresenta maior relevância econômica; e o pseudofruto ou pedúnculo carnudo, botanicamente denominado de hipocarpo também conhecido como maçã de caju, cuja polpa é consumida *in natura* ou utilizada no preparo de sucos, compotas, doces, etc.

O caju desempenha papel importante na economia da região nordeste (Souza et al., 2016). O Brasil lidera o ranking com 1,7 milhões de toneladas, seguido por Madagascar (75 mil toneladas), Mali (70 mil toneladas) e Guiana (5 mil toneladas) (Faostat, 2018).

Dentre os estados brasileiros produtores de caju com destino *in natura* (pedúnculo), destaca-se São Paulo, com um volume de comercialização de 673 toneladas de caju por ano, movimentando cerca de 12,3 milhões de reais por ano, o que corresponde preço médio de R\$ 18,23 por quilo da fruta (Agrinual, 2019).

O caju possui teores significativos de ácido ascórbico e carotenoides e alto potencial antioxidante (Lopes et al., 2012). Compostos fenólicos como ácidos fenólicos, flavonoides e taninos também foram identificados no caju (Brito et al., 2007, Michodjehoun-Mestres et al., 2009).

O caju é classificado como não-climatérico, com baixa produção de etileno, porém, alta atividade respiratória, resultando em período de vida útil curta, em torno de 48 horas após colhido e armazenado a temperatura ambiente (22 °C) (Moura et al., 2010). Apresenta acentuada perda de massa fresca e firmeza, além de elevado índice de podridões.

Há falta de técnicas de manejo pós-colheita adequadas que, juntas, contribuem para quase 80% de perda de produção, além da grande fragilidade do

caju, a estação de crescimento/produção é restrita ao segundo semestre do ano no país (Souza et al., 2016).

Tecnologias têm sido empregadas para manter a qualidade pós-colheita do caju, bem como estender o tempo de armazenamento da fruta. Moura et al. (2010), utilizaram temperatura baixa, em torno de 3 °C, umidade relativa de 85%, sob atmosfera modificada, e obtiveram aumento da vida útil dos cajus, chegando a 14 dias de vida útil. Moura et al. (2009), utilizaram filmes de PVC na conservação dos cajus com refrigeração à temperatura de 7 °C, chegando a uma vida útil de aproximadamente 14 dias.

### **2.3 Atmosfera hiperbárica**

Na pós-colheita, o uso de pressões hiperbáricas tem sido considerado um método físico promissor para a conservação de frutas e hortaliças. Esta técnica consiste em submeter os produtos frescos a pressão de 100 a 1000 kPa, utilizando-se para isto um fluxo constante de ar comprimido, por um período de algumas horas ou dias (Goyette et al., 2012a).

Trabalhos recentes demonstram a possibilidade do uso de pressões hiperbáricas para retardar os mecanismos fisiológicos de amadurecimento e de senescência em vegetais. Pesquisas de Inestroza-Lizardo et al. (2018) verificaram que aplicações de pressão hiperbárica (200, 400, 600 e 800 kPa) possibilitaram retardo no amadurecimento de tomate cv. 'Débora', evidenciado pela redução da taxa respiratória e pela pouca mudança na coloração dos frutos, quando comparados ao controle. Além disso, esses autores observaram a manutenção da massa fresca e da firmeza, em frutos tratados com alta pressão quando comparados aos frutos de tomates do controle.

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. O tratamento hiperbárico foi proposto



como alternativa para alfaces armazenadas por um curto período sem refrigeração (Liplap et al., 2014). Os autores observaram que alfaces submetidas a 850 kPa durante 5 dias à 20 °C, apresentaram taxas respiratórias estáveis, maior turgescência, conteúdo de clorofila e qualidade visual, em relação aquelas não tratadas (100 kPa a 20 °C).

Pesquisas de Goyette et al. (2012a, b) verificaram que aplicações de pressão hiperbárica em tomates possibilitaram retardo no amadurecimento dos frutos tratados, demonstrado pela redução da taxa respiratória de até 22% e da coloração quando comparado ao controle; pela perda da massa fresca diária dos tomates armazenados a 1 atm que foi de 2,73% e de apenas 0,47% nos armazenados a 5 atm<sub>abs</sub>. Além disso, os autores observaram retardo da coloração e firmeza, quando comparados aos frutos sob pressão ambiente.

As pressões hiperbáricas diferem dos tratamentos de alta pressão em alimentos (100000 e 1200000 kPa) (Goyette et al., 2007), as quais são consideradas elevadas para frutas e hortaliças frescas, pois ocasionariam danos irreversíveis nos tecidos, sendo utilizados em alimentos processados (Ahmed e Ramaswamy, 2006; Yi et al., 2016).

Estes resultados demonstraram que o tratamento hiperbárico aplicado a diferentes frutas e hortaliças pode ter uma complexa diversidade de respostas fisiológicas e as condições ideais para preservá-las podem ser diferentes, dependendo do produto, induzido a produção/manutenção de compostos antioxidantes, durante e/ou após o período de pressão.

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 (Inestroza-Lizardo, 2017). Goyette (2010) verificou retardo da síntese de licopeno de tomates submetidos a diferentes níveis de pressão hiperbárica, quando comparados aos frutos controle. Entretanto, após a retirada dos tomates da condição de pressão, e deixados completar o amadurecimento, os pesquisadores constataram aumento significativo de 26% do teor de licopeno dos frutos tratados, em relação aos frutos à pressão ambiente.

Isso indica que mudanças no metabolismo antioxidante em plantas ocorrem geralmente em resposta a mudanças nas condições ambientais. Por exemplo, baixas temperaturas e altas concentrações de O<sub>2</sub> em torno da fruta podem resultar no acúmulo de peróxido de hidrogênio (Prasad; Anderson; Stewart, 1994). Este composto é reativo e causa peroxidação lipídica e desnaturação protéica (Halliwell; Gutteridge, 1989). Dessa forma, para minimizar os efeitos danosos resultantes da ação desses compostos há ativação do sistema de defesa antioxidante enzimático, que envolve oxirredutases como a superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) e glutathione redutase (GR) e do sistema antioxidante não enzimático, que promove a síntese de compostos como GSH (glutathione reduzida), ácido ascórbico,  $\alpha$ -tocoferol, betacaroteno, licopeno e polifenóis (Mallick; Mohn, 2000).

Segundo Gill e Tuteja (2010) os estresses abióticos levam à superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROS) 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 glutathione redutase (GR) (Gonzalez-Aguilar et al., 2010).

O aumento da síntese desses compostos bioativos, especialmente em caju e brócolis, se reveste de importância dada a associação destes com a prevenção de importantes doenças humanas, melhorando a funcionalidade desses alimentos (Chen et al., 2007).

Contudo este é o primeiro relato do uso de atmosferas hiperbáricas na qualidade pós-colheita de caju e brócolis 'Legacy' após diferentes períodos de altas pressões.

### 3. Referências

Able AJ, Wong LS, Prasad A, O'Hare TJ (2003) The effects of 1-methylcyclopropene on the shelf life of minimally processed leafy Asian vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, 27:2, 157-161.

Agte VV, Tarwadi KV, Mengale S, Chiplonkar SA (2000) Potential of traditionally cooked green leafy vegetables as natural sources for supplementation of eight micronutrients in vegetarian diets. **Journal of Food Composition and Analysis**, 13(6), 885-891. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0942>

Ahmed J, Ramaswamy HS (2006) High pressure processing of fruits and vegetables. **Stewart Postharvest Review**, London, 1, 8,1-10.

AGRIANUAL (2019) Goiaba In: AGRIANUAL (23 ed.) **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p. 285–287.

Brasil, Ministério da Saúde (BR), Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2.ed. Brasília (DF); 2014 [citado 29 mar 2019]. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia\\_alimentar\\_populacao\\_brasileira\\_2ed.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf)

Brito ES, Araujo MCP, Lin LZ, Harnly J (2007). Fermentation of cashew (*Anacardium occidentale* L.)“apple” into wine. Determination of the flavonoid components of cashew apple (*Anacardium occidentale*) by LC-DAD-ESI/MS. **Food Chemistry**, 105, 1112-1118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.02.009>.

Carvalho PG, Machado, CMM, Moretti CL, Fonseca MDN (2006) Hortaliças como alimentos funcionais. **Embrapa Hortaliças**-Artigo em periódico indexado.

Chen L, Vigneault C, Raghavan GV, Kubow S (2007) Importance of the phytochemical content of fruits and vegetables to human health. **Stewart Postharvest Rev**, 3:2.

Faostat (2018). **Food and Agricultural Organization Statistics**.

Filgueira, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na**

**produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 412 p.

Gill SS, Tuteja N (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant physiology and biochemistry**, 48:12, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.

Gioppo M (2011). **Pós-colheita de brócoliss, repolho roxo e alface sob diferentes ambientes e reguladores.** Dissertação de Mestrado. UEPG. Ponta Grossa-PR.

Gonzalez-Aguilar GA, Villa-Rodriguez JA, Ayala-Zavala JF, Yahia EM (2010) Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends in Food Science & Technology**, 21:10, 475-482. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.004>.

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

Goyette B, Charles MT, Vigneault C, Raghavan GV (2007) Pressure treatment for increasing fruit and vegetable qualities. **Stewart Postharvest Review**, 3:3, 1-6.

Goyette B, Vigneault C, Raghavan V, Charles M T (2012) Hyperbaric treatment on respiration rate and respiratory quotient of tomato. **Food and bioprocess technology**, 5:8, 3066-3074. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0671-y.a>

Goyette B, Vigneault C, Charles MT, Raghavan VG (2012). Effect of hyperbaric treatments on the quality attributes of tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, 92:3, 541-551. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-168.b>

Halliwell B, Gutteridge J (1989) **Free radicals in biology and medicine.** Oxford: Clarendon Press. 245 p.

Inestroza-Lizardo CO (2017) **Pressão hiperbárica e temperatura na qualidade pós-colheita de tomate 'Débora'.** Tese de Doutorado. Unesp. Jaboticabal-SP

Inestroza-Lizardo C, Mattiuz BH, Silva JP, Galati VC, Voigt V (2018) Hyperbaric

pressure at room temperature increases post-harvest preservation of the tomato cultivar 'Débora'. **Scientia Horticulturae**, 228, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.013>.

Kader AA, Zagory D, Kerbel EEL (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 38:1, 1-30.

Ku VVV, Wills RBH (1999) Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, 17:2, 127-132.

Lima VDPMS (1988) A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil. BNB: **Estudos Econômicos e Sociais**, p. 107-117.

Liplap P, Vigneault C, Toivonen P, Charles MT, Raghavan GV (2013) Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of tomato. **Postharvest biology and technology**, 86, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.002>.

Liplap P, Boutin J, LeBlanc DI, Vigneault C, Vijaya Raghavan GS (2014). Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of Boston lettuce. **International Journal of Food Science & Technology**, 49:1, 137-145. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12288>.

Lopes MMDA, Miranda MRAD, Moura CFH, Enéas Filho J (2012) Bioactive compounds and total antioxidant capacity of cashew apples (*Anacardium occidentale* L.) during the ripening of early dwarf cashew clones. **Ciência e Agrotecnologia**, 36:3, 325-332. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000300008>.

Mallick N, Mohn FH (2000) Reactive oxygen species: response of algal cells. **Journal of Plant Physiology**, 157:2, 183-193. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80189-3](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80189-3).

Martins VA, Margarido MA, Bueno CRF (2007) Alteração no perfil de compras de frutas, legumes e verduras nos supermercados e feiras livres na cidade de São Paulo. **Informações econômicas**. São Paulo, 37:2.

Michodjehoun-Mestres L, Souquet JM, Fulcrand H, Bouchut C, Reynes M, Brillouet JM (2009). Monomeric phenols of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). **Food**

**Chemistry**, 112:4, 851-857. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.056>.

Moura CFH, Figueiredo RWD, Alves RE, Silva EDO, Araújo PGLD, Maciel VT (2010) Increasing shelf life of early dwarf cashew tree peduncle through reduction of storage temperature. **Ciência e Agrotecnologia**, 34:1, 140-145. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000100018>.

Moura CFH, Alves RE, Silva EDO, Araújo PGL, Maciel V, Figueiredo RW (2009) **Conservação pós-colheita de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) BRS 189 e END 189**. Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em periódico indexado (ALICE). Proc. Interamer. Soc. Trop. Hortic. p. 119-121.

Oliveira VH, Crisóstomo LA, Santos FJS, Raij BV, Bernardi ACC, Silva CA, Soares I (2002) **Cultivo do cajueiro anão-precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

Prasad TK, Anderson MD, Stewart CR (1994) Acclimation, hydrogen peroxide, and abscisic acid protect mitochondria against irreversible chilling injury in maize seedlings. **Plant Physiology**, 105:2, 619-627. <https://doi.org/10.1104/pp.105.2.619>.

Rezende LFM, Azeredo CM, Canella DS, Luiz OC, Levy RB, Eluf Neto J (2016) Coronary heart diseasemortality, cardiovascular disease mortality and all-cause mortality attributable to dietary intake over 20 years in Brazil. **Int J Cardiol**. 217:64-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.04.176>.

Romanazzi G, Nigro F, Ippolito A (2008) Effectiveness of a short hyperbaric treatment to control postharvest decay of sweet cherries and table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, 49:3, 440-442. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.021>.

Souza KO, Viana RM, Siqueira OL, Moura CFH, Miranda MRA (2016) Preharvest treatment of growth regulators influences postharvest quality and storage life of cashew apples. **Scientia Horticulturae**, 209, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.006>.

Tavares CAM (2000) **Brócolos: O cultivo da saúde**. Revista Cultivar HF. Ano 1, n.

2, 20- 22.

Vaughan J, Geissler C (1997) The new Oxford book of food plants. **Nordic Journal of Botany**, 18, 2, 222.

Vigneault C, Leblanc DI, Goyette B, Jenni S (2012). Invited review: Engineering aspects of physical treatments to increase fruit and vegetable phytochemical content. **Canadian Journal of Plant Science**, 92:3, 373-397. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-222>.

Yi J, Feng H, Bi J, Zhou L, Zhou M, Cao J, Li J (2016). High hydrostatic pressure induced physiological changes and physical damages in asparagus spears. **Postharvest Biology and Technology**, 118, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.015>.

## **CAPÍTULO 2 - Altas pressões na conservação pós-colheita de brócolis**

**Resumo** - O brócolis é uma hortaliça de alto valor nutritivo, rica em compostos bioativos, contudo a sua conservação pós-colheita é limitada a poucos dias. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de pressões hiperbáricas, em temperatura ambiente, na pós-colheita de brócolis. Os tratamentos consistiram em submeter os brócolis às pressões hiperbáricas de 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa por 1, 2 e 3 dias a 22 °C e 95% RH. Nosso estudo determinou que as pressões de 400, 600 e 800 kPa obtiveram os melhores resultados na manutenção da qualidade dos brócolis. A taxa respiratória, a produção de etileno, o teor de sólidos solúveis e a peroxidação lipídica diminuíram nas maiores pressões. Houve também a manutenção da massa fresca, da coloração verde, do teor de ácido ascórbico e da firmeza do receptáculo nos tratamentos com maiores pressões. Os tratamentos hiperbáricos de 600 e 800 kPa propiciaram o aumento da atividade enzimática da catalase e a redução da atividade da peroxidase, resultado da diminuição do estresse oxidativo e o atraso da senescência dos brócolis.

**Palavras-chave:** *Brassica oleracea* var. itálica, atmosfera hiperbárica, qualidade, inflorescência.



## CHAPTER 2 - High pressures on post-harvest conservation of broccoli

**Abstract** - Broccoli is a vegetable of high nutritional value, rich in bioactive compounds, however, its postharvest conservation is limited to a few days. The objective of this work was to evaluate the effect of hyperbaric pressures application, at room temperature, on broccoli postharvest. Treatments consisted in applying hyperbaric pressures of 100 (control), 200, 400, 600, and 800 kPa for 1, 2 and 3 days at 22 °C and 95% RH on broccoli. Our study determined that the pressures of 400, 600 and 800 kPa showed the best results in maintaining broccoli quality. Respiratory rate, ethylene production, soluble solids content and lipid peroxidation decreased at higher pressures. Also, the fresh weight, the green color, the ascorbic acid content and firmness of the receptacle were maintained in treatments with higher pressures. The hyperbaric treatments 600 and 800 kPa promoted increase of enzymatic activity of catalase and reduced peroxidase activity, as a result of decreased oxidative stress and delayed broccoli senescence.

**Keywords:** *Brassica oleracea* var. *italica*, hyperbaric atmosphere, quality, inflorescence.

## 1. Introdução

A produção mundial de hortaliças vem aumentando em torno de 5 milhões de toneladas por ano (Faostat, 2018), esse crescimento pode ser atribuído à busca de uma vida saudável. Dentre estas hortaliças, o brócolis vêm ganhando destaque, graças a seu alto valor nutritivo e propriedades nutraceuticas, como elevados teores de betacaroteno, vitamina C, selênio, fibra, luteína, zeaxantina, vitamina K, ácido fólico e minerais como cálcio, potássio, fósforo (Kristal e Lampe, 2002; Carvalho et al., 2006; Xiaofeng et al., 2015).

No Brasil, o cultivo de brócolis (*Brassica oleracea* var. itálica 'Legacy') é realizado em todo país, sendo cultivado principalmente nos cinturões verdes dos estados de São Paulo e Minas Gerais. A maior parte da produção é destinada ao mercado *in natura* em feiras livres, quitandas e supermercados. Somente no primeiro semestre de 2017 a Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), comercializou o equivalente a 8,4 toneladas de brócolis no estado de São Paulo (Agrinual, 2018).

O brócolis (*Brassica oleracea* var. itálica) possui alta perecibilidade, apresentando vida útil restrita a apenas 2 dias em temperatura ambiente (Gioppo, 2011). Sua senescência é rápida devido a elevada produção de etileno e da taxa respiratória, fazendo-se necessário o uso da refrigeração para prolongar a vida útil deste vegetal, tecnologia cara que onera o processo de produção.

Trabalhos recentes demonstram a possibilidade do uso de pressões hiperbáricas para retardar os mecanismos fisiológicos de amadurecimento e de senescência em vegetais. Aplicações de pressão hiperbárica retardaram o amadurecimento em tomates, evidenciado pela redução da taxa respiratória e pela manutenção da coloração e da firmeza (Inestroza-Lizardo et al., 2018; Liplap et al., 2013; Vigneault et al., 2012). Inestroza-Lizardo et al. (2019) evidenciaram alterações bioquímicas em tomates submetidos a pressões de 600 e 800 kPa, a temperatura ambiente, com o aumento da atividade da enzima catalase e redução da peroxidase.

Autores relatam que a aplicação de tratamento por pressão em temperatura ambiente, pode induzir efeitos positivos na atividade fisiológica dos vegetais,

similares ou muito próximos ao armazenamento sob refrigeração (Baba e Ikeda, 2003; Goyette, 2010; Vigneault et al., 2012; Liplap et al., 2013).

Esta técnica visa também a economia de energia, visto que este processo usaria apenas 3% da energia necessária à refrigeração, uma vez que a pressurização não precisa ser instantânea e é necessário pouca energia para manter a pressão ao longo do armazenamento (Vigneault et al., 2012).

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de pressões hiperbáricas, em temperatura ambiente, na pós-colheita de brócolis 'Legacy'.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Material vegetal**

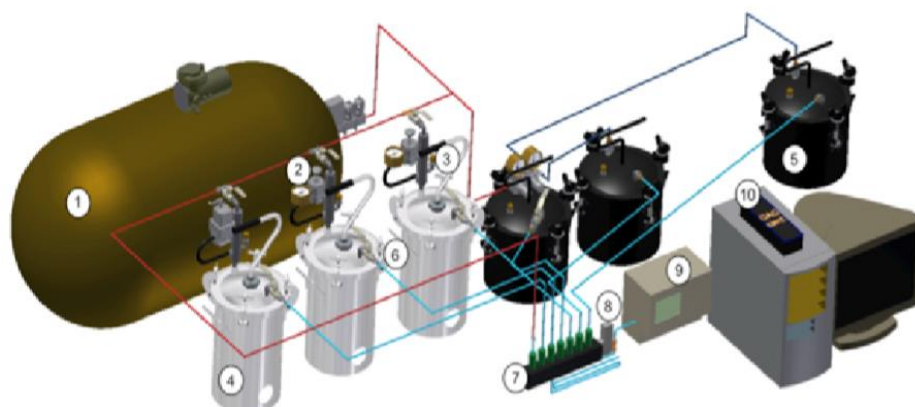
Foram utilizados brócolis (*Brassica oleracea* var. itálica) 'Legacy', provenientes de produções comerciais do município de Taiúva (21°7'24.87" S, 48°27'8.83" W, altitude de 634m), localizadas no Estado de São Paulo, Brasil.

As inflorescências foram colhidas em ponto comercial (em torno de 80 dias após a semeadura, no período de inverno de 2018) e transportadas ao laboratório em 30 minutos. Utilizou-se inflorescências homogêneas quanto à forma, coloração e ausência de doenças, com peso médio de  $630 \pm 60$  g. Todas as inflorescências foram sanitizadas em solução de Dicloro S. Triazinatriona Sódica Dihidratada (Sumaveg®) a  $200 \text{ mg L}^{-1}$ , por cinco minutos e deixados secar por 2 h no local onde foram aplicados os tratamentos, em câmara fria a 22 °C.

### **2.2 Sistema hiperbárico**

Os experimentos foram conduzidos em sistema hiperbárico conforme o descrito em Inestroza-Lizardo et al. (2019) e demonstrado na Fig. 1. Brevemente, o sistema consistiu de 5 câmaras de aço com volume de 10,75 L, interligadas a um circuito fechado pelo qual circulava um fluxo constante de ar comprimido, mantendo constante as pressões parciais de oxigênio (21 kPa) e de nitrogênio (78 kPa). O CO<sub>2</sub> foi adsorvido pela passagem prévia do ar em uma câmara contendo óxido de cálcio.

As câmaras de tratamento são equipadas com regulador de pressão no ponto de entrada e válvula de agulha no ponto de saída de cada vaso para regular a pressão do ar e o fluxo de ar, respectivamente, além de uma válvula de segurança. O sistema foi conectado a um compressor de ar comprimido de 250 L (Schulz, modelo MSV 20 MAX, Joinville, Santa Catarina, Brasil) para suprimento de ar comprimido. O fluxo de ar foi medido usando um flowmeter uma faixa de medição de 5-2000 mL min<sup>-1</sup> (Bronkhorst™, Ruurlo, Holanda). A concentração de CO<sub>2</sub> foi medida usando analisador de gás infravermelho (Guardian® Plus, Kirkton Campus, Livingston, Inglaterra). O medidor de vazão, e o analisador de CO<sub>2</sub> foram conectados ao cartão de aquisição e controle (PersonnelDAQ 3000, Cleveland, OH, EUA) e a um computador. Pressão, taxa de fluxo de ar e nível de CO<sub>2</sub> foram registrados usando o software DasyLab® (Measurement Computing Corporation, Norton, MA, EUA).



**Figura 1.** Esquema do sistema hiperbárico. 1. Compressor de ar comprimido; 2. Gerador de pressão; 3. Válvula de segurança; 4. Câmaras de 400 kPa, 600 kPa e 800 kPa; 5. Câmara de pressão do compressor (100 kPa); 6. Válvula de saída; 7. Coletor do ar das válvulas; 8. Medidor de fluxo de ar; 9. Analisador de gás infravermelho; 10. Placa de aquisição de dados e computador (Liplap et al. 2013).

### 2.3 Procedimento experimental

Foram utilizadas 12 inflorescências por repetição, sendo 2 utilizadas para determinar a qualidade inicial (dia 0) (Tabela 1) e as demais 10 inflorescências, foram distribuídas nas 5 câmaras do sistema (2 inflorescências/câmara). Em seguida

as câmaras foram fechadas e pressurizadas com as pressões de 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa por períodos de 1, 2 e 3 dias. A temperatura ( $22 \pm 1$  °C) e umidade relativa do ar ( $95 \pm 2,0\%$ ) dentro das câmaras foi monitorada a cada 30 min utilizando registradores de dados (HOBO Prov2 U-23-001), colocados dentro de cada câmara. Ao final de cada tempo de tratamento determinado, as câmaras foram despressurizadas automaticamente por 2h. As inflorescências foram retiradas das câmaras e avaliadas em seguida. Sendo realizado em triplicata todo esse procedimento, totalizando 36 inflorescências para cada período (1, 2 e 3 dias) de pressão, e 108 inflorescências ao total.

**Tabela 1.** Caracterização inicial de brócolis ‘Legacy’

<b>Características</b>	<b>Valores</b>
Massa (g)	$630 \pm 60$
Índice de cor da epiderme	$-1,04 \pm 0,10$
Firmeza do receptáculo (N)	$13,3 \pm 1,02$
Produção de etileno ( $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	$5,2 \pm 1,2$
Sólidos solúveis (%)	$6,17 \pm 0,05$
Acidez titulável (% ácido cítrico)	$0,14 \pm 0,07$
Ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico $100 \text{ g}^{-1}$ MF)	$99,6 \pm 2,40$
Atividade antioxidante ( $\mu\text{mol}$ de Trolox $100 \text{ g}^{-1}$ MF)	$0,23 \pm 0,20$
Peroxidação lipídica ( $\text{nMol } 100\text{g}^{-1}$ MF)	$19,22 \pm 1,6$
Atividade da CAT ( $\text{U kg}^{-1}$ pt)	$1,12\text{E}^{-10} \pm 0,1$
Atividade da POD ( $\text{U kg}^{-1}$ pt)	$0,03 \pm 0,01$

Valores representam a média  $\pm$  desvio padrão. MF = massa fresca. CAT = Catalase. POD = Peroxidase. pt = proteína

## 2.4 Análises

2.4.1 Perda de massa: foi calculada pela diferença entre o peso inicial e final das inflorescências, dividido pelo peso inicial, utilizando uma balança eletrônica com faixa de medição de  $50\text{-}6000\text{g} \pm 2\text{g}$  (Filizola, BP6, São Paulo, Brasil). Os resultados foram expressos em porcentagem.

2.4.2 Índice de cor (IC): foi determinado de acordo Mazzuz (1996), pelos parâmetros Luminosidade  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (colorímetro Minolta CR-400, Konica Minolta, New Jersey).

As leituras foram realizadas em cinco pontos em cada inflorescência e o IC foi calculado por meio da equação 1:

$$IC = (100 \times a^*) / (L^* \times b^*) \quad (1)$$

2.4.3 Firmeza do receptáculo: foi medida por meio de um penetrômetro digital com ponta de 8 mm (5–200 N  $\pm$  1N; Impac, IP-90DI, São Paulo, SP, Brasil), avaliada na base do receptáculo, sendo os resultados expressos em Newton (N).

2.4.4 Taxa respiratória: as concentrações de CO<sub>2</sub> foram medidas ao longo do experimento com um intervalo de 10 minutos por leitura, totalizando 720 leituras por pressão, calculada automaticamente em tempo real durante todo o período experimental (72 horas), como descrito por Goyette et al. (2011), de acordo com a equação 2:

$$TR = (\Delta CO_2 \times Q) / W \quad (2)$$

Onde:  $\Delta CO_2$  é a diferença entre a concentração de CO<sub>2</sub> na entrada da câmara e a concentração de CO<sub>2</sub> na saída da câmara, Q é a taxa de fluxo de ar e W é a massa dos brócolis. Os resultados foram expressos em mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

2.4.5 Produção de etileno: as inflorescências após os períodos de pressão foram acondicionadas em recipientes herméticos com capacidade de 5 L e fechados. Posteriormente a 1 hora, amostras de 200  $\mu$ L da composição gasosa interna dos recipientes (head space), foram coletadas dos recipientes através de um septo de silicone, com auxílio de seringa de cromatografia gasosa (SGE, Analytical Science). As amostras foram injetadas 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. A produção de etileno foi determinada após a retirada das inflorescências das câmaras e foi expressa em  $\mu$ L C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

2.4.6 Sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e ácido ascórbico (AA): foram determinados a partir do suco celular conforme metodologia da AOC (1997), e os resultados expressos em porcentagem, em %, % de ácido cítrico, mg de ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup> MF, respectivamente.

2.4.7 Peroxidação de lipídica: O método seguiu o procedimento de Heath e Packer (1968). As amostras foram congeladas em N<sub>2</sub> líquido, maceradas, combinadas com 4 mL de tampão TCA (1% p / v), homogeneizadas e centrifugadas a 10.000 x g por 10 min a 4 °C (Biofuge Stratos model, Heraeus, Hanau, Alemanha). A partir do sobrenadante, 1 mL foi pipetado e transferido para o tubo de ensaio, adicionando 3 mL de ácido tiobarbitúrico a 0,5% (p / v) em 20% (p / v) de TCA e incubando em banho-maria a 95 °C por 60 min. Os tubos foram mantidos por 10 min em banho de gelo para interromper a reação. As amostras foram então novamente centrifugadas durante 10 min a 10.000 x g. A absorbância do sobrenadante foi medida usando um espectrofotômetro UV-vis (Femto 700 plus, São Paulo - SP, Brasil) a 535 nm e 600 nm. Os resultados foram expressos como o conteúdo de malondialdeído (MDA) por 100 g de massa fresca (nmol MDA 100g<sup>-1</sup> MF).

2.4.8 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 maceradas 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 absorbância a 517 nm e os resultados foram convertidos em porcentagem de atividade antioxidante (% DPPH reduzido = Abs branco – Abs amostra), os resultados foram expressos em µmol de Trolox equivalente por 100 g<sup>-1</sup> MF.

2.4.9 Atividade da Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6): foi determinada pela adaptação do método de Kar e Mishra (1976). A reação foi obtida pela combinação de 150 µL da amostra extraída em tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100 mmol L<sup>-1</sup> (pH 7,5). Um total de 1950 µL de tampão fosfato de potássio 100 mmol L<sup>-1</sup> (pH 7,5) foi usado 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 de solução de peróxido de hidrogênio 50 mM como substrato enzimático. As leituras

foram feitas usando um espectrofotômetro UV-vis a 240 nm de absorvância. A atividade específica da CAT foi expressa como proteína U kg<sup>-1</sup>.

2.4.10 Atividade das Peroxidases (POD) (EC 1.11.1.7): foi determinada conforme Lima et al. (1999). O sistema de reação compreendeu 1 mL de extrato enzimático com 0,5 mL de peróxido de hidrogênio a 30% em tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,7) e 0,5 mL de solução de fenol e aminoantipirina. O sistema reacional foi colocado num banho de água a 30 °C durante 5 min. Foi adicionado álcool etílico absoluto (2 mL) para parar a reação, e a absorvância foi lida com um espectrofotômetro UV-vis a 505 nm de absorvância. A atividade específica da POD foi expressa como proteína U kg<sup>-1</sup>.

Para o cálculo da atividade específica da CAT e POD, o teor de proteína solúvel total foi medido usando o método de Bradford (Bradford, 1976).

## **2.5 Delineamento experimental**

Foi utilizado um delineamento de blocos casualizados (DBC), num esquema de fatorial duplo (tempos de exposição x pressões aplicadas). Os tratamentos constituíram de 3 períodos de exposição a pressão 1, 2 e 3 dias e 5 níveis de pressão (100, 200, 400, 600 e 800 kPa) para cada período de exposição, todos os períodos de exposição foram repetidos 3 vezes, totalizando 9 experimentos ao total. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o software AgroEstat, versão 2014 (Barbosa e Maldonado, 2014). Quando diferenças significativas foram encontradas, uma análise de regressão foi realizada. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0.01$ ).

## **3. Resultados e discussão**

### **3.1 Perda de massa (PM)**

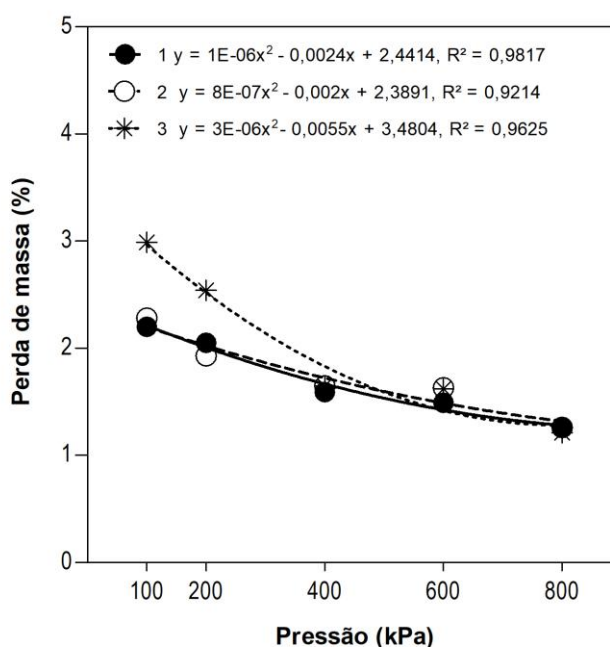
Ocorreu a diminuição da perda de massa dos brócolis com o aumento das pressões aplicadas (Fig. 2). Nas inflorescências mantidas a 100 kPa verificaram-se as maiores PM, proporcionais ao tempo de exposição. Após 3 dias de tratamento, os



brócolis a 100 kPa perderam 3% de massa, ao passo que aqueles da pressão de 800 kPa apenas 1,2%.

Segundo Inestroza-Lizardo et al. (2018) a modificação da pressão atmosférica é um dos principais fatores que influenciam na pressão de vapor do ambiente. A velocidade de perda de água (massa) 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 menor perda de água do vegetal (Kader, 2002). Isto explica as maiores perdas de massa terem ocorrido no tratamento controle (100 kPa) quando comparado com os tratamentos de 400, 600 e 800 kPa (Fig. 2). Esse comportamento também foi evidenciado por outros autores ao trabalharem com uso de altas pressões na conservação de frutas e hortaliças (Baba e Ikeda, 2003; Goyette, 2012; Liplap et al, 2014; Inestroza-Lizardo et al, 2018).

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem afirmar que a modificação da pressão atmosférica, ao redor do produto, a partir de 200 kPa são eficazes na redução da perda de massa do brócolis 'Legacy'.



**Figura 2.** Perda de massa de brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de 1 (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

### 3.2 Índice de cor (IC) e acidez titulável (AT)

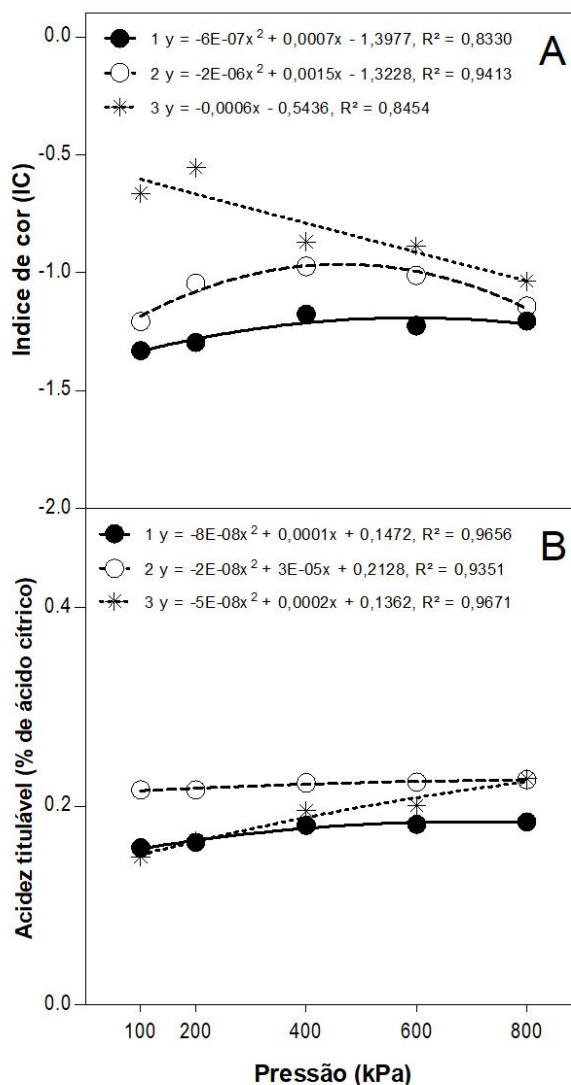
De um modo geral, o índice de cor aumentou com tempo de exposição à pressão, tornando os brócolis mais amarelados (Fig. 3A). Isto pode ser atribuído à degradação das clorofilas pela atuação da enzima clorofilase, como também a alteração de pH que consecutivamente altera da acidez titulável e oxidação, induzindo a produção de etileno (Fig. 6). Nas pressões de 400, 600 e 800 kPa a cor verde inflorescências foi preservada, apresentando índice de cor menor que das inflorescências submetida às pressões de 100 e 200 kPa (Fig. 3A). Ao relacionar o IC com a AT, ao 3º dia de pressão, ver-se uma relação inversamente proporcional, com a diminuição do IC e o aumento da AT (Fig. 3), esse comportamento pode ser atribuído a degradação das clorofilas devido a atividade enzimática, provocando o amarelecimento das inflorescências e a liberação de ácidos orgânicos no meio celular elevando os valores de AT.

Os teores de AT nos brócolis variaram de 0,14 a 0,26 % de ácido cítrico (Fig. 3B). A pressão hiperbárica proporcionou maior preservação dos ácidos orgânicos nos brócolis em relação as inflorescências controle, com destaque para a pressão de 800 kPa que, após 3 dias, apresentou os maiores teores de AT em relação as inflorescências do controle (100 kPa).

Esse mesmo comportamento foi evidenciado por Silva (2016), ao avaliar o efeito de atmosferas hiperbáricas na conservação de mangas, onde os teores de AT foram menores na pressão do controle (100 kPa). Padula et al. (2006) avaliando a qualidade e conservação de brócolis cv. Itália em diferentes embalagens encontraram valores de AT superiores ao deste estudo, chegando a 0,53 a 0,77 mg 100<sup>-1</sup>g polpa. Essa divergência pode ser atribuída as condições de cultivo, como explica Beckles (2012), onde a qualidade dos vegetais é dependente da interação de fatores genéticos, agrônômicos, climáticos e de manejo pós-colheita.

A redução da acidez durante a pós-colheita está relacionada com o amadurecimento ou a senescência devido ao maior consumo dos ácidos orgânicos no processo respiratório e/ou com a conversão de ácidos em açúcares na glicogênese. Isso pode ser verificado nos brócolis do controle (100 kPa) pois, além de apresentarem menor acidez (Fig. 3B), tiveram maior taxa respiratória (Fig. 5),

maior produção de etileno (Fig. 6) e maiores teores de SS (Fig. 7), indicando maior atividade metabólica que os demais tratamentos.



**Figura 3.** Índice de cor (A) e acidez titulável (B) de brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de 1 (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. Índice de cor: 0 = amarelo; - 2,0 = verde. M=3.

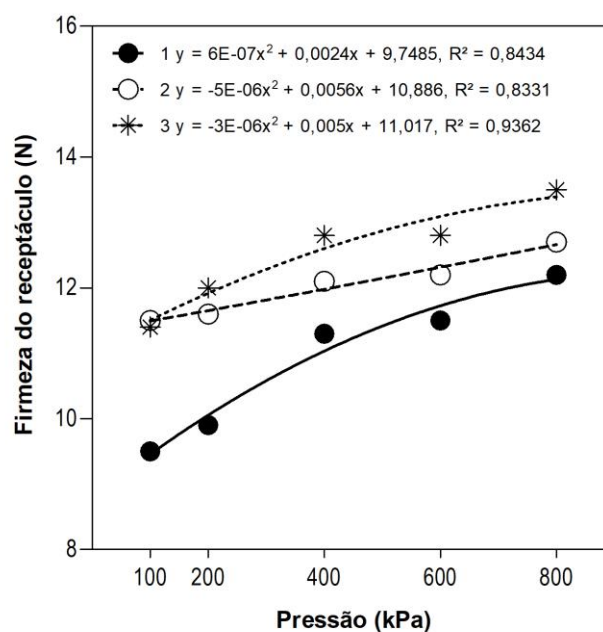
### 3.3 Firmeza

Os brócolis do controle (100 kPa) apresentaram uma redução média de 11,4% na firmeza em relação aos valores iniciais (Tab. 1) (Fig. 4). A manutenção da firmeza foi proporcional ao aumento das pressões aplicadas. A pressão de 800 kPa por 1 dia manteve a firmeza dos brócolis em 12,2 N, valor superior ao controle (9,5

N) e muito próximo ao valor inicial de 13,3 N (Tab. 1). Os brócolis não submetidos às pressões (controle) apresentaram menor firmeza após 1 dia (9,5 N) de armazenamento quando comparados com 2 e 3 dias (Fig. 4).

A manutenção da firmeza nas frutas e hortaliças depende, principalmente, de fatores como a turgescência dos tecidos e a degradação da parede celular (Fagundes et al., 2015), que influencia diretamente a perda de massa do vegetal. Neste experimento, foi observado que a diferença de firmeza dos brócolis está relacionada com a perda de massa, pois os brócolis com maior firmeza apresentaram menor perda de massa (Fig. 2). Essa tendência também foi evidenciada por autores como Inestroza-Lizardo et al, (2018) ao avaliarem tomates cv. 'Debora' submetidos a diferentes pressões e dias sob pressões. Liplap et al. (2014) ao avaliarem a firmeza em alfaces submetidas a 850 kPa por 5 dias, a 20 °C, apresentaram maior firmeza em relação às alfaces controle (100 kPa a 20 °C).

Padula et al. (2006), ao avaliarem a firmeza em brócolis ninja var. Itálica minimamente processado encontraram um valor médio de 13,8 N, considerado satisfatório para a comercialização, visto que o mesmo não perdeu a característica visual de turgescência. Com base nestes autores, pode-se afirmar que os brócolis armazenados sob as pressões de 400, 600 e 800 kPa apresentaram a firmeza adequada para comercialização, até 3 dias a 22 °C (Fig. 4).



**Figura 4.** Firmeza do receptáculo de brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de 1 (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

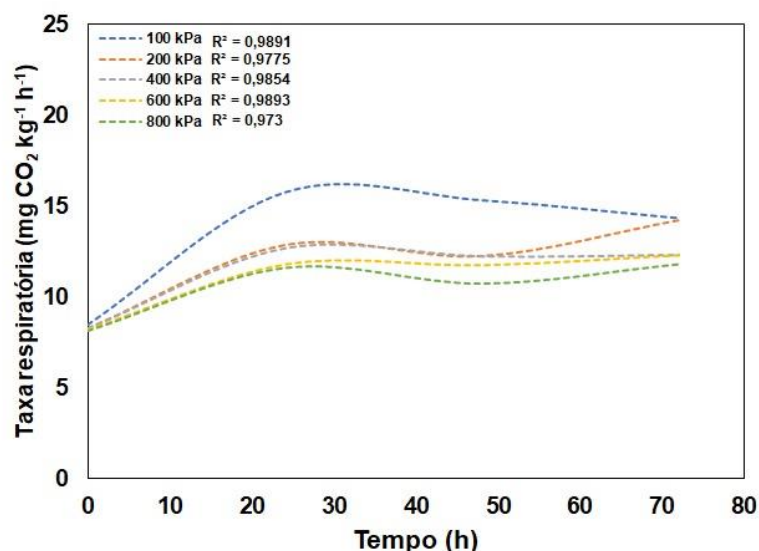
### 3.4 Taxa respiratória

Os brócolis submetidos as pressões hiperbáricas por 72 horas registraram taxa respiratória média de 11 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto que os brócolis a 100 kPa (controle) apresentaram taxas respiratórias médias de 13,5 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, sendo superiores aos demais tratamentos, durante o mesmo período (Fig. 5). A taxa respiratória dos brócolis na pressão de 800 kPa foi 18,5% menor que a média registrada pelos brócolis do controle (100 kPa). Baba et al. (1999) relataram a redução de 74% na produção de CO<sub>2</sub> de frutos de umezeiro (*Prunus mume*) submetidos à pressão de 200 MPa por 10 min. Liplap et al. (2014), ao avaliarem a taxa de respiração de alface também descrevem a diminuição da taxa de respiração dos vegetais submetidos a tratamentos de alta pressão em relação aos frutos do controle (100 kPa). Inestroza-Lizardo et al. (2019) relata a diminuição de 31% na taxa respiratória de tomates submetidos a pressões de 800 kPa quando comparados com o controle (100 kPa).

As menores médias atribuídas às pressões podem ser devido à solubilização do CO<sub>2</sub> no interior dos brócolis e à diluição do CO<sub>2</sub> nos recipientes, resultado do incremento das pressões parciais dos gases do ar no interior das câmaras hiperbáricas, conforme o verificado por Goyette et al. (2012). Provavelmente, o CO<sub>2</sub> gerado pela respiração dos brócolis tenha sido inicialmente solubilizado nos tecidos internos até alcançar a pressão parcial do CO<sub>2</sub> do ar que o circundava. Posteriormente, ocorreu a diluição do CO<sub>2</sub> no interior da câmara hiperbárica, ocasionando o aumento da pressão parcial do CO<sub>2</sub> do ar que circunda o produto com o aumento da concentração do CO<sub>2</sub> dentro da câmara e, conseqüentemente, dos valores das leituras de CO<sub>2</sub>. 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., 2014).

Conforme Inestroza-Lizardo et al. (2018) o efeito das pressões hiperbáricas na taxa respiratória dos vegetais é variável a depender do tipo de material utilizado, do tempo de exposição, da intensidade e da temperatura.

Em resposta aos resultados obtidos neste trabalho permite-se afirmar que a modificação da pressão atmosférica ao redor do produto, principalmente nas altas pressões, foi eficaz na redução da taxa respiratória dos brócolis 'Legacy'.



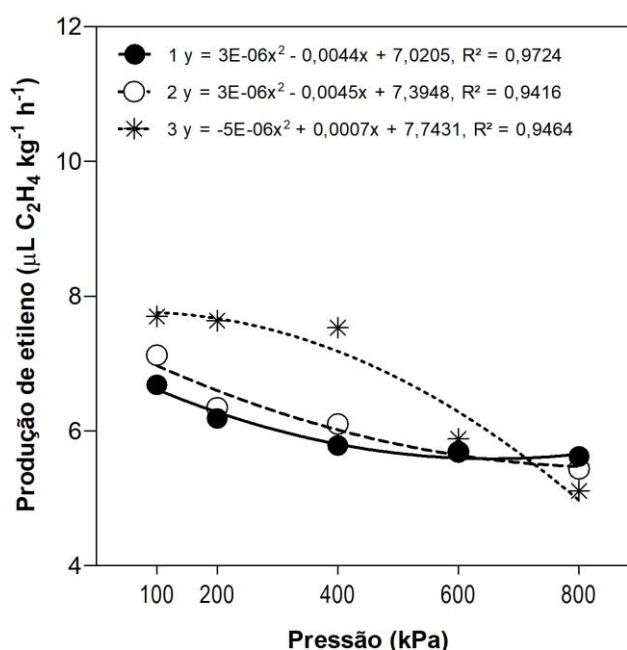
**Figura 5.** Taxa respiratória de brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de 72 horas a 22 °C e 95% de UR.

### 3.5 Produção de etileno

A produção de etileno nos brócolis aumentou em função do tempo de exposição às pressões. Entretanto, manteve-se baixa com o aumento das pressões aplicadas, ocorrendo uma relação funcional quadrática entre as pressões aplicadas e os tempos de pressão (Fig. 6). Os brócolis submetidos às pressões de 600 e de 800 kPa por 1 dia, apresentaram produção de etileno cerca de 16% menor que a do controle e muito próxima aos valores iniciais ( $5,2 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Após 3 dias, os brócolis do controle produziram ainda mais etileno, sendo que a diferença para o melhor tratamento (800 kPa) foi de 33,6% (Fig. 6). A produção de etileno deve ser controlada e mantida baixa para vegetais sensíveis a esse gás, como é o caso dos brócolis, pois o etileno induz à degradação da clorofila com conseqüente amarelecimento em brócolis (Yamauchi et al., 1999), esse comportamento foi evidenciado nas inflorescências do controle (100 kPa) quando comparadas com as submetidas a 800 kPa, onde foi registrada a menor produção de etileno (Fig. 6) e os

maiores valores de índice de cor (Fig. 3A), prejudicando a aparência e diminuindo a vida útil dessas inflorescências (Jones et al., 2006; Moreno et al., 2006).

O baixo etileno produzido pode ser atribuído em parte ao efeito inibitório da pressão sobre a atividade ACC oxidase, enzima responsável pela conversão do ACC em etileno. Baba et al. (1999) ao submeter frutos de umezeiro (*Prunus mume*) à pressão de 5 MPa verificaram uma redução de 75% na atividade da enzima ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) oxidase em relação ao controle (100 kPa), enquanto que os níveis do substrato (ACC) permaneceram inalterados.



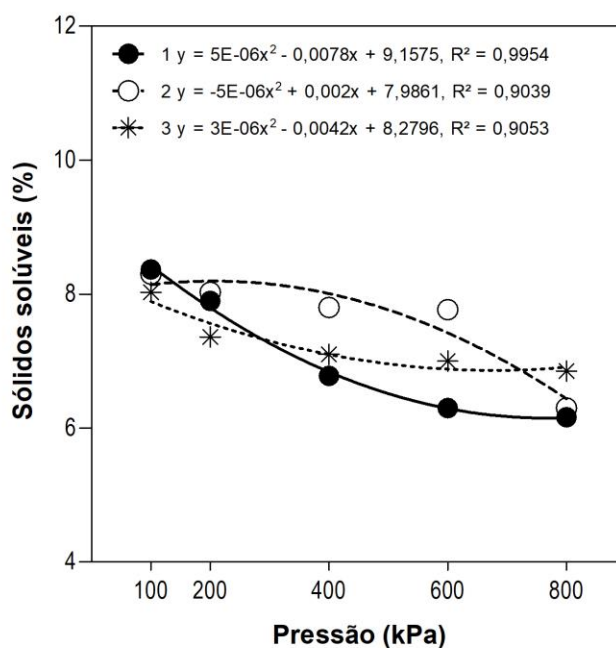
**Figura 6.** Produção de etileno de brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de 1 (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

### 3.6 Sólidos solúveis (SS)

O conteúdo de SS diminuiu com o aumento das pressões, sendo que a média do controle (100 kPa) foi 20% superior as inflorescências submetidas a pressão de 800 kPa (Fig. 7). Comportamento semelhante foi observado por Inestroza-Lizardo et al. (2018), que após 6 dias de pressão, o teor de SS dos tomates submetidos à pressão de 800 kPa foi 13% menor do que o dos tomates controle. Padula et al. (2006) avaliando o teor de SS em brócolis 'Itália' armazenados em diferentes tipos de embalagens, constataram que os teores SS em brócolis aumentam durante o

período de armazenamento. Assim, pode-se afirmar que houve influência das pressões aplicadas na conservação dos vegetais, visto o menor conteúdo de SS do brócolis em altas pressões, indicando atraso na senescência.

Ao relacionar o teor de SS com a produção de etileno (Fig. 6), nota-se que os maiores valores para a produção de etileno assim como para o teor de SS foram evidenciados nas inflorescências do controle (100 kPa), indicando senescência avançada do brócolis do controle (100 kPa) quando comparado com os submetidos a pressão de 800 kPa. O aumento de SS nos brócolis controle pode ser atribuído a maior atividade das enzimas envolvidas no processo de degradação da parede celular (Maftoonazad, Ramaswamy, Marcotte, 2008), com consequente redução da firmeza (Fig. 4) e aumento da taxa respiratória (Fig. 5).



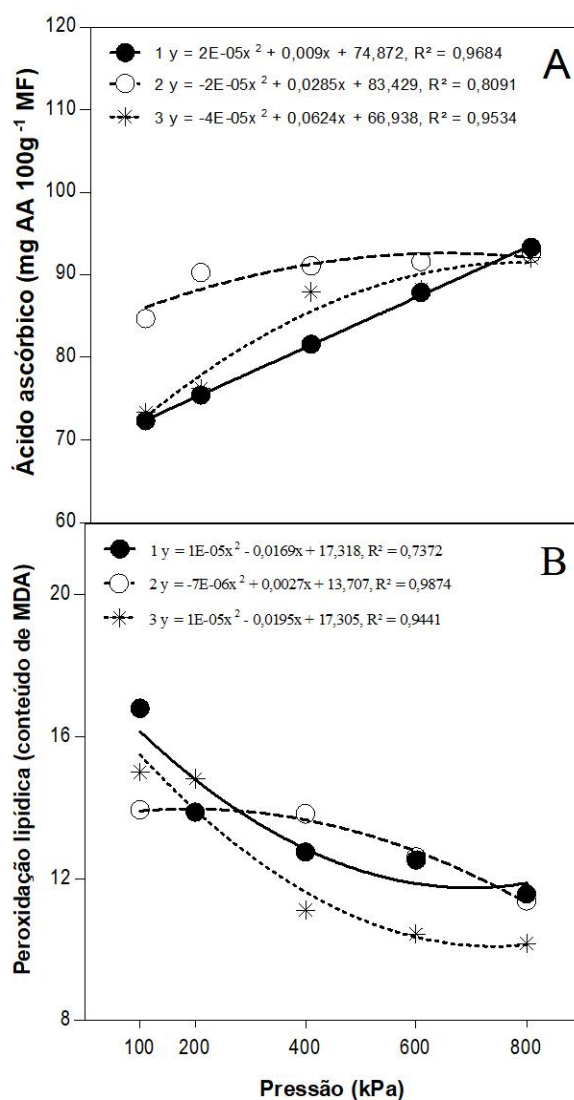
**Figura 7.** Sólidos solúveis de brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de 1 (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

### 3.7 Teor de ácido ascórbico (AA) e peroxidação lipídica

Foi observado uma redução média de até 27% (Fig. 8A) do teor de AA dos brócolis do controle em relação ao valor inicial (99,6 mg AA 100 g<sup>-1</sup> MF) (Tab. 1). Independentemente do tempo de pressão, o tratamento de 800 kPa foi considerado o melhor, pois manteve os teores elevados de AA (94 mg AA 100 g<sup>-1</sup> MF) muito próximos aos valores iniciais.



De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), o conteúdo de ácido ascórbico tende a diminuir com a maturação e com o armazenamento. Possivelmente, os valores de AA foram consumidos em reações metabólicas no processo de senescência dos brócolis do controle (100 kPa) quando comparados com os submetidos as altas pressões.



**Figura 8.** Teor de ácido ascórbico (A) e peroxidação lipídica (B) de brócolis ‘Legacy’ submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

Esse mesmo comportamento foi evidenciado por Inestroza-Lizardo et al. (2019), ao submeter tomates às altas pressões durante dois e quatro dias, onde os

frutos tratados com a pressão de 100 kPa apresentaram os menores valores de AA quando comparados aos frutos submetidos as pressões de 200, 400, 600 e 800 kPa.

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 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), ou seja, quanto maior o estresse ocorrido no vegetal menor é a concentração deste composto encontrada no vegetal. Neste caso, o estresse foi gerado pela senescência natural do brócolis, que desencadeou reações de degradação/oxidação, reduzindo sua vida útil pós-colheita. As altas pressões exercidas sobre o vegetal atuaram no metabolismo como um todo, retardando o ritmo de senescência, mantendo também, os teores de AA elevados, próximos aos iniciais.

Verifica-se que a manutenção dos teores de AA sob altas pressões está de acordo com o aumento peroxidação lipídica (Fig. 8B), onde a pressão de 100 kPa (controle) apresentou os maiores valores de malondialdeído (MDA) independente do período de pressão, com incremento médio de 28% maior em relação a pressão de 800 kPa (12,5 nMol MDA g<sup>-1</sup> massa fresca).

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 (EROS) e de defesa antioxidante, em qualquer compartimento da célula vegetal (Foyer e Noctor, 2000). O estresse oxidativo pode ser medido mediante a peroxidação dos lipídeos; 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, 4hidroxinonenal 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.

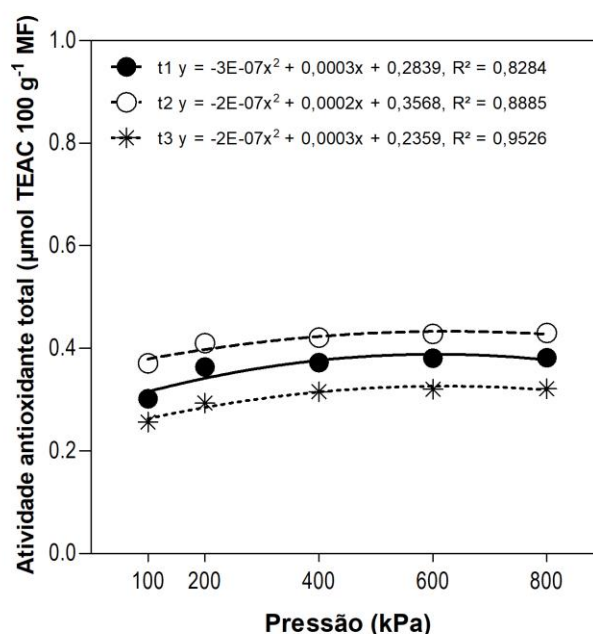
Os menores teores de MDA nos brócolis submetidos as altas pressões independentemente dos dias de aplicação, sugere que o tratamento hiperbárico foi eficiente na redução do estresse oxidativo. Contudo, a influência das pressões

hiperbáricas sobre o conteúdo de MDA não está clara, e na literatura, são escassos os relatos do efeito de tratamentos hiperbáricos sobre o conteúdo de MDA em frutas e hortaliças frescas. O tratamento de 3 dias de pressão foi o que apresentou os menores valores de MDA quando submetidos as altas pressões (Fig. 8B). Esse comportamento também foi evidenciado por Kou et al. (2016) e Inestroza-Lizardo et al. (2019), quando trabalharam com aplicação de altas pressões na conservação de tomates, cujo conteúdo de MDA nos frutos tratados com altas pressões diminuíram quando comparados com os frutos do controle (100 kPa).

### **3.8 Atividade antioxidante total (AAT)**

Houve aumento progressivo do conteúdo da atividade antioxidante total em função da pressão aplicada, independente do período de exposição (Fig. 9). Os valores de ATT aumentaram de 0,30 a 0,38 para 1 dia, de 0,37 a 0,43 para 2 dias, de 0,25 a 0,32  $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$  para 3 dias de exposição (Fig. 9).

Esse comportamento também foi evidenciado por outros autores, como Inestroza-Lizardo et al. (2019) ao submeterem tomates 'Debora' ao tratamento hiperbárico por seis dias, indicando uma resposta sinérgica dos tratamentos de 200, 400, 600 e 800 kPa na atividade antioxidante total. Silva (2016) ao avaliar o comportamento de mangas após o período de pressão hiperbárica, observou aumento na AAT em mangas submetidas a 800 kPa. Esse comportamento pode ser atribuído como um efeito de hormese promovido pelo aumento da pressão hiperbárica.



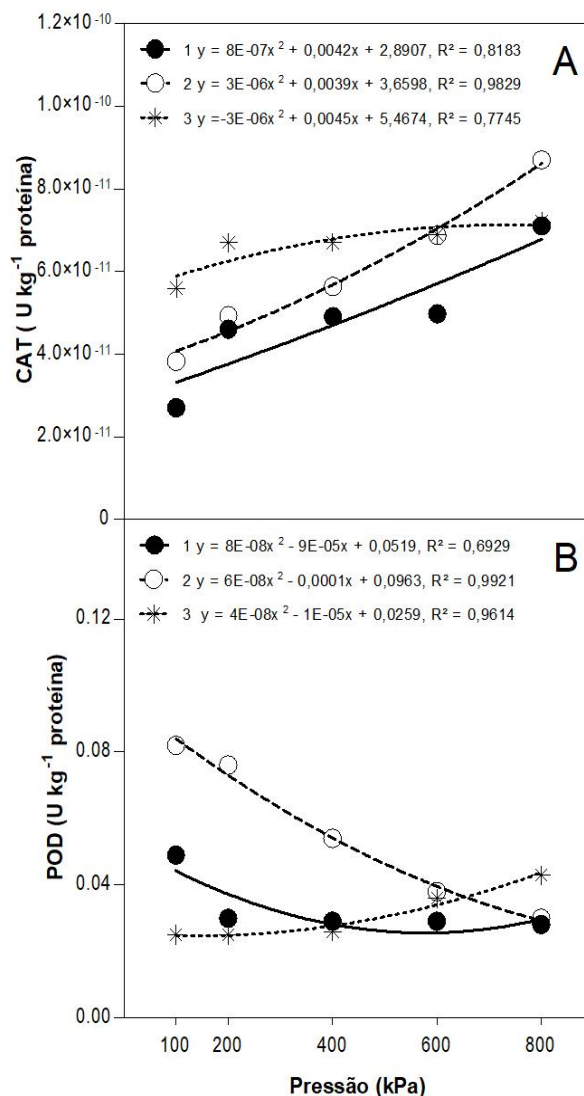
**Figura 9.** Atividade antioxidante total em brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

### 3.9 Atividade das enzimas catalase (CAT) e peroxidase (POD)

Foi verificada uma relação significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre a atividade das enzimas CAT e POD dos brócolis e a pressão aplicada (Fig. 10A e B).

Os brócolis que permaneceram a 800 kPa por 1 e 2 dias tiveram, em média, a atividade da CAT 2,5 vezes maior que os brócolis a 100 kPa (Fig.10A). A CAT desempenha um papel fundamental na manutenção da homeostase do peróxido de hidrogênio nas células vegetais. A enzima é importante na dismutação do  $H_2O_2$  gerado nos peroxissomas por oxidases envolvidas na  $\beta$ -oxidação de ácidos graxos, fotorrespiração (Igamberdiev e Lea 2002; Gill e Tuteja, 2010). Por isso, a capacidade em manter a alta atividade da CAT é considerada um mecanismo de defesa contra os fatores de estresse (Boonkorn, 2016). Neste sentido os tratamentos hiperbáricos aplicados nos brócolis são eficazes, cujos resultados demonstram que o estresse ocasionado pelo armazenamento hiperbárico gerou a ativação da CAT. Isso está diretamente relacionado com o processo de desintoxicação dos reativos  $H_2O_2$  e indiretamente a maior proteção das células. Inestroza-Lizardo et al. (2019)

evidenciou comportamento similar da atividade da CAT em tomates submetidos a altas pressões.



**Figura 10.** Atividade das enzimas catalase (CAT) (A) e peroxidase (POD) (B) em brócolis 'Legacy' submetidos a tratamentos hiperbáricos por períodos de (1y), 2 (2y) e 3 (3y) dias a 22 °C e 95% de UR. M=3.

Após 2 dias de tratamento, os brócolis controle apresentaram a atividade da POD 2,7 vezes maior que os brócolis submetido à pressão de 800 kPa (Fig. 10B). Inestroza-Lizardo et al. (2019) evidenciou o mesmo comportamento ao avaliar a atividade da POD em tomates 'Debora' submetidos a altas pressões por quatro dias. Contudo, as inflorescências tratadas com 3 dias de pressão apresentaram

comportamento oposto, cujos maiores valores da atividade da POD foram observados nas inflorescências tratadas com 800 kPa (Fig. 10B).

Os elevados níveis de POD das inflorescências do controle após 2 d podem ser atribuídos ao estágio da senescência do vegetal, como explicam Chitarra e Chitarra (2005), pois elevados níveis das POD estão associados com a deterioração oxidativa de frutos que se encontram em estágio avançado de amadurecimento. Neste aspecto as pressões de 600 e 800 kPa foram eficientes em manter a atividade enzimática baixa e propiciar a melhor conservação dos brócolis, quando comparados com as inflorescências do controle (100 kPa) (Fig. 10B).

#### **4. Conclusões**

Os tratamentos hiperbáricos se mostraram eficientes na conservação pós-colheita de brócolis ninja cv. Legacy, com destaque para as maiores pressões aplicadas. As pressões de 400, 600 e 800 kPa reduziram a taxa respiratória dos vegetais e a produção de etileno, mantiveram a massa fresca, a firmeza e a coloração verde dos brócolis, características importantes para a comercialização. As pressões de 600 e 800 kPa influenciaram a atividade antioxidante, propiciando a redução da peroxidação lipídica e da enzima peroxidase, demonstrando que as pressões exercidas mantiveram a integridade dos tecidos e retardaram a senescência dos brócolis. O melhor tratamento observado foi o de 800 kPa, apresentando manutenção da perda de massa e firmeza, menor produção de etileno, taxa respiratória e produção de MDA, maiores valores de ácido ascórbico e aumento da atividade da CAT.

#### **5. Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo nº 2017/17024-0).

## 6. Referências

- AGRIANUAL (2018) **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p. 285–287.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 16th ed. Washington: Ed. Patrícia Cunniff, 1997. 2, cap.37.
- Baba T, Como G, Ohtsubo T, Ikeda F (1999) Effects of high pressure treatment on mume fruit (*Prunus mume*). **Journal of American Society of Horticultural Science**, 124, 399-401. <https://doi.org/10.21273/JASHS.124.4.399>.
- Baba T, Ikeda F (2003) Use of high-pressure treatment to prolong the postharvest life of mume fruit (*Prunus mume*). **Acta Horticulturae**, Leuven, 628, 373-377, DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.628.46.
- Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) **AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress LTDA. Disponível em: <https://www.agroestat.com.br>
- Beckles DM (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, 63, 1, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016>.
- Boonkorn P (2016) Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. **International Food Research Journal**, Serdang, 23, 3, 934-938.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, Zurich, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).

Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** 72, 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).

Carvalho PGB, Machado CMM, Moretti CL, Fonseca MEN (2006) Hortaliças como alimentos funcionais. **Horticultura Brasileira.** 24, 4, 397-404. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000400001>.

Chitarra MIF, Chitarra AB (2005) **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2.ed. Lavras: UFLA.

Das K, Roychoudhury A (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Environmental Science**, 2, 53. Doi: 10.3389/fenvs.2014.00053

Fagundes C, Moraes K, Pérez-Gago MB, Palou L, Maraschin M, Monteiro AR (2015) Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, 109, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017>.

Faostat, 2018. **Food and Agricultural Organization Statistics.** <http://www.fao.org/home/en/> (accessed 28 October 2018).

Foyer CH, Noctor G (2000) Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist**, London, 146, 359-388. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x>.

Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, New York, 48, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.



Gioppo M (2011) **Pós-colheita de brócoliss, repolho roxo e alface sob diferentes ambientes e reguladores**. Dissertação de Mestrado. UEPG. Ponta Grossa-PR.

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

Goyette B, Vigneault C, Wang N, Raghavan V (2011) Conceptualization, design and evaluation of a hyperbaric respirometer. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.105, n.2, 283-288. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.033>.

Goyette B, Vigneaul C, Charles MT, Raghavan VGS (2012) Effect of hyperbaric treatment on quality attribute of tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, 92, 3, 541-551. Doi:10.13031/2013.29768.

Heath RL, Packer L (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplast: I.Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry Biophysics**, Abingdon, 125, 2141-2145. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1).

Igamberdiev AU, Lea PJ (2002) The role of peroxisomes in the integration of metabolism and evolutionary diversity of photosynthetic organism. **Phytochemistry**, Madison, 60, 651-674. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00179-6).

Inestroza-Lizardo C, Mattiuz BH, Silva JP, Galati VC, Voigt V (2018) Hyperbaric pressure at room temperature increases post-harvest preservation of the tomato cultivar 'Débora'. **Scientia Horticulturae**, 228, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.013>.

Inestroza-Lizardo C, Mattiuz BH, Silva JP, Voigt V, Muniz AC, Junior JSP (2019) Effect of hyperbaric pressure on the activity of antioxidant enzymes and bioactive

compounds of cv. 'Débora'tomatoes. **Scientia Horticulturae**, 249, 340-346.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.011>.

Jones RB, Faragner JD, Winkler S (2006) A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*) heads. **Postharvest Biology and Technology**, 41, 1, 1-8.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.003>.

Kader AA (2002) **Postharvest biology and technology: an Overview**. In: Kader, A.A. Postharvest technology of horticultural crops. Davis: University of California.

Kaur C, Walia S, Nagal S, Walia S, Singh J, Singh BB, Saha S, Singh B, Kalia P, Jaggi S, Sarika (2013) Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India. **LWT - Food**

**Science and Technology**, Amsterdam, 50, 139-145.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.013>.

Kar M, Mishra D (1976) Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology** 57, 315–319.

<https://doi.org/10.1104/PP.57.2.315>.

Kristal A R, Lampe JW (2002) **Brassica vegetables and prostate cancer risk: a review of the epidemiological evidence**. Nutrition and Cancer, 42 ed. 2002: 1-9.

[https://doi.org/10.1207/S15327914NC421\\_1](https://doi.org/10.1207/S15327914NC421_1)

Kou X, Wang Y, Chen Q, Xue Z, Bai Y, Zhou F (2016) Effects of Hypobaric Treatments on the Quality, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Tomato.

**Journal of Food Science**, Oxford, 81, 7, H1816-H1824.

<https://doi.org/10.1111/1750-3841.13360>

Liplap P, Boutin J, Leblanc DI, Vigneault C, Vijaya Raghavan GS (2014) Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of Boston lettuce. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, 49, 1, 137-145. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12288>

Liplap P, Vigneault C, Toivonenc P, Charles MT, Raghavan GV (2013) Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of tomato. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, 86, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.002>

Lima ES, Abdalla DS (2001) Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, 37, 293-303.

Lima GPP, Brasil OG, Oliveira AM (1999) Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 56, 1, 21-25. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000100004>.

Lichtenthaler H K (1987) **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes**. Methods in Enzimology. In: Packer, L., Douce, R. (Eds.), 148.

Moreno DA, Carvajal M, López-Berenguer C, García-Viguera C (2006) Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 41, 5, 1508-1522. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.003>.

Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Marcotte M (2008) Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. **International Journal of Food Science and Technology**, 43, 951–957. <https://doi.org/10.1111/j.1365->

2621.2006.01444.x.

Mazzuz CF (1996) **Calidad de frutos cítricos: manual para sugestion desde la recoleccion hasta la expedicion**. Edicionas de Horticultura, Barcelona, p. 202.

Padula ML, Carciofi BAM, Dannenhauer CE, Stringari GB, Monteiro AR (2009) Influência de diferentes tipos de embalagens nas características físico-químicas e composição gasosa de Brócolis (*Brassica oleracea* L. var Itálica) orgânicos minimamente processados e armazenados sob refrigeração. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, 17, 3, 259-268.

Silva JPD (2016) **Efeito de atmosferas hiperbáricas na pós-colheita de manga palmer**. Tese de Doutorado. Unesp. Jaboticabal-SP

Tsaniklidis G, Delis C, Nikoloudakis N, Katinakis P, Aivalakis G (2014) Low temperature storage affects the ascorbic acid metabolism of cherry tomato fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, 84. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.09.009>.

Vigneault C, Leblanc DI, Goyette B, Jenni S (2012) Invited review: engineering aspects of physical treatments to increase fruit and vegetable phytochemical content. **Canadian Journal of Plant Science**, Washington, 92, 3. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-222>

Xiaofeng N, Junsoo L, Chungsu H (2015) Drying characteristics and quality of red ginseng using far-infrared rays. **Journal Ginseng**. 39, 4. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.04.001>.

Yamauchi N, Funamoto Y, Kanetsune Y (1999) Involvement of chlorophyll degrading enzymes with chlorophyll degradation in stored broccoli (*Brassica oleraceae* L.)

florets. **Food Science of Technology Research.** 5, 3.

<https://doi.org/10.3136/fstr.5.300>.

### **CAPÍTULO 3 - Tratamentos hiperbáricos no aumento da vida útil de caju**

**Resumo** - O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito de pressões hiperbáricas na pós-colheita de caju em temperatura ambiente. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da FCAV-UNESP, Câmpus de Jaboticabal, utilizando caju provenientes de produções comerciais da região de Vista Alegre do Alto - SP. Foram utilizados níveis de pressão hiperbárica de 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa a temperatura de  $22\pm 1^\circ\text{C}$ , durante 1, 2 e 4 dias, e por mais 2 dias em condição de ambiente ( $22^\circ\text{C}$ , 50% UR, 100 kPa). Foram realizadas análises para avaliar a qualidade pós-colheita (perda de massa, índice de podridão, firmeza, índice de cor, sólidos solúveis, acidez titulável, taxa respiratória e produção de etileno) e a influência no sistema antioxidante dos caju (ácido ascórbico, clorofila, carotenoides, antocianinas, flavonoides, taninos, atividade antioxidante total, peroxidação de lipídeos e atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD)). Os caju do controle apresentaram perda de massa média 47% maior que aos caju tratados na pressão de 800 kPa. Nosso estudo determinou que as pressões de 400, 600 e 800 kPa obtiveram os melhores resultados na manutenção da qualidade caju. As aplicações de pressão melhoraram as características físicas e bioquímicas, refletindo na conservação e redução de podridão dos caju. As pressões induziram o processo de redução da adstringência dos caju. Houve incremento da atividade da SOD e redução da atividade da CAT nas pressões 600 e 800 kPa.

**Palavras-chave:** *Anacardium occidentale*, qualidade, pressão, taninos, sistema antioxidante.

### CHAPTER 3 - Hyperbaric treatment improves the shelf life of cashew

**Abstract** - The objective of this work was to investigate the effect of hyperbaric pressures on the postharvest of cashew at room temperature. The experiments were carried out at the Postharvest Technology Laboratory of FCAV-UNESP, Câmpus de Jaboticabal, using cashew from commercial orchard from the region of Vista Alegre do Alto - SP. Hyperbaric pressure of 100 (control), 200, 400, 600 and 800 kPa were applied at a temperature of  $22 \pm 1$  °C for 1, 2 and 4 days, and a further 2 days under ambient conditions (22 °C , 50% RH, 100 kPa). Analyses were carried out to assess the postharvest quality (loss of mass, rot rate, firmness, color index, soluble solids, titratable acidity, respiratory rate and ethylene production) and the influence of an antioxidant system of cashew (ascorbic acid, chlorophyll, carotenoids, anthocyanins, flavonoids, tannins, total antioxidant activity, lipid peroxidation and activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD)). The control presented weight loss 47% higher than the cashew in the pressure of 800 kPa. Our study determined that the pressures of 400, 600 and 800 kPa showed the best results in maintaining the quality of the cashew. Higher pressure applications improve physical and biochemical characteristics, resulting in conservation and reduction of cashew rot. The pressures reduced the astringency of cashew. Induction in SOD activity and reduction of CAT activity were induced at pressures of 600 and 800 kPa.

**Keywords:** *Anacardium occidentale*, quality, pressure, tannins, antioxidant system.

## 1. Introdução

O cajueiro (*Anacardium occidentale*), é uma fruteira tropical originária do Brasil pertencente à família Anacardiaceae (Queiroz, 2011). Tem como principal produção a castanha (Akinhanmi e Atasié 2008), entretanto o pseudofruto (pedúnculo) vem ganhando importância por possuir elevados teores de vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos (Zepka et al., 2014).

Em 2016 a produção mundial do caju atingiu quase 2 milhões de toneladas. O Brasil lidera o ranking com 1,7 milhões de toneladas, seguido por Madagascar (75 mil toneladas) Mali (70 mil toneladas) e Guiana (5 mil toneladas) (FAOSTAT, 2018). No Brasil, o estado de São Paulo se destaca com um volume de comercialização anual de 673 t ano<sup>-1</sup> de pedúnculo de caju, gerando cerca de R\$ 12,3 milhões por ano (Agrinual, 2019).

O caju é classificado como não-climatérico, apresentando baixa produção de etileno. Entretanto, devido ao metabolismo respiratório acelerado, é uma fruta muito perecível em temperatura ambiente, devendo ser comercializada em até 48 horas após a colheita (Moura et al., 2010). Estima-se que 80% dos cajus são desperdiçados anualmente (Biasoto et al., 2015). A sua alta perecibilidade, a deficiência na armazenagem durante os meses de pico do processamento industrial, associada à limitada capacidade de aproveitamento da indústria, contribuem para esta perda física (Santos et al., 2011). Diante disso, a cadeia de beneficiamento do pseudofruto deve se estabelecer sob condições refrigeradas de 5°C e 85% UR (Pinho et al., 2011).

Tratamentos físicos como a refrigeração e atmosferas controladas, reduzem de modo eficiente as taxas respiratórias e retardam o desenvolvimento de podridões, mantendo a qualidade do produto por longos períodos. Entretanto, essas tecnologias são consideradas caras, pois exigem elevado consumo de energia (Raghavan et al., 2005) quando comparadas ao tratamento hiperbárico que demanda entre 2 a 6% do total da energia necessária para a refrigeração (Vigneault et al., 2012).

Trabalhos recentes demonstram a possibilidade do uso de pressões hiperbáricas para retardar os mecanismos fisiológicos de amadurecimento e de



senescência em vegetais. Os resultados observados demonstram significativa manutenção de massa fresca e firmeza, diminuição da taxa respiratória e da produção de etileno, possibilitando assim, o aumento de vida pós-colheita em produtos como milho verde, abacate, alface e tomate (Baba e Ikeda, 2003; Goyette, 2010; Vigneault et al., 2012; Liplap et al., 2013; Inestroza- Lizardo et al., 2018; Inestroza- Lizardo et al., 2019).

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo investigar o efeito de pressões hiperbáricas na pós-colheita de cajus em temperatura ambiente.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Material Vegetal**

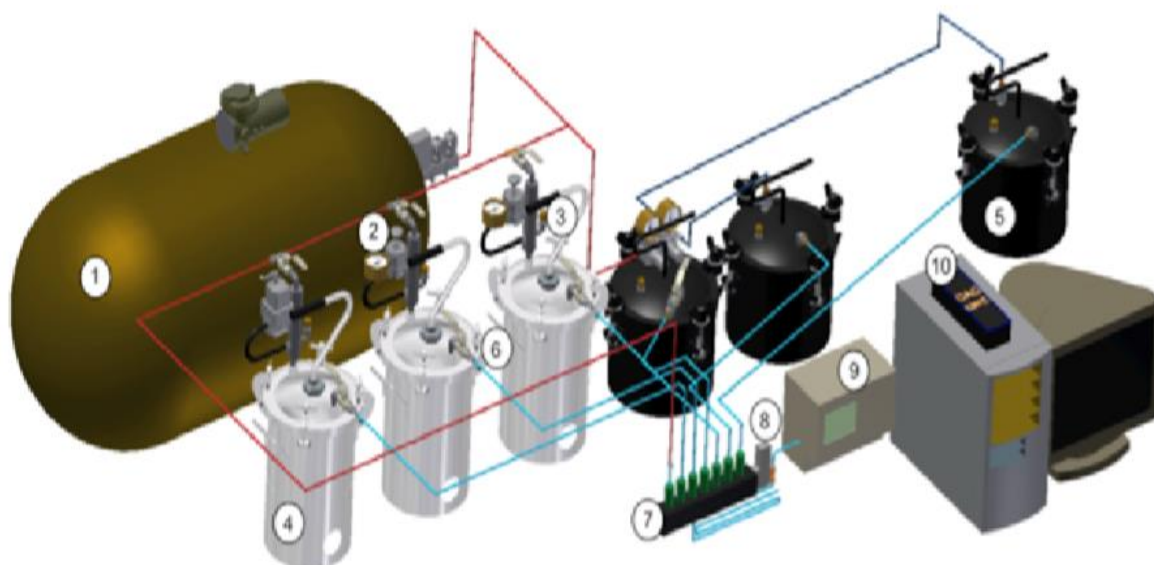
Foram utilizados cajus (clone anão precoce CCP-76) provenientes de produções comerciais do município de Vista Alegre do Alto (21° 9' 51" S, 48° 38' 19" W, altitude de 602m), localizada no Estado de São Paulo, Brasil.

Os cajus foram colhidos em estágio de maturação comercial e transportados em 30 min até o laboratório. Utilizaram-se cajus homogêneos quanto à forma, coloração e ausência de doenças, com peso médio de  $82,4 \pm 10$  g. Todos os cajus foram sanitizados em solução de sicloro s. triazinatriona sódica dihidratada (Sumaveg®) a  $200 \text{ mg L}^{-1}$  por 5 minutos e deixados secar por 2h no local onde foram aplicados os tratamentos, em câmara fria a 22 °C.

### **2.2. Sistema hiperbárico**

Os experimentos foram conduzidos em sistema hiperbárico conforme o descrito em Inestroza-Lizardo et al. (2019) e demonstrado na Fig. 1. Brevemente, o sistema consistiu de 5 câmaras de aço com volume de 10,75 L, interligadas a um circuito fechado pelo qual circulava um fluxo constante de ar comprimido, mantendo constante as pressões parciais de oxigênio (21 kPa) e de nitrogênio (78 kPa). O CO<sub>2</sub> foi adsorvido pela passagem prévia do ar em uma câmara contendo óxido de cálcio.

As câmaras de tratamento são equipadas com regulador de pressão no ponto de entrada e válvula de agulha no ponto de saída de cada vaso para regular a pressão do ar e o fluxo de ar, respectivamente, além de uma válvula de segurança. O sistema foi conectado a um compressor de ar comprimido de 250 L (Schulz, modelo MSV 20 MAX, Joinville, Santa Catarina, Brasil) para suprimento de ar comprimido. O fluxo de ar foi medido usando um flowmeter uma faixa de medição de  $5\text{-}2000\text{ mL min}^{-1} \pm 12\text{ mL min}^{-1}$  (Bronkhorst™, Ruurlo, Holanda). A concentração de  $\text{CO}_2$  foi medida usando analisador de gás infravermelho (Guardian® Plus, Kirkton Campus, Livingston, Inglaterra). O medidor de vazão, e o analisador de  $\text{CO}_2$  foram conectados ao cartão de aquisição e controle (PersonnelDAQ 3000, Cleveland, OH, EUA) e a um computador. Pressão, taxa de fluxo de ar e nível de  $\text{CO}_2$  foram registrados usando o software DasyLab® (Measurement Computing Corporation, Norton, MA, EUA).



**Figura 1.** Esquema do sistema hiperbárico. 1. Compressor de ar comprimido; 2. Gerador de pressão; 3. Válvula de segurança; 4. Câmaras de 400 kPa, 600 kPa e 800 kPa; 5. Câmara de pressão do compressor (100 kPa); 6. Válvula de saída; 7. Coletor do ar das válvulas; 8. Medidor de fluxo de ar; 9. Analisador de gás infravermelho; 10. Placa de aquisição de dados e computador (Liplap et al., 2013).

## 2.4. Delineamento experimental

Para cada dia de pressão foi utilizado 60 cajus, sendo que 10 cajus foram utilizados para determinar a qualidade inicial (dia 0) (Tab. 1) e os demais 50 cajus, foram distribuídos nas 5 câmaras do sistema (10 cajus/câmara). Em seguida as câmaras foram fechadas e pressurizadas com as pressões de 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa por períodos de 1, 2 e 4 dias. A temperatura de  $22 \pm 1$  °C e umidade relativa do ar ( $95 \pm 2,0\%$ ) dentro das câmaras foi monitorada a cada 30 min utilizando registradores de dados (HOBO Prov2 U-23-001), inseridos dentro de cada câmara. Ao final de cada tempo de tratamento determinado, as câmaras foram despressurizadas automaticamente por 2h. Os cajus foram retirados das câmaras sendo 5 avaliados imediatamente e os outros 5 armazenados por mais 2 dias em condição de comercialização, ou seja, em ambiente a  $22 \pm 1$  °C. Para cada período de tratamento de pressão (1, 2 e 4 dias) foram realizadas 3 repetições totalizando 540 cajus no total.

**Tabela 1.** Parâmetros iniciais de qualidade de cajus.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Firmeza (N)	$10,2 \pm 1,02$
Sólidos solúveis (%)	$9,8 \pm 0,2$
Acidez titulável ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ de MF)	$0,44 \pm 0,1$
Ácido ascórbico ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de MF)	$119,2 \pm 3,4$
Clorofila total ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ MF)	$0,38 \pm 0,01$
Carotenoides ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ MF)	$1,16 \pm 0,02$
Antocianinas ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ MF)	$1,15 \pm 0,13$
Flavonoides ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ MF)	$11,0 \pm 1,48$
Compostos fenólicos ( $\text{mg de ác. gálico } 100 \text{ g}^{-1}$ MF)	$178,4 \pm 21$
Taninos ( $\text{mg de ác. tânico } 100 \text{ g}^{-1}$ MF)	$233,6 \pm 11$
Atividade antioxidante ( $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$ MF)	$3,53 \pm 1,15$

Valores representam a média  $\pm$  desvio padrão. MF = massa fresca.

## 2.5. Análises

2.5.1. Perda de massa: foi calculada pela diferença entre o peso inicial e final dos cajus, dividido pelo peso inicial, utilizando uma balança eletrônica com faixa de medição de 50-6000g  $\pm$  2g (Filizola, BP6, São Paulo, Brasil). Os resultados foram expressos em porcentagem do valor inicial.

2.5.2 Incidência de podridão: foi realizada por meio de análise visual, sendo os cajus classificados em 5 categorias: 0 = sem podridão; 1 = pouca (1 a 10% da área), 2 = média (11 a 20%), 3 = severa (21 a 30%) e 4 = muito severa (acima de 31%). Os resultados foram expressos em porcentagem.

2.5.3 Firmeza: a firmeza foi realizada na região equatorial dos frutos, após a retirada de uma porção da casca. Utilizou-se um penetrômetro digital com ponta de 6 mm (5–200 N  $\pm$  1N; Impac, IP-90DI, São Paulo, SP, Brasil), sendo os resultados expressos em Newton.

2.5.4 Taxa respiratória: as concentrações de CO<sub>2</sub> foram medidas ao longo do experimento com um intervalo de 10 minutos por leitura, totalizando 960 leituras por pressão, calculada automaticamente em tempo real durante todo o período experimental, como descrito por Goyette et al Goyette et al. (2011), de acordo com a equação 1:

$$TR = (\Delta CO_2 \times Q) / W \quad (1)$$

Onde:  $\Delta CO_2$  é a diferença entre a concentração de CO<sub>2</sub> na entrada da câmara e a concentração de CO<sub>2</sub> na saída da câmara, Q é a taxa de fluxo de ar e W é a massa dos cajus. Os resultados foram expressos em mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

2.5.5 Produção de etileno: após o período de pressão e armazenamento quatro cajus foram acondicionados em recipientes herméticos com capacidade de 5 L e fechados. Após 1 h, amostras de 200  $\mu$ L da composição gasosa interna dos recipientes (*head space*), foram coletadas dos recipientes através de um septo de silicone, com auxílio de seringa de cromatografia gasosa (SGE, Analytical Science). As amostras foram injetadas 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. A produção de etileno foi determinada após a retirada dos cajus das câmaras e foi expressa em µL de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

2.5.6 Sólidos solúveis: o teor de sólido solúveis foi determinado conforme a AOAC (1997) (met. 932.12), utilizando refratômetro digital (Atago®, modelo PR 101), e os resultados expressos em porcentagem.

2.5.7 Acidez titulável: a acidez titulável foi quantificada utilizando-se a metodologia descrita pela AOAC (1997) (met. 981.12), sendo expressa em % de ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> MF (massa fresca).

2.5.8 Ácido ascórbico: foi determinado conforme o indicado pela AOAC (1997) (met. 967.21), e os resultados expresso em mg de ácido ascórbico 100g<sup>-1</sup> MF.

2.5.9 Índice de cor (IC): foi determinado de acordo Mazzuz (1996), pelos parâmetros Luminosidade L\*, a\* e b\* (colorímetro Minolta CR-400, Konica Minolta, New Jersey). As leituras foram realizadas em quatro pontos na região equatorial em cada caju e o IC foi calculado por meio da equação 2:

$$IC = (100 \times a^*) / (L^* \times b^*) \quad (2)$$

2.5.10 Pigmentos: as clorofilas totais e os carotenoides foram extraídos em acetona a 80% gelada, filtrados em papel de filtro de 0,45µm e quantificados por espectrofotometria, como descrito por Lichtenthaler (1987), sendo expressos em mg 100g<sup>-1</sup> MF. O teor de antocianinas e flavonoides foram determinados pelo método de Francis (1982), que consistiu na extração das antocianinas e flavonoides com uma solução extratora de etanol e HCl 1,5N (na proporção de 85:15, respectivamente), seguida por uma homogeneização, armazenamento sob refrigeração durante 16 horas e posterior leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-vis (Femto 700 plus, São Paulo - SP, Brasil), em comprimento de onda de 374nm para antocianinas e 535nm para flavonoides, sendo expressos em mg 100g<sup>-1</sup> MF.

2.5.11 Compostos fenólicos totais: foi determinado conforme o método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006), com modificações. Para a extração dos

compostos fenólicos, 0,1 g das amostras foram maceradas em N<sub>2</sub> líquido, pesadas, diluídas em 10 mL de acetona 80%, colocadas em balões com tampa, deixadas em repouso sob refrigeração durante 24 horas e depois filtradas em papel filtro. Alíquota de 0,200 mL do filtrado foi transferido para tubo de ensaio, adicionando-se 1,925 mL de água e 0,125 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após agitação, a mistura permaneceu em repouso por 5 minutos e logo após foi adicionado 0,250 mL de CaCO<sub>3</sub> 20%, seguida de agitação e repouso em banho-maria a 40 °C, por 30 minutos. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> MF.

2.5.12 Taninos totais: foi determinado pelo método de Pansera et al. (2003), para a extração dos taninos totais, 0,1 g das amostras foram maceradas em N<sub>2</sub> líquido, pesadas, diluídas em 10 mL de acetona 80%, colocadas em balões com tampa, deixadas em repouso sob refrigeração durante 2 horas e depois filtradas em papel filtro. Alíquota de 0,150 mL do filtrado foi transferido para tubo de ensaio, adicionando-se 0,850 mL de água e 1000 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após agitação, a mistura permaneceu em repouso por 30 minutos e logo após foi adicionado 1000 mL de CaCO<sub>3</sub> 8%, seguida de agitação e repouso em banho-maria a 40 °C, por 30 minutos. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 725 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido tânico 100 g<sup>-1</sup> MF.

2.5.13 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 maceradas 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 absorbância a 517 nm e os resultados foram convertidos em porcentagem de

atividade antioxidante (% DPPH reduzido = Abs branco – Abs amostra), os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  de Trolox equivalente por  $100\text{ g}^{-1}$  MF.

2.5.14 Peroxidação de lipídeos: O método seguiu o procedimento de Heath e Packer (1968). As amostras foram congeladas em  $\text{N}_2$  líquido, maceradas, combinadas com 4 mL de tampão TCA (1% p / v), homogeneizadas e centrifugadas a  $10.000 \times g$  por 10 min a  $4\text{ }^\circ\text{C}$  (Biofuge Stratos model, Heraeus, Hanau, Alemanha). A partir do sobrenadante, 1 mL foi pipetado e transferido para o tubo de ensaio, adicionando 3 mL de ácido tiobarbitúrico a 0,5% (p / v) em 20% (p / v) de TCA e incubando em banho-maria a  $95\text{ }^\circ\text{C}$  por 60 min. Os tubos foram mantidos por 10 min em banho de gelo para interromper a reação. As amostras foram então novamente centrifugadas durante 10 min a  $10.000 \times g$ . A absorbância do sobrenadante foi medida usando um espectrofotômetro UV-vis (Femto 700 plus, São Paulo - SP, Brasil) a 535 nm e 600 nm. Os resultados foram expressos como malondialdeído (MDA) por nmol de peso fresco ( $\text{nmol } 100\text{g}^{-1}$  MF).

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

2.5.16 Atividade da Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6): foi determinada pela adaptação do método de Kar e Mishra (1976). A reação foi obtida pela combinação de 150  $\mu\text{L}$  da amostra extraída em tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100  $\text{mmol L}^{-1}$  (pH 7,5). Um total de 1950  $\mu\text{L}$  de tampão fosfato de potássio 100  $\text{mmol L}^{-1}$  (pH 7,5) foi usado como tampão de determinação, 150  $\mu\text{L}$  de tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100  $\text{mmol L}^{-1}$  (pH 7,5) como tampão de extração e 750  $\mu\text{L}$  de solução de peróxido de hidrogênio 50 mM como substrato enzimático. As

leituras foram feitas usando um espectrofotômetro UV-vis a 240 nm de absorvância. A atividade específica da CAT foi expressa como proteína U kg<sup>-1</sup>.

2.5.17 Atividade das Peroxidases (POD) (EC 1.11.1.7): foi determinada conforme Lima et al. (1999). O sistema de reação compreendeu 1 mL de extrato enzimático com 0,5 mL de peróxido de hidrogênio a 30% em tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,7) e 0,5 mL de solução de fenol e aminoantipirina. O sistema reacional foi colocado num banho de água a 30 °C durante 5 min. Foi adicionado álcool etílico absoluto (2 mL) para parar a reação, e a absorvância foi lida com um espectrofotômetro UV-vis a 505 nm de absorvância. A atividade específica da POD foi expressa como proteína U kg<sup>-1</sup>.

Para o cálculo da atividade específica da SOD, CAT e POD, o teor de proteína solúvel total foi medido usando o método de Bradford (Bradford, 1976).

## **2.6 Análise estatística**

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados (DBC), realizando-se 2 análises estatísticas em esquema fatorial duplo: [1] tempo de tratamento (t1, t2 e t4 dias) x pressão (100, 200, 400, 600 e 800 kPa); [2] tempo de tratamento + armazenamento (t1+2d, t2+2d e t4+2d) x pressão. Cada condição de pressão foi um tratamento e cada colheita foi um bloco. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o software AgroEstat, versão 2014 (Barbosa e Maldonado, 2014). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com 95% de probabilidade ( $p \leq 0.05$ ). Quando diferenças significativas foram encontradas, uma análise de regressão foi realizada.

## **3. Resultados e discussão**

### **3.1. Perda acumulada de massa (PM)**

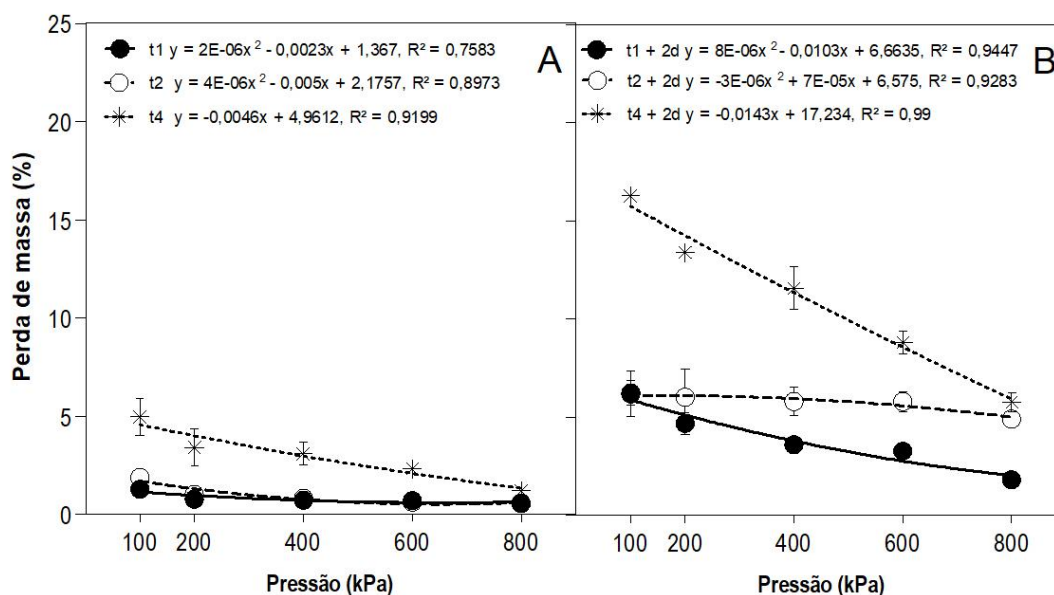
Houve diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, entre os níveis de pressões aplicadas e a perda de massa dos cajus. Tanto os tempos de



tratamento (Fig. 2A) quanto nos tempos de tratamento + armazenamento (Fig. 2B). Em ambos os casos as maiores PM foram observadas na pressão de 100 kPa (controle) no maior tempo (t4 e t4+2d), com valores de 5% (Fig. 2A) e de 16% (Fig. 2B).

Os cajus do controle (100 kPa) apresentaram PM média 47% maior que os cajus tratados na pressão de 800 kPa (Fig. 2B). Essa perda de massa pode ser atribuída à modificação da pressão atmosférica quando os frutos foram colocados na condição de ambiente por mais 2d fazendo com que aumentasse a diferença de pressão de vapor entre os frutos e o ambiente, ocasionando maior perda de água. Esse comportamento também foi evidenciado por outros autores ao aplicarem altas pressões na conservação de frutas e hortaliças (Inestroza-Lizardo, et al., 2018; Liplap et al., 2014; Goyette, 2012; Baba e Ikeda, 2003).

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem afirmar que a modificação da pressão atmosférica ao redor do produto, principalmente nas pressões de 600 e 800 kPa, são eficazes na redução da perda de massa dos cajus.



**Figura 2.** Perda de massa dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22°C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

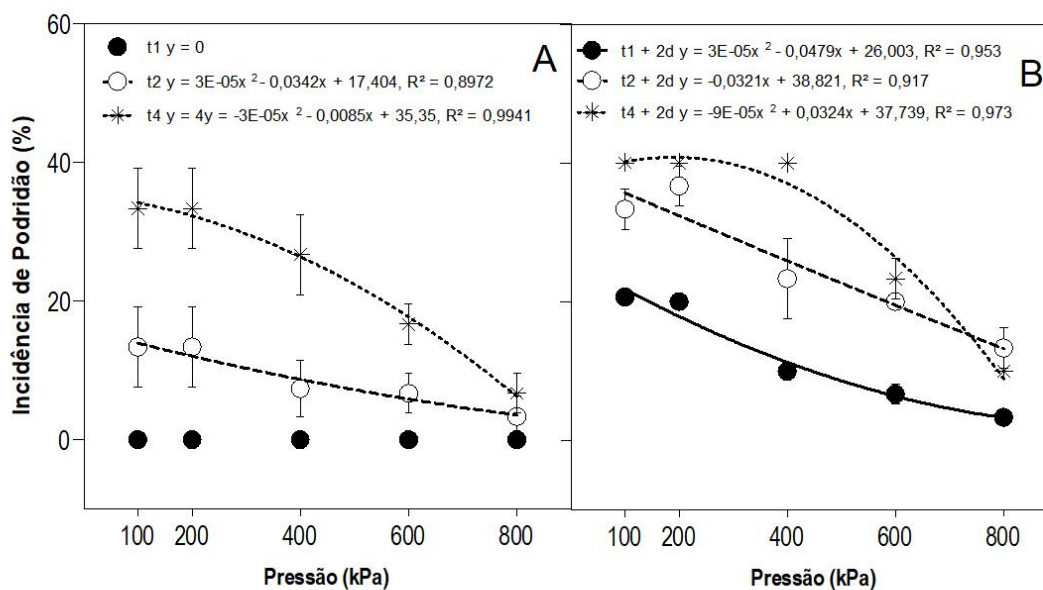
### 3.2 Incidência de podridão (IP)

Houve efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os valores de pressões aplicadas e a incidência de podridão dos cajus tanto nos tempos de pressão (t2 e t4) quanto após 2d de armazenamento (t1+2d, t2+2d e t4+2d) (Fig. 3A e B).

A incidência de podridão dos cajus aumentou após o período de armazenamento ao ambiente. As maiores IP foram observadas nas menores pressões aplicadas (100, 200 e 400 kPa) (Fig. 3). Os cajus submetidos as pressões de 100, 200 e 400 kPa do tratamento t4+2d apresentaram IP superior 30%, e foram classificados como impróprios para o consumo, conforme os índices estabelecidos por Paula (2017), para caju.

Os cajus submetidos as pressões de 600 e 800 kPa apresentaram IP abaixo de 30%, permitindo afirmar que a modificação da pressão atmosférica ao redor do produto, foi eficaz na redução da IP dos cajus.

O efeito da pressão no controle de podridões é considerado uma técnica promissora, devido à eficiência na redução de infecções e danos causados por diversos patógenos. Romanazzi et al. (2008) demonstraram que, em tomate cereja, a pressão hiperbárica de 150 kPa por 4 h à 20°C reduziu a incidência da podridão marrom, mofo cinzento e azul, enquanto que em bagas de uva à pressão de 150 kPa por 24h reduziu a incidência e severidade de *Bothrytes cinerea*. De acordo com Baba e Ikeda (2003), a pressão de 500 kPa por 5 dias controlou as podridões em pós-colheita de frutos de umezeiro (*Prunus mume*).



**Figura 3.** Incidência de podridão dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22°C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22°C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.3 Firmeza

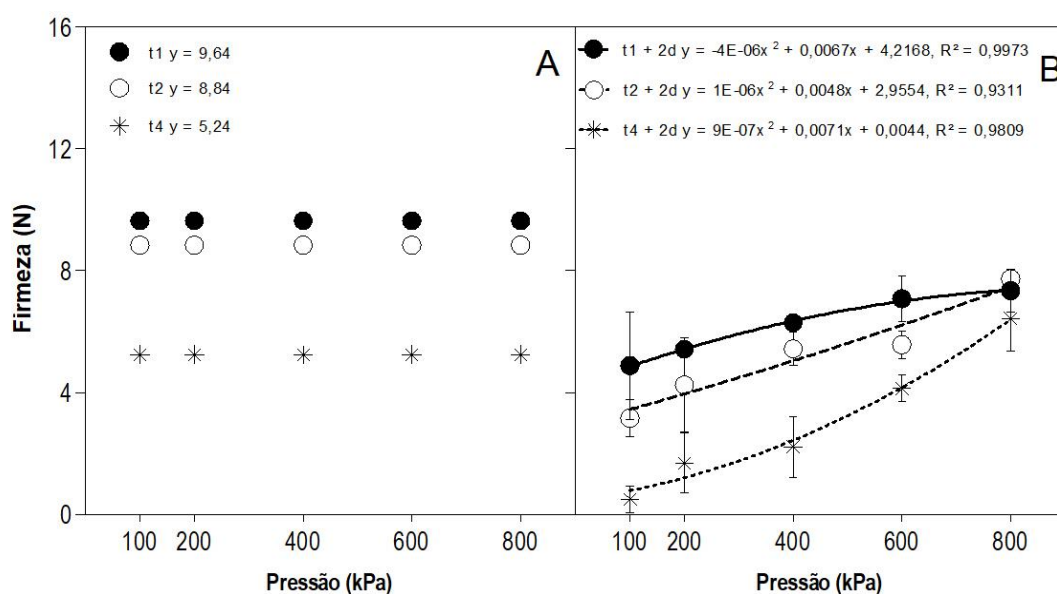
Verifica-se que não houve diferenças entre as pressões aplicadas quanto à firmeza dos cajus (Fig. 4A), entretanto, após 2 d ao ambiente, os cajus do controle apresentaram firmeza significativamente menor daqueles submetidos às maiores pressões (Fig. 4B). Além disso, quanto maior o período de exposição à pressão (tempo), menor era a firmeza dos cajus (Fig. 4).

Paula (2017), estabelece que cajus que apresentam valores de firmeza menor que 3 N estão impróprios para a comercialização. Com base nessa classificação os cajus submetidos as pressões de 100, 200 e 400 kPa estão impróprios para a comercialização após 6 dias (4t+2d) (Fig. 4B).

Esses resultados estão de acordo com os obtidos para o índice de podridão. A manutenção da firmeza dos frutos tratados com as pressões de 600 e 800 kPa, pode ser atribuída ao baixo nível de ataque de doenças (Fig. 3), quando comparado

com as demais pressões, contribuindo para um atraso na senescência do vegetal, e baixa perda de massa fresca (Fig. 2).

As altas pressões têm efeito direto na manutenção da firmeza em frutos e hortaliças, esse efeito também é evidenciado em outros vegetais. Inestroza-Lizardo et al. (2018) ao avaliarem tomates cv. Debora submetidos a diferentes pressões e tempos de tratamento, também relataram a manutenção da firmeza nos frutos tratados com 600 e 800 kPa. Liplap et al. (2014) ao avaliarem firmeza em alfaces tratadas durante 5 dias com 100, 200, 400, 625 e 850 kPa, a 20 °C, observaram que as alfaces do tratamento de 850 kPa apresentaram maior firmeza em relação aquelas alfaces não tratadas (100 kPa a 20 °C).



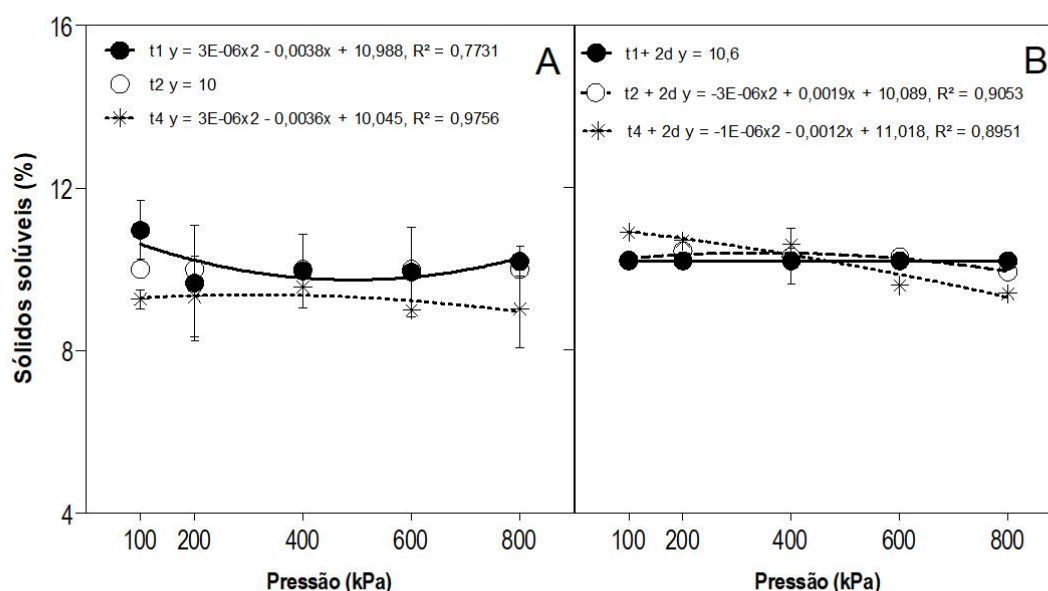
**Figura 4.** Firmeza dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22°C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.4 Sólidos solúveis (SS)

Houve efeito significativo ( $P < 0.05$ ), para o teor de sólidos solúveis nos caju após o tratamento hiperbárico ( $t_1$  e  $t_4$ ) como também após o período de armazenamento ( $t_2+2d$  e  $t_4+2d$ ) (Fig. 5).

Os tratamentos apresentaram valores médios de SS de 9,8, 10 e 9,8% para  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  e de 10,2, 10,2 e 10,2% para  $t_1+2d$ ,  $t_2+2d$  e  $t_4+2d$  (Fig. 5). Os maiores teores de SS foram observados nos caju do controle no  $t_1$  (Fig. 5A) e no  $t_4$  (Fig. 5B). O aumento do teor de SS pode-se relacionar com a conservação dos vegetais, nesse aspecto pode-se dizer que houve influência das pressões aplicadas no conteúdo de SS dos caju durante o tratamento hiperbárico nos dias de pressão, indicando um atraso na senescência deste vegetal.

Silva (2016), ao avaliar o efeito de atmosferas hiperbáricas na conservação de mangas, observou que o teor de SS foi inferior na pressão de 800 kPa, quando comparados com os do controle (100 kPa).



**Figura 5.** Sólidos solúveis dos caju submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

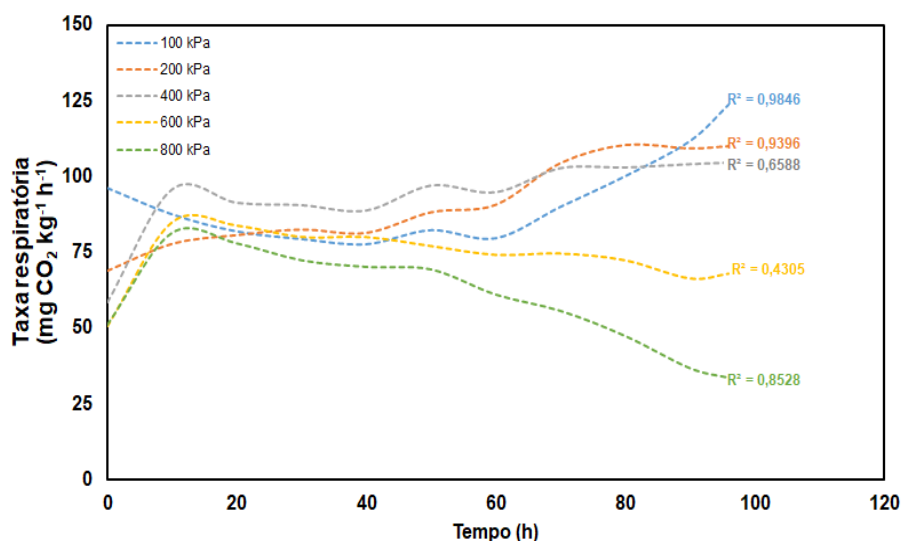
### 3.5 Taxa respiratória (TR)

Os caju s submetidos as pressões hiperbáricas por 4 dias registraram taxa respiratória (TR) média de 79,6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto que os caju s a 100 kPa (controle) apresentaram taxas respiratórias médias maiores (92 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), durante o mesmo período (Figura 5).

A taxa respiratória dos caju s na pressão de 800 kPa foi 35% menor que a média registrada pelos caju s do controle (100 kPa). Os caju s submetidos a maior pressão registraram uma tendência de redução da TR. Entre a 10<sup>a</sup> e 96<sup>a</sup> hora, houve uma redução de 41,52 % na taxa respiratória dos caju s a 800 kPa. Contudo o efeito da pressão na taxa respiratória depende de outros fatores, como temperatura, intensidade e exposição. 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 entre 1 e 10 °C, relataram a diminuição da taxa respiratória em relação aos frutos do controle. Goyette et al. (2012) relataram 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. Inestroza-Lizardo (2017), relatou a diminuição da taxa respiratória em tomates 'Debora', submetido as pressões de 200, 400, 600 e 800 kPa em relação aos frutos do controle (100 kPa).

As menores médias atribuídas às pressões podem ter sido influenciadas pela solubilização do CO<sub>2</sub> no interior dos caju s e à diluição do CO<sub>2</sub> nos recipientes, resultado do incremento das pressões parciais dos gases do ar no interior das câmaras hiperbáricas, conforme o verificado por Goyette et al. (2012). Provavelmente, o CO<sub>2</sub> gerado pela respiração dos caju s tenha sido inicialmente solubilizado nos tecidos internos até alcançar a pressão parcial do CO<sub>2</sub> do ar que o circundava. Posteriormente, ocorreu a diluição do CO<sub>2</sub> no interior da câmara hiperbárica, ocasionando o aumento da pressão parcial do CO<sub>2</sub> do ar que circunda o produto com o aumento da concentração do CO<sub>2</sub> dentro da câmara e, conseqüentemente, dos valores das leituras de CO<sub>2</sub>. Este processo de diluição e

solubilização é contínuo, e se estabiliza somente quando a quantidade de CO<sub>2</sub> que sai da câmara se torna igual à gerada pela taxa respiratória (Liplap et al., 2014).



**Figura 5.** Evolução da taxa respiratória durante 96 horas dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR.

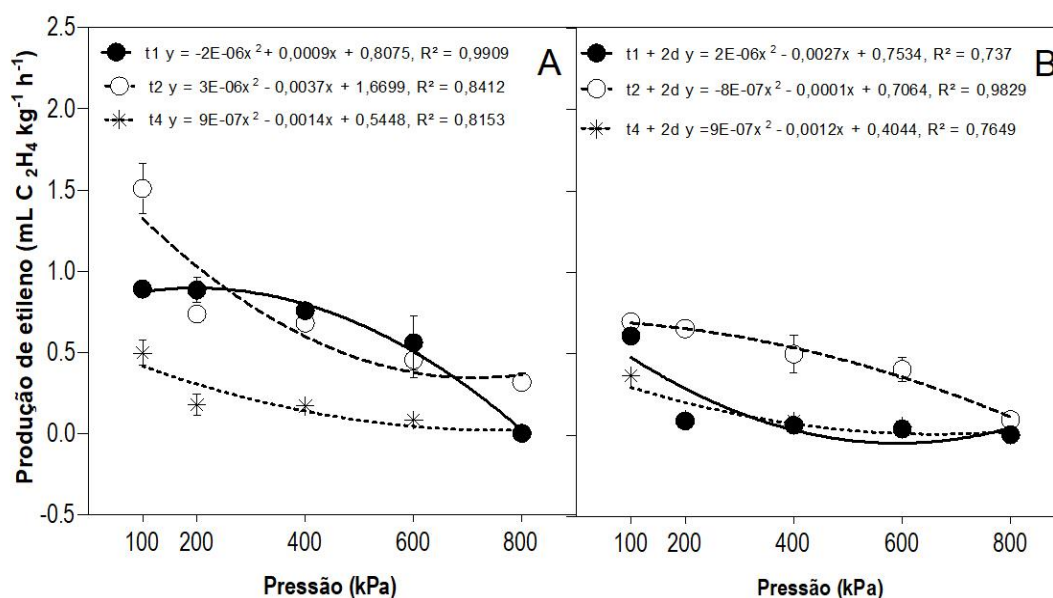
### 3.6 Produção de etileno

Houve efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) para a produção de etileno dos cajus após os períodos de pressão como também após o armazenamento (Fig. 7).

Houve diminuição proporcional dos teores de etileno em relação ao aumento das pressões aplicadas, constatando-se as menores médias para os cajus a 800 kPa (Fig. 7). Com relação aos tempos de aplicação da pressão, verifica-se que os cajus do tratamento 4d apresentaram as menores produções de etileno, com destaque para a maior pressão aplicada (Fig. 7A). A inibição da produção de etileno, pode ser atribuída em parte, ao efeito inibitório da pressão sobre a atividade da ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano), enzima que catalisa conversão do ACC em etileno, como explicam Baba et al. (1999), avaliando os tratamentos entre 5 e 200 MPa aplicados sob refrigeração (1 a 10 °C), durante 10 min, observaram uma diminuição na produção de etileno em frutos de umezeiro, independente da pressão aplicada. 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 oxidase

nos frutos tratados, enquanto que os níveis do substrato (ACC) permaneceram inalterados.

A maior produção de etileno apresentada pelos cajus do tratamento controle está relacionada ao estágio avançado da senescência dos frutos deste tratamento. Os dados do controle estão de acordo com os de maior perda de massa (Fig. 2) menor firmeza (Fig. 4) e maior taxa respiratória (Fig. 5), que os cajus submetidos a 600 e 800 kPa.



**Figura 7.** Produção de etileno dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.7 Acidez titulável (AT)

A acidez titulável apresentou efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ), para os períodos de pressão hiperbárica e após o período de armazenamento dos cajus (Fig. 8).

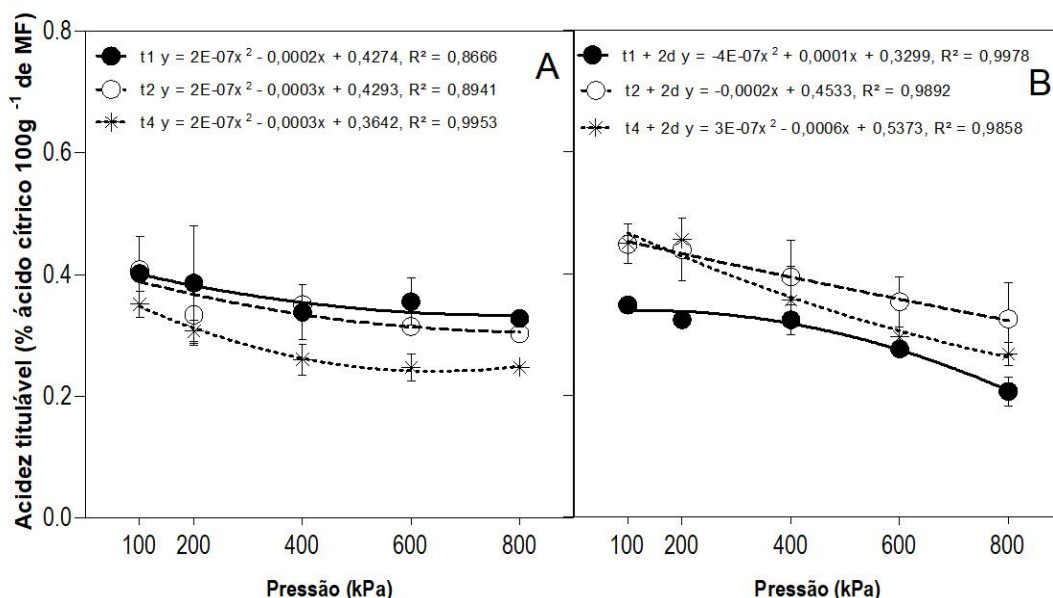
A acidez é um importante parâmetro para a aceitação das frutas e seus derivados pelos consumidores. O teor de ácidos não determina apenas o sabor



azedo de frutas, polpas e sucos; mas pode também mascarar o gosto adocicado dos mesmos (Lyon et al., 1993), a relação entre a acidez titulável e o teor de açúcares totais um dos principais fatores correlacionados à atração das pessoas pela fruta. A acidez relaciona-se também com o estado de maturação e conservação da fruta, sendo um importante parâmetro em estudos de pós-colheita destes produtos.

Os valores de AT apresentaram uma redução com o aumento da pressão, independente do período de exposição (t1, t2 e t4) (Fig. 8A), comportamento similar ao observado após o período de armazenamento (Fig. 8B). Contudo, não se pode relacionar esse comportamento com o amadurecimento, pois o caju é considerado pseudofruto não-climatérico (Tezotto-Uliana et al., 2018).

A acidez indica a quantidade de ácidos orgânicos presentes no fruto (Ferreira et al., 2010), e influencia diretamente no sabor/doçura.



**Figura 8.** Acidez titulável dos caju submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.8 Ácido ascórbico (AA)

Não foi observado efeito significativo ( $P \geq 0.05$ ) no conteúdo de AA dos caju entre os níveis de pressões aplicadas (Tab. 2).

O ácido ascórbico é um composto antioxidante que tem importante papel na supressão dos radicais livres (Kaur et al., 2013; Gill e Tuteja, 2010), 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).

Não foi possível estabelecer um comportamento coerente para os valores de AA dos caju. Os teores médios de AA variaram de 115, 133 e 108 mg de AA 100 g<sup>-1</sup> MF para t1, t2 e t4 e de 123, 137 e 116 mg 100 g<sup>-1</sup> MF para t1+2d, t2+2d e t4+2d (Tab. 2). Contudo, o efeito de altas pressões neste composto antioxidante não está definido.

**Tabela 2.** Ácido ascórbico (mg 100 g<sup>-1</sup> MF) dos caju submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22°C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em dias; MF = Massa fresca.

Tratamento (kPa)	Dias de armazenamento					
	Dias de Pressão			Dias de Pressão + Ambiente		
	1	2	4	t1+2d	t2+2d	t4+4d
100	121,0 <sup>a</sup>	131,3 <sup>a</sup>	120,2 <sup>a</sup>	123,9 <sup>a</sup>	162,3 <sup>a</sup>	109,3 <sup>b</sup>
200	115,2 <sup>ab</sup>	139,4 <sup>a</sup>	118,5 <sup>a</sup>	119,4 <sup>a</sup>	148,8 <sup>a</sup>	104,6 <sup>b</sup>
400	116,7 <sup>ab</sup>	127,3 <sup>a</sup>	111,8 <sup>ab</sup>	107,9 <sup>a</sup>	135,7 <sup>a</sup>	101,0 <sup>b</sup>
600	106,5 <sup>b</sup>	129,7 <sup>a</sup>	83,9 <sup>c</sup>	114,5 <sup>a</sup>	122,9 <sup>a</sup>	184,0 <sup>a</sup>
800	116,9 <sup>ab</sup>	135,3 <sup>a</sup>	103,9 <sup>b</sup>	145,2 <sup>a</sup>	117,0 <sup>a</sup>	79,3 <sup>b</sup>
Média	115,3 <sup>b</sup>	132,6 <sup>a</sup>	107,7 <sup>c</sup>	122,8 <sup>a</sup>	137,4 <sup>a</sup>	115,6 <sup>a</sup>

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0.05$ ).

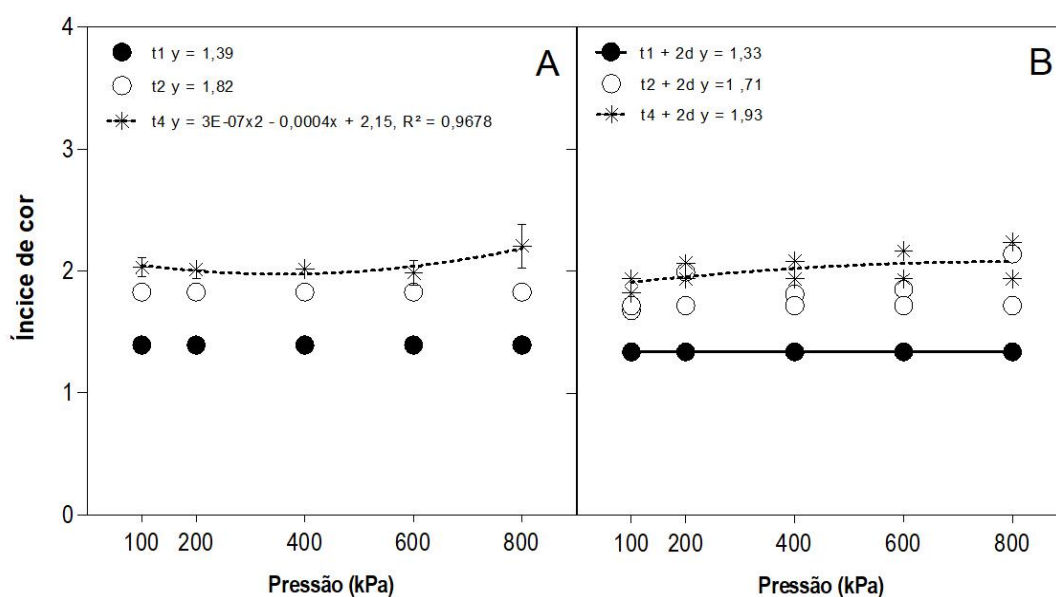
### 3.9 Índice de cor (IC)

Para o índice de cor, houve diferenças significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre os tratamentos apenas quando os cajus que permaneceram por 4 dias sob pressão (Fig. 9A).

Os valores do IC foram crescentes em função do período de exposição, esse fato pode ser atribuído ao processo de degradação das clorofilas pela atuação da enzima clorofilase, apresentando uma relação inversamente proporcional ao comportamento do IC, uma vez que os maiores valores de clorofilas foram nos menores períodos de exposição (Fig. 10). Como afirmam Filgueiras et al. (1999) que as mudanças de cor em cajus durante a maturação são devido à perda de clorofila.

Esse fato também pode ser associado a síntese de pigmentos, durante o processo de senescência do fruto. Isso justifica o aumento do IC observado durante os períodos de pressão avaliado neste estudo, tendo diretamente proporcional com o teor e antocianinas (Fig. 12). Já que coloração vermelha do clone CCP-76 é especialmente devida ao aumento do conteúdo de antocianinas (Agostini-Costa et al., 2000; Robards e Antolovich, 1997)

Tezotto-Uliana et al. 2018, ao avaliar o índice de cor de cajus submetidos a etanol volatilizado, observou valores condizentes ao deste estudo, variando de 0,1 a 1,6, atribuída essa variação ao estágio de maturação.



**Figura 9.** Índice de cor dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média. Índice variando de 0 = amarelo a 4 = verde.

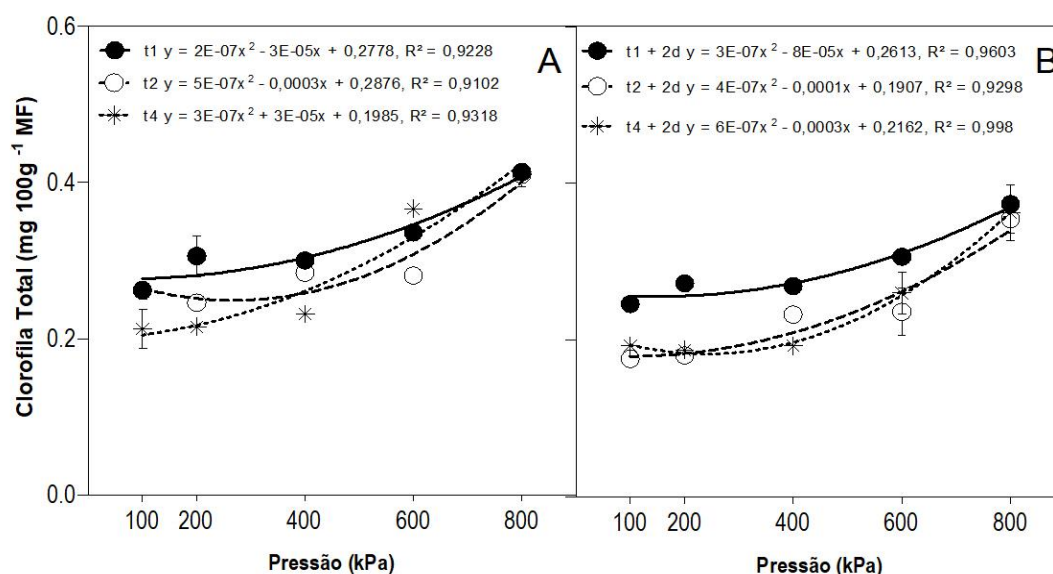
### 3.10 Clorofila Total (CT)

Observou-se a manutenção do teor de CT dos cajus submetidos a pressão de 800 kPa (Tab. 1), independente do período de exposição e mesmo após de 2 dias em condição ambiente (Fig. 10). Os cajus do tratamento controle (100 kPa) apresentaram uma redução média de 58,5% do teor de CT, quando comparados com os cajus submetidos a pressão de 800 kPa, independentemente do período de pressão (Fig. 10A). Após o período de armazenamento de 2 dias, houve tendência similar, ocorrendo diferença de 54% entre o CT do controle e da maior pressão aplicada (800 kPa) (Fig. 10B).

Essa degradação provavelmente está ligada com a maior produção de etileno (Fig. 7) dos frutos controle, uma vez que esse hormônio vegetal é responsável por desencadear diversas reações, como a degradação da clorofila pela atuação da

enzima clorofilase. Segundo Filgueiras et al. (1999) que as mudanças de cor em caju durante a maturação são devido à perda de clorofila.

Esse comportamento também foi evidenciado por Liplap et al., (2014) ao avaliarem o teor de CT em alfaces tratadas durante 5 dias com 850 kPa, a 20 °C, os autores observaram que os maiores conteúdos de clorofila estavam presentes nas alfaces tratadas com 850 kPa.



**Figura 10.** Clorofila total dos caju submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.11 Carotenoides totais (CTO)

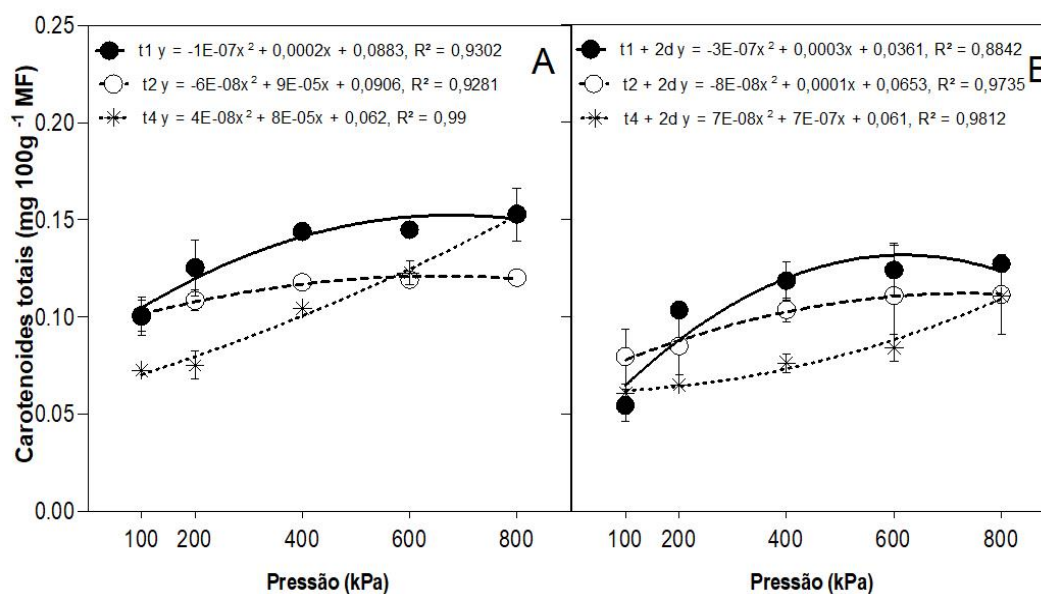
Observou-se efeito significativo ( $P < 0,05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e teor de carotenoides totais dos caju tanto nos tempos de pressão quanto após 2d de armazenamento (Fig. 11).

Os teores de CTO dos caju seguiram a mesma tendência do teor de CT (Fig. 10), onde os menores valores de CTO foram observados nos caju do controle, independentemente do tempo de exposição a pressão (Fig. 11). Os caju do

controle (100 kPa) apresentaram uma redução média nos valores de carotenoides de 64,3% quando comparados com os caju submetidos a pressão de 800 kPa (Fig. 11A). Posteriormente ao período de armazenamento de 2 dias, os caju submetidos a pressão de 100 kPa apresentaram uma redução nos teores de carotenoides totais média de 55% quando comparado com os caju submetidos a pressão de 800 kPa.

A degradação do conteúdo dos carotenoides nos caju do controle (100 kPa) pode ser atribuída à oxidação desses compostos devido a senescência elevada quando comparados com os caju sob altas pressões. Os carotenoides são compostos facilmente oxidados devido ao grande número de ligações duplas conjugadas, a sua oxidação é altamente dependente de seu ambiente (Fennema, 1996). Esses pigmentos são considerados os protetores naturais das clorofilas, pois funcionam como fotoprotetores e capturam espécies reativas de oxigênio, que podem causar danos as moléculas das clorofilas (Fennema, 1996). Assim, à medida que os carotenoides são removidos da membrana tilacóide, a membrana e seus constituintes (clorofilas) tornam-se mais suscetíveis a danos pelos radicais livres (Heaton e Marangoni, 1996). Isso explicaria a maior degradação do conteúdo das clorofilas totais (Fig. 10) dos caju da atmosfera ambiente (100 kPa). O interessante é que a manutenção desse antioxidante (carotenoides) nos caju (Tab. 1) ocorreu sob as altas pressões aplicadas (Fig. 11). Isso sugere que o oxigênio em concentrações elevadas, como as das utilizadas nesse experimento, possa ter inibido alguma rota metabólica ou enzimática e retardado assim, a senescência natural dos caju, prolongando, por sua vez, a vida de prateleira desse vegetal.

Em trabalhos realizados por Lopes et al. (2012), na caracterização de caju com diferentes estádios de maturação, os autores encontraram valores médios variando entre 0,19 a 0,41 mg 100g<sup>-1</sup> MF, valores condizentes ao deste estudo. O conteúdo de carotenoides nos vegetais depende de vários fatores, como estágio de maturação, condições climáticas e geográficas e manejo pós-colheita (Rodriguez-Amaya, 2001).



**Figura 11.** Carotenoides totais dos caju submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

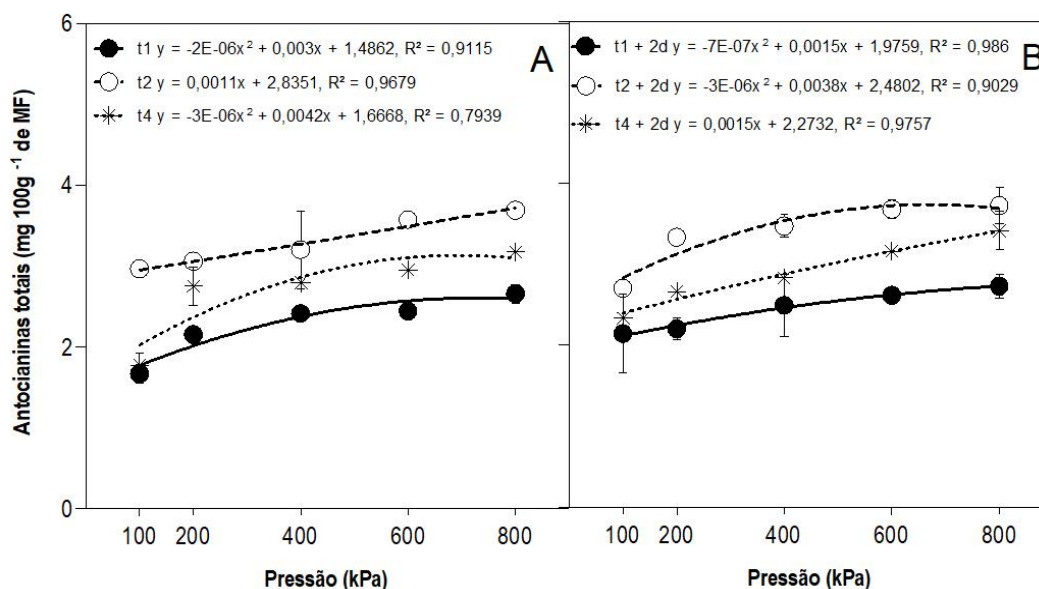
### 3.12 Antocianinas totais (ANT)

O teor de antocianinas totais (Fig. 12) dos caju submetidos aos tratamentos hiperbáricos apresentaram a mesma tendência evidenciada para CT (Fig. 10) e carotenoides (Fig. 11). Os teores de ANT nos caju do controle (100 kPa) foram menores quando comparados com os submetidos a pressão de 800 kPa (Fig. 12), com uma redução média de 67,7 e 72,8%, após os períodos de pressão e posteriormente ao período de armazenamento (2 dias), quando comparados com os caju submetidos a 800 kPa (Fig. 12). Os teores de ANT variaram de 1,66 a 3,7 mg 100g<sup>-1</sup> MF, valores coerentes com os encontrados por Lopes et al. (2012) em caju.

A coloração vermelha do clone CCP-76 é especialmente devida ao aumento do conteúdo de antocianinas que, da mesma forma que as proantocianidinas, são polifenóis do grupo flavonoide, formado por unidades de antocianidinas (Agostini-Costa et al., 2000; Robards e Antolovich, 1997). Ao relacionarmos os teores de ANT

com o IC, provavelmente, o menor IC e o menor teor de antocianina dos cajus tratados com a pressão controle (100 kPa) estão relacionados ao fato de que esses tratamentos atuaram não apenas nas proantocianidinas, mas também nas antocianidinas glicosiladas (as antocianinas), de modo que o pigmento a biossíntese foi reduzida. Ainda sabe-se que a síntese de antocianinas continua após a colheita. A síntese/degradação de antocianinas podem ser afetadas pelos níveis de  $O_2$  e  $CO_2$  fator relacionado com a atividade das enzimas da via de biossíntese desse pigmento (Miguel et al. 2004).

Em resposta aos resultados obtidos neste trabalho permite-se afirmar que a modificação da pressão atmosférica ao redor do produto, principalmente nas altas pressões, foi eficaz na produção de antocianinas em caju.



**Figura 12.** Antocianinas totais dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

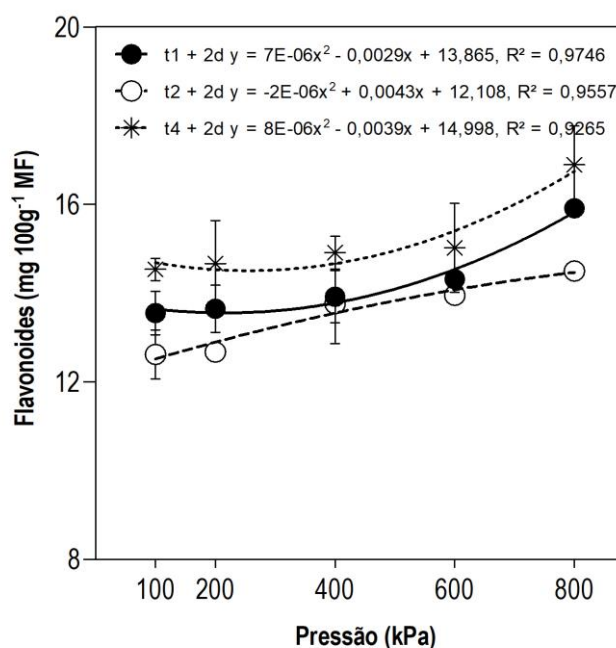


### 3.13 Flavonoides

Não foi observado efeito significativo ( $P \geq 0.05$ ) entre os períodos de pressão ( $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ ) e o teor de flavonoides nos caju, os valores médios entre os tempos de tratamento hiperbárico foram de 13,16, 13,51 e 13,58 mg 100 g<sup>-1</sup> MF para 1, 2 e 4 dias de pressão, respectivamente. Houve efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e teor de flavonoides dos caju após 2d de armazenamento (Fig. 13).

Após o armazenamento por 2 dias observou-se uma tendência no aumento progressivo do teor de flavonoides com aumento das pressões aplicadas, independente do período de exposição, chegando a uma diferença média de 14% a mais do teor de flavonoides para os caju tratados com a pressão de 800 kPa, quando comparados com os caju do controle (Fig. 13). Lopes et al. (2012), avaliando o teor de flavonoides em caju CCP-76, encontraram valores desse antioxidante variando de 16,99 a 56,32 mg 100 g<sup>-1</sup> MF, essa divergência quando comparados com os valores encontrados neste trabalho pode ser atribuído a idade e época de colheita do vegetal, como explica Beckles (2012), onde a qualidade dos vegetais é dependente da interação de fatores genéticos, agrônômicos, climáticos e de manejo pós-colheita.

Os flavonoides têm relação direta com a coloração vermelha dos caju (Agostini-Costa et al., 2000; e Robards e Antolovich, 1997), possuindo relação direta com o IC (Fig. 9), dos frutos após o período de armazenamento.



**Figura 13.** Flavonoides dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95 % UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.14 Compostos fenólicos totais (CFT)

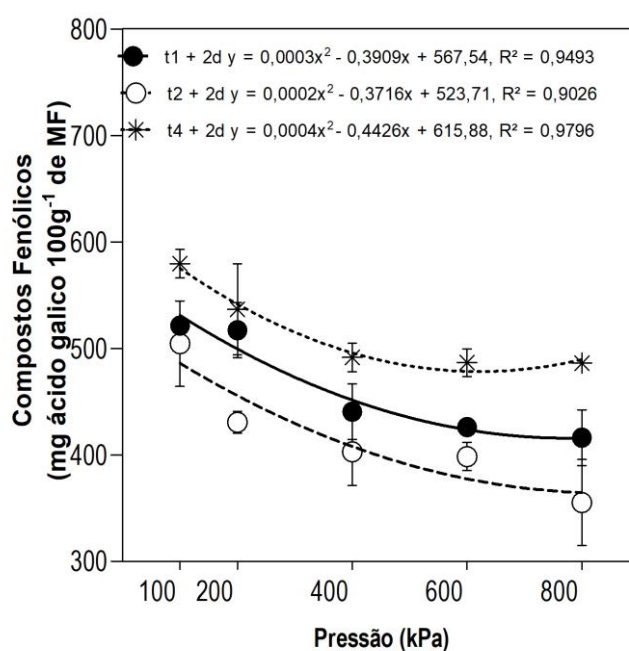
Não foi observado efeito significativo ( $P \geq 0.05$ ) para os valores de CFT após os períodos de pressão, variando de 409,1, 432,5 e 447,5 mg ácido gálico  $100^{-1}$  MF, para 1, 2 e 4 dias de pressão, respectivamente. Houve efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicados e teor de compostos fenólicos dos cajus após 2d de armazenamento (Fig. 14B).

Posterior ao período de armazenamento observou-se diminuição progressiva dos valores CFT em função do aumento das pressões aplicadas, independente do período de pressão (Fig. 14). Esse fato poder ser atribuído ao estágio de senescência do vegetal, como explica Paula (2017), onde o aumento dos CFT, principalmente nas pressões de 100, 200 e 400 pode ser dado pela a radiólise da água, que resulta na produção de radicais livres, que por sua vez, liberam glicosídeos, aumentando o teor de CFT (Lee et al., 2009).

De acordo com Huber et al. (2008) os teores de CFT são resultado dos processos de biossíntese e degradação (aumento ou diminuição), e dependerão do processo que atuará mais intensamente.

Outra possibilidade é de que pressões de 600 e 800 kPa podem ter inibido a atividade das enzimas envolvidas na biossíntese de compostos fenólicos, como a fenilalanina amônia-liase (PAL) (Reyes e Cisneros-Zevallos, 2007). Como também 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)

Entretanto, há evidências de que tratamentos físicos pré e pós-colheita possam aumentar o teor de fenólicos dos vegetais, este efeito não foi evidenciado no presente estudo com o uso da pressão hiperbárica, esse mesmo comportamento foi descrito por Inestroza-Lizardo et al. (2019), ao submeterem tomates 'Debora' as mesmas pressões descritas neste trabalho.



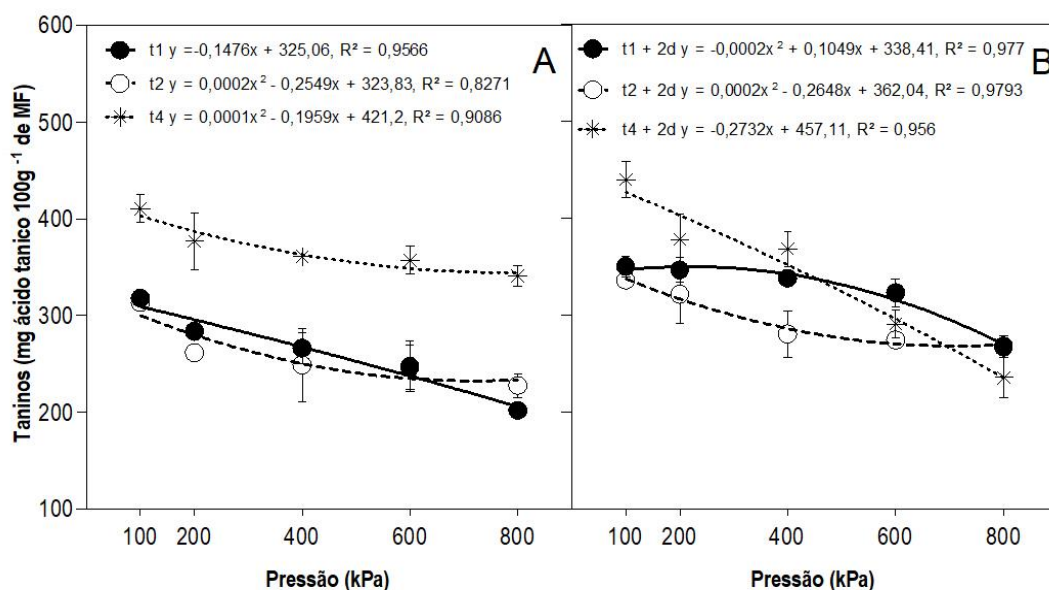
**Figura 14.** Compostos fenólicos dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos após 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.15 Taninos

Observou-se efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e teor de taninos dos cajus tanto nos tempos de pressão quanto após 2d de armazenamento (Fig. 15A e B).

As altas pressões aplicadas provocaram a destaninização, ou seja, a redução do teor de taninos em função do aumento das pressões aplicadas quando comparadas com o controle (100 kPa) (Fig. 15). Os valores de taninos encontrados neste trabalho estão de acordo com Michodjehoun-Mestres et al. (2009) e Queiroz et al. (2011a,b), que verificaram que o clone CCP-76, quando completamente maduro, contém de 100 a 500 mg 100g<sup>-1</sup> MF. A diminuição a adstringência do caju é um processo benéfico, uma vez que a adstringência é uma sensação táctil na qual a lubrificação normal da superfície da boca é prejudicada devido à precipitação das proteínas salivares (Lyman e Green, 1990). Desta maneira, a aplicação de altas pressões, com destaque para as pressões de 600 e 800 kPa, surgem como uma tecnologia alternativa, inovadora e de baixo custo para reduzir a adstringência dos frutos.

A diminuição da adstringência em caju clone anão precoce CCP-76, também foi relatada por Tezotto-Uliana et al. (2018), utilizando o etanol por volatilização. Entretanto, esta técnica pode trazer consequências indesejáveis aos frutos, como perda de firmeza, surgimento de manchas na casca e alterações no sabor e no odor, caso não sejam observados o estágio de maturação, a época de colheita, a concentração utilizada, o tempo e a temperatura de exposição ao etanol volatilizado (Edagi et al., 2009; Edagi e Kluge, 2009; Ittah, 1993; Pesis, 2005).



**Figura 15.** Taninos dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.16 Atividade antioxidante total (AAT)

Não foi observado efeito significativo ( $P > 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e a atividade antioxidante total dos cajus tanto nos tempos de pressão quanto após 2d de armazenamento (Tab. 3).

Os valores de AAT não sofreram alteração após o período de pressão e de armazenamento, com média de 42  $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ . Lopes et al. (2012) avaliando o teor da atividade antioxidante total em cajus em diferentes estádios de maturação encontraram valores de 41,5  $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ , valores coerentes ao deste trabalho.

**Tabela 3.** Atividade antioxidante total ( $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) de cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR e por mais 2 dias (2d)

em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em dias; MF = Massa fresca.

Tratamento (kPa)	Dias de armazenamento					
	Dias de Pressão			Dias de Pressão + Ambiente		
	1	2	4	t1+2d	t2+2d	t4+2d
100	41,8 <sup>NS</sup>	41,6 <sup>NS</sup>	44,7 <sup>NS</sup>	42,6 <sup>NS</sup>	45,2 <sup>NS</sup>	42,6 <sup>NS</sup>
200	41,0 <sup>NS</sup>	44,8 <sup>NS</sup>	44,4 <sup>NS</sup>	39,9 <sup>NS</sup>	41,9 <sup>NS</sup>	39,9 <sup>NS</sup>
400	41,3 <sup>NS</sup>	37,6 <sup>NS</sup>	45,0 <sup>NS</sup>	42,3 <sup>NS</sup>	40,3 <sup>NS</sup>	41,9 <sup>NS</sup>
600	41,9 <sup>NS</sup>	42,1 <sup>NS</sup>	44,5 <sup>NS</sup>	43,2 <sup>NS</sup>	43,6 <sup>NS</sup>	42,6 <sup>NS</sup>
800	40,4 <sup>NS</sup>	42,3 <sup>NS</sup>	41,3 <sup>NS</sup>	41,6 <sup>NS</sup>	45,9 <sup>NS</sup>	40,9 <sup>NS</sup>
Média	42,60 <sup>a</sup>	41,71 <sup>a</sup>	43,98 <sup>a</sup>	41,63 <sup>a</sup>	43,98 <sup>a</sup>	41,59 <sup>a</sup>

\* NS: Não significativo (Tukey,  $P > 0.05$ ); Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0.05$ ).

### 3.17 Peroxidação de lipídeos

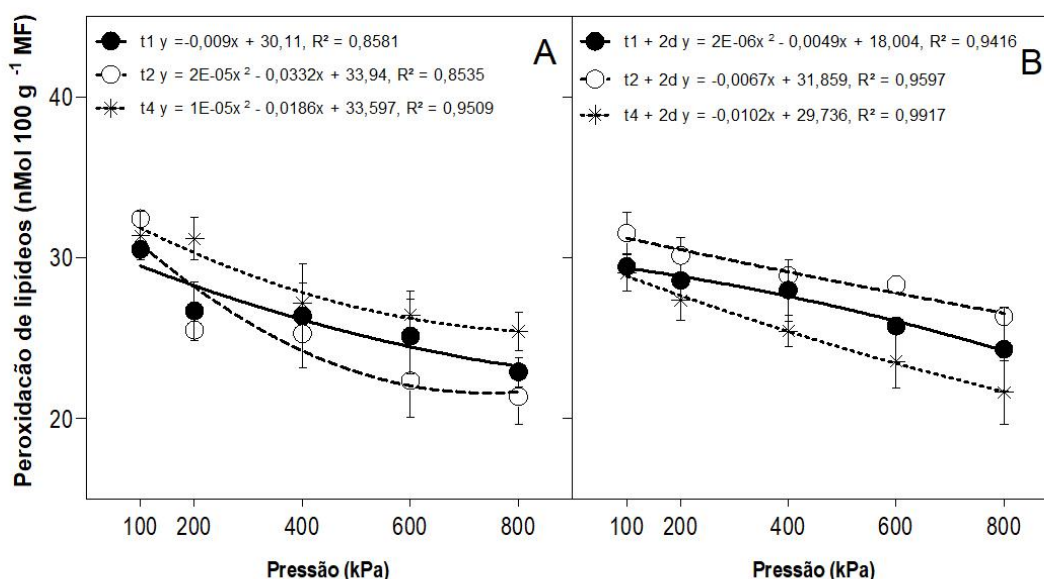
Houve efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e a peroxidação de lipídeos dos cajus tanto nos tempos de tratamento hiperbárico quanto após 2d de armazenamento (Fig. 16).

A pressão de 100 kPa (controle) apresentou os maiores valores de MDA independente do período de pressão, com um incremento médio de 26,1% maior em relação a pressão de 800 kPa (23 nmol MDA 100 g<sup>-1</sup> MF) (Fig. 16A). Após o período de armazenamento os cajus apresentaram o mesmo comportamento onde os pseudofrutos do controle tiveram um incremento médio de 20% em relação à pressão de 800 kPa (Fig. 16B).

O menor teor de MDA nos cajus submetidos às pressões elevadas, independente dos dias de aplicação, sugere que o tratamento hiperbárico foi eficiente na redução do estresse oxidativo. Contudo a influência das pressões hiperbáricas sobre o conteúdo de MDA não está clara e na literatura e são escassos os relatos do efeito desta técnica em frutas e hortaliças frescas. O tratamento de 4 dias de pressão foi o que apresentou os menores valores de MDA quando submetidos as altas pressões após o período de armazenamento (Fig. 16B). Esse comportamento também foi evidenciado por Inestroza-Lizardo et al (2017) e Kou et

al. (2016), quando trabalharam com aplicação de altas pressões na conservação pós-colheita de tomate, registrando que o conteúdo de MDA nos tomates foi inversamente proporcional ao aumento das pressões aplicadas, ou seja, nas maiores pressões obteve-se os menores teores de MDA.

O estresse oxidativo é crucial em fenômenos de estresses bióticos e abióticos, e ocorre quando há desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) 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, 4hidroxinonenal 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.



**Figura 16.** Peroxidação de lipídeos dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.18 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD)

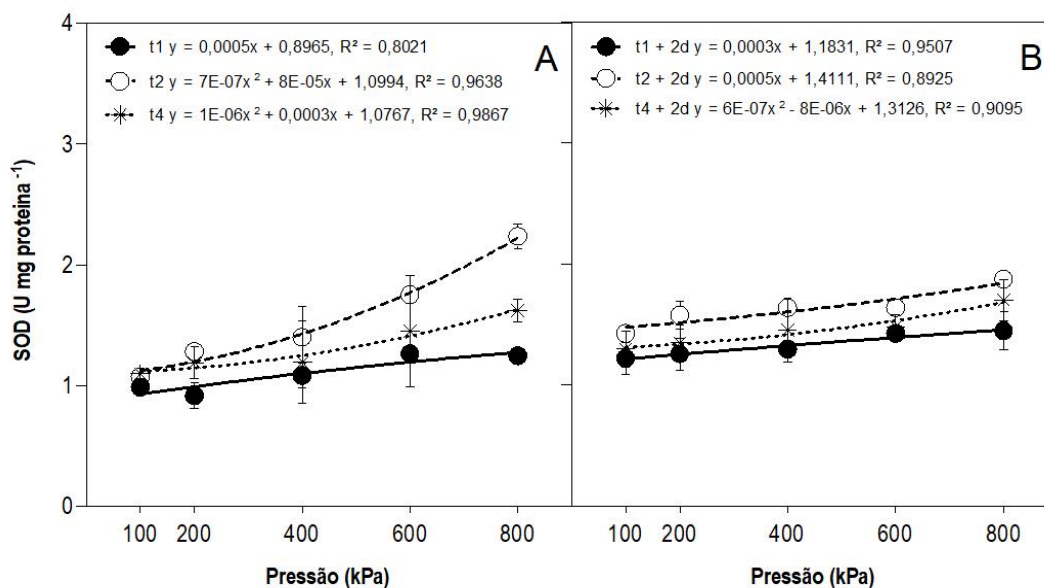
Observou-se efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e a atividade da enzima superóxido dismutase de cajus tanto nos tempos de pressão quanto após 2d de armazenamento (Fig. 17A e B).

Neste trabalho, as pressões hiperbáricas catalisaram a atividade da SOD, principalmente a de 800 kPa. O tratamento de 2 dias de pressão foi o que apresentou aos maiores valores da atividade da SOD, como também após o período de armazenamento (Fig. 17). Os frutos submetidos a pressão de 800 kPa alcançaram os maiores valores com uma média de 1,69 e 1,67 U mg<sup>-1</sup> proteína, enquanto que os frutos do controle (100 kPa) que apresentaram uma redução de 34,9% e 20,3% para após o período de pressão (Fig. 17A) como posterior ao período de armazenamento (Fig. 17B), respectivamente. Como a SOD é considerada a primeira linha de defesa contra as espécies reativas de oxigênio (EROS) capaz de aumentar a resistência dos frutos (Gratão et al., 2005), tem sido intensamente estudada após os tratamentos físicos na pós-colheita de diversos frutos e hortaliças.

A baixa atividade da SOD observadas nos cajus do controle (100 kPa) provavelmente pode ser consequência de uma diminuição da síntese proteica associada à senescência (Maharaj et al., 2014), influenciando diretamente a vida útil dos cajus.

Inestroza-Lizardo et al. (2019), ao submeterem tomates 'Debora' as mesmas pressões descritas neste trabalho e avaliarem a atividade da SOD não conseguiram estabelecer uma relação coerente desta enzima com as pressões aplicadas, encontrando valores variando de 3,03 a 9,74 U mg<sup>-1</sup> proteína.





**Figura 17.** Atividade da enzima superóxido dismutase dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1, 2 e 4 dias a 22 °C e 95% UR (A) e por mais 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

### 3.19 Atividade da enzima catalase (CAT)

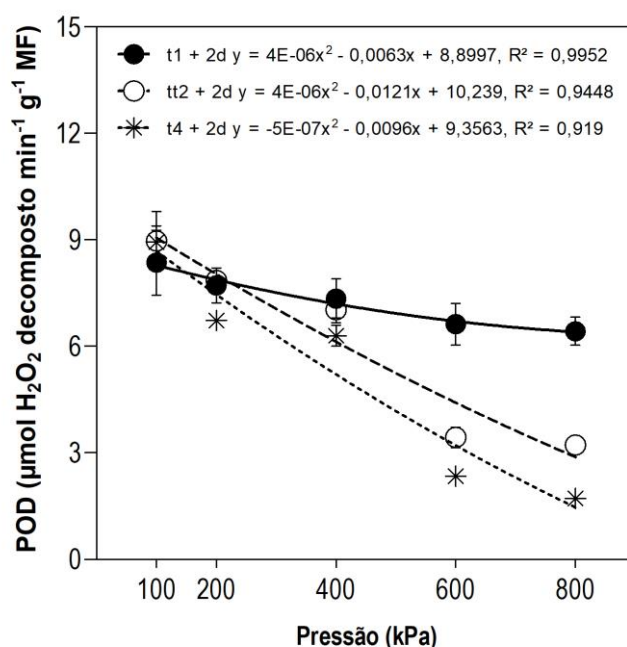
Não foi observado efeito significativo ( $P \geq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e a atividade da enzima catalase dos cajus tanto nos tempos de pressão quanto após 2d de armazenamento. A atividade da CAT não apresentou comportamento coerente, variando de 2,9, 5,2 e 3,8 U mg<sup>-1</sup> proteína, para t1, t2 e t4, e de 3,0, 2,6, e 2,4 U mg<sup>-1</sup> proteína para t1+2d, t2+2d e t4+2d, respectivamente.

### 3.20 Atividade da enzima Peroxidase (POD)

Não foi observado efeito significativo ( $P \geq 0.05$ ) para a atividade da POD após os períodos de pressão dos cajus, variando de 3,94, 7,83 e 5,08, para t1, t2 e t4 mmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup> MF, respectivamente. Houve efeito significativo ( $P \leq 0.05$ ) entre os níveis de pressões aplicadas e a atividade da POD dos cajus após 2d de armazenamento (Fig. 18).

A POD pode ser considerada uma enzima indicadora do amadurecimento e senescência em diversos tecidos vegetais, sendo que elevados níveis estão associados com a deterioração oxidativa de frutos que se encontram em estágio avançado de amadurecimento (Chitarra e Chitarra, 2005). Nesse contexto pode-se afirmar que as pressões de 600 e 800 kPa foram capazes de manter a qualidade dos cajus, chegando a reduzir a incidência de podridão (Fig. 3), onde também a síntese de POD está associada à resistência a doenças, lesão e reparação de ferimentos (Préstamo e Manzano, 1993), suprimindo a síntese dessa enzima.

Da mesma forma, Inestroza-Lizardo et al. (2019) e verificaram que tomates armazenados submetidos as mesmas pressões descritas neste trabalho e depois transferidos à temperatura ambiente (20 °C) apresentaram menor atividade de POD do que tomates não tratados (100 kPa). Nesta pesquisa, os cajus tratados com pressão hiperbárica apresentaram comportamentos semelhantes aos observados pelos autores supracitados em tomates. Esse resultado ajuda a explicar por que os cajus tratados com pressões entre 600 e 800 kPa apresentaram maturação menos acelerada em comparação com os cajus não tratados (100 kPa).



**Figura 18.** Atividade da enzima peroxidase dos cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos após 2 dias (2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR (B). t = tempo de tratamento hiperbárico, em 1, 2 ou 4 dias. A barra vertical representa o desvio padrão da média.

#### 4. Conclusões

As pressões aplicadas influenciaram as características físicas e bioquímicas, refletindo na conservação e redução de podridão dos caju. As pressões induziram o processo de redução da adstringência dos caju.

Os caju alcançaram uma viabilidade para consumo de 6 dias a colheita com a aplicação da pressão de 800 kPa em temperatura ambiente, onde na literatura relata apenas 2 horas após a colheita em temperatura ambiente.

As pressões influenciaram o aumento da atividade enzimática da SOD e a redução da atividade das POD, enzimas relacionadas com a senescência dos frutos. As pressões hiperbáricas de 400 a 800 kPa, adicionalmente induziram a menor taxa respiratória e atraso na produção de etileno dos caju.

#### 5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo nº 2017/17024-0). A Val alimentos pela concessão dos frutos.

#### 6. Referências

Agostini-Costa TDS, Santos JRD, Garruti DDS, Feitosa T (2000) **Caracterização, por cromatografia em camada delgada, dos compostos fenólicos presentes em pedúnculos de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. Boletim CEPPA 18, 129–137.

AGRIANUAL (2019) Goiaba. In: AGRIANUAL (23 ed.) **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p. 285–287.

AOAC (1997) **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 16th ed. Washington: Ed. Patrícia Cunniff, 2, cap.37.

Akinhanmi TF, Atasié VN (2008) Chemical Composition and Physicochemical Properties Of Cashew nut. *Journal of Agricultural, Food and Environment Sciences*, 2, Issue 1, 2:1, 1–10.

Baba T, Como G, Ohtsubo T, Ikeda F, Lizada MCC (1999) Effects of highpressure treatment on mume fruit (*Prunus mume*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124:4, 399-401.

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

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress LTDA. Disponível em: <<https://www.agroestat.com.br>>

Beauchamp C, Fridovich I (1971) Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, 276-287.

Beckles DM (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, Oxford, 63:1,129-140.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016>

Biasoto ACT, Sampaio KL, Marques EJM, Silva MAAP (2015) Dynamics of the loss and emergence of volatile compounds during the concentration of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) and the impact on juice sensory quality. *Food Research International*, 69, 224-234.

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Zurich, 28, 25-30, 1995.

Chitarra MIF, Chitarra AB (2005). **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: UFLA

Das K, Roychoudhury A (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Environmental Science*, 2:53. Doi: 10.3389/fenvs.2014.00053

Edagi FK, Kluge RA (2009) **Remoção de adstringência de caqui: um enfoque bioquímico, fisiológico e tecnológico**. *Ciência Rural* 39:2, 585–594.

Edagi FK, Chiou DG, Monteiro Terra FDA, Sestari I, Kluge RA (2009) Astringency removal of 'giombo' persimmon with ethanol sub-doses. *Ciencia Rural*, 39:7, 2022–2028. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009005000165>.

Faostat (2018) **Food and Agricultural Organization Statistics**.

Fennema OR (1996) **Food Chemistry**. 3rd ed. New York: M. Dekker, 1069.

Ferreira, SMR, Freitas RJSD, Karkle ENL, Quadros DAD, Tullio LT, Lima JJD (2010) Quality of tomatoes cultivated in the organic and conventional cropping systems. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 30:1, 224-230.

Francis FJ (1982) **Analysis of anthocyanins**. In: MARKAKIS, P. (Ed.). *Anthocyanins as food colors*. New York: Academic Press, 181-207

Filgueiras HAC, Alves RE, Mosca JL, Menezes JB (1999) Cashew apple for fresh consumption: research on harvest and postharvest technology in Brazil. In **International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage** 485,155-160.

Foyer CH, Noctor G (2000) Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist**, London, 146, 359-388.

Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, New York, v.48, p.909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

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

Goyette B, Vigneault C, Wang N, Raghavan V (2011) Conceptualization, design and evaluation of a hyperbaric respirometer. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, 105:2, 283-288.

Goyette B, Vigneault C, Charles MT, Raghavan G (2012) Effect of hyperbaric treatments on the quality attributes of tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, 92:3, 541-551.

Gonzalez-Aguilar GA, Villa-Rodriguez JA, Ayala-Zavala JF, Yahia EM (2010) Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, 21:10, 475-482.

Gratão PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA (2005) Making the life of heavy metalstressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Collingwood, 32, 481-494. <https://doi.org/10.1071/FP05016>

Heath RL, Packer L (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplast: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry Biophysics**, 125, 2141-2145.

Heaton JW, Marangoni AG (1996) Chlorophylldegradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Foods Science & Technology**, 7, 8-15.

Huber LS, Rodriguez-Amaya DB (2008) Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, 19.

Inestroza-Lizardo C (2017) **Pressão hiperbárica e temperatura na qualidade pós-colheita de tomate 'Débora'**. Tese de Doutorado. Unesp. Jaboticabal-SP

Inestroza-Lizardo C, Mattiuz BH, Silva JP, Galati VC, Voigt V (2018) Hyperbaric pressure at room temperature increases post-harvest preservation of the tomato cultivar 'Débora'. **Scientia Horticulturae**, 228, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.013>.

Inestroza-Lizardo C, Mattiuz BH, Silva JP, Voigt V, Muniz AC, Junior JSP (2019) Effect of hyperbaric pressure on the activity of antioxidant enzymes and bioactive compounds of cv. 'Débora'tomatoes. **Scientia Horticulturae**, 249, 340-346. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.011>.

Ittah Y (1993) Sugar content changes in persimmon fruits (*Diospyros kaki* L.) During artificial ripening with CO<sub>2</sub> - a possible connection to deastringency mechanisms. **Food Chemistry**. 48:1, 25–29. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(93\)90216-3](https://doi.org/10.1016/0308-8146(93)90216-3).

Kar M, Mishra D (1976) Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, 57, 315-319.

Kaur C, Walia S, Nagal S, Walia S, Singh J, Singh BB, Saha S, Singh B, Kalia P, Jaggi S, Sarika (2013) Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, 50, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.013>

Kou X, Wang Y, Chen Q, Xue Z, Bai Y, Zhou F (2016) Effects of Hypobaric Treatments on the Quality, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Tomato. **Journal of Food Science**, Oxford, 81:7. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13360>

Lee JW, Kim JK, Srinivasan P, Choi JI, Kim JH, Han SB, Byun, MW (2009) Effect of gamma irradiation on microbial analysis, antioxidant activity, sugar content and color of ready-to-use tamarind juice during storage. **LWT-Food Science and Technology**, 42:1, 101-105.

Lima ES, Abdalla DS (2001) Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, 37, 293-303.

Lima GPP, Brasil OG, Oliveira AM (1999) Polyamines and peroxidase activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under saline stress. **Scientia Agricola**, 56:1, 21-26.

Liplap P, Boutin J, Leblanc DI, Vigneault C, Vijaya Raghavan GS (2014) Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of Boston lettuce. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, 49:1,137-145. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12288>.

Liplap P, Vigneault C, Toivonenc P, Charles MT, Raghavan GV (2013) Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of tomato. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, 86, 240-248.

Lichtenthaler Hk (1987) **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes**. Methods in Enzimology. In: PACKER, L., DOUCE, R. (Eds.), 148, 350-382.

Lowor ST, Agyente-Badu CK (2009) Mineral and proximate composition of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice from northern savannah, forest and coastal savannah regions in Ghana. **American Journal of Food Technology**, 4:4, 154-161.

Lopes MMDA, Miranda MRAD, Moura CFH, Enéas Filho J (2012) Bioactive compounds and total antioxidant capacity of cashew apples (*Anacardium occidentale* L.) during the ripening of early dwarf cashew clones. **Ciência e Agrotecnologia**, 36:3, 325-332.

Lyman BJ, Green BG (1990) Oral astringency - effects of repeated exposure and interactions with sweeteners. **Chem. Senses**, 15:2, 151–164. <https://doi.org/10.1093/chemse/15.2.151>.

Lyon BG, Robertson JA, Meredith FI (1993) Sensory descriptive analysis of cv. Cresthaven peaches: maturity, ripening, and storage effects. **Journal of Food Science**, 58, 177–181. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03238.x>.

Maharaj R, Arul J, Nadeau P (2014) 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. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.10.001>

Mazzuz CF (1996) **Calidad de frutos cítricos: manual para sugestion desde la recoleccion hasta la expedicion**. Edicionas de Horticultura, Barcelona, p. 202.

Michodjehoun-Mestres L, Souquet JM, Fulcrand H, Meudec E, Reynes M, Brillouet JM (2009) Characterisation of highly polymerised prodelphinidins from skin and flesh of four cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) genotypes. **Food Chemistry**. 114:3, 989–995. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.052>.

Miguel G, Fontes C, Antunes D, Neves A, Martins D (2004) Anthocyanin Concentration of "Assaria" Pomegranate Fruits During Different Cold Storage Conditions. **Journal of biomedicine & biotechnology**, 5, 338-342.



Moura CFH, Figueiredo RWD, Alves RE, Silva EDO, Araújo PGLD, Maciel VT (2010) Increasing shelf life of early dwarf cashew tree peduncle through reduction of storage temperature. **Ciência e Agrotecnologia**, 34:1, 140-145.

Paula JT (2017) **Métodos de conservação pós-colheita de pedúnculos de caju clone anão precoce CCP-76**. Tese de Doutorado. USP-Esalq. Piracicaba-SP

Pansera MR, Santos ACA, Paese K, Wasum R, Rossato M, Rota LD, Pauletti GF, Serafini LA (2003) Análise de taninos totais em plantas aromáticas e medicinais cultivadas no Nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 13:1, 17-22.

Préstamo G, Manzano P (1993) Peroxidases of Selected Fruits and Vegetables and the Possible Use of Ascorbic Acid as an Antioxidant. **HortScience**, 28:1, 48–50.

Pesis E (2005) The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**. 37:1, 1–19.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.03.001>

Pinho LX, Afonso MRA, Carioca JO, Costa JMC, Beserra JO, Rybka ACP (2011) Desidratação e aproveitamento de resíduo de pedúnculo de caju como adição de fibra na elaboração de hambúrguer. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, 22:4, 571-576.

Queiroz Christiane MLM (2011) Changes in Bioactive compounds and antioxidant capacity of fresh cut cashew apple. **Food Research International**, 1459-1462.

Queiroz C, Silva AJR, Lopes MLM, Fialho E, Valente-Mesquita VL, (2011) Polyphenol oxidase activity, phenolic acid composition and browning in cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) after processing. **Food Chemistry**. 125:1, 128–132.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.048>. a

Queiroz C, Lopes MLM, Fialho E, Valente-Mesquita VL (2011) Changes in bioactive compounds and antioxidant capacity of fresh-cut cashew apple. **Food Research International**. Int. 44 (5), 1459–1462.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.021>. b

Raghavan GS V. et al (2005) **Refrigerated and controlled/modified atmosphere storage**. In: Barrett, D.; Somogyi, L.; Ramaswamy, H. (Eds.) Processing Fruits, Science and Technology. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, 23-52, 2005.

Reyes LF, Cisneros-Zevallos L (2007) Electron-beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.) antioxidant constituents before and during postharvest storage. **Journal of agricultural and food chemistry**, 55:15, 6132-6139.

Robards K, Antolovich M (1997) Analytical chemistry of fruit bioflavonoids - a review. **Analyst**, 122:2, R11–R34. <https://doi.org/10.1039/a606499j>.

Rodriguez-Amaya DB, (2001) **A guide to carotenoid analysis in foods**. OMNI Research, ILSI Human Nutrition Institute, p. 64

Romanazzi G, Nigro F, Ippolito A (2008) Effectiveness of a short hyperbaric treatment to control postharvest decay of sweet cherries and table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, 49:3, 440-442.

Santos RP, Marinho MM, Sá RA, Martins JL, Teixeira EH, Alves FCS, Ramos VSC, Souza GS, Cavada BS, Santos RP (2011) Compositional analysis of cashew (*Anacardium occidentale* L.) peduncle bagasse ash and its in vitro antifungal activity against *Fusarium* species. **Revista Brasileira de Biociências (Online)**, 9:2, 200-205.

Silva JPD (2016) **Efeito de atmosferas hiperbáricas na pós-colheita de manga palmer**. Tese de Doutorado. Unesp. Jaboticabal-SP.

Tezotto-Uliana JV, Paula JT, Tessmer MA, Kluge RA (2018) Ethanol vapor is efficient for reduction of astringency compounds in cashew apple. **Postharvest Biology and Technology**, 145, 117-124.

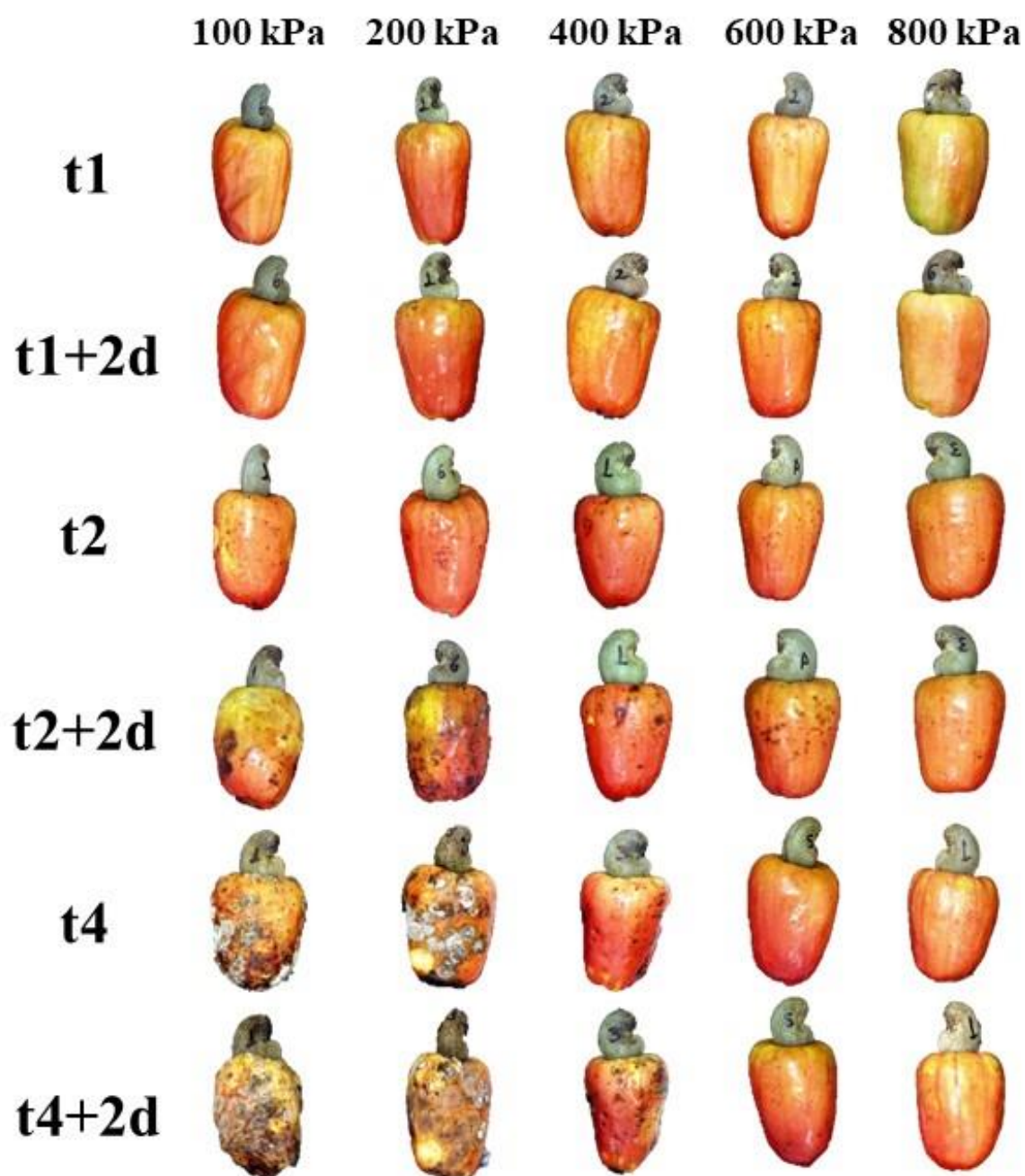
Tsaniklidis G, Delis C, Nikoloudakis N, Katinakis P, Aivalakis G (2014) Low temperature storage affects the ascorbic acid metabolism of cherry tomato fruits. **Plant physiology and biochemistry**, 84, 149-157.

Vigneault C, Leblanc DI, Goyette B, Jenni S (2012) Invited review: engineering aspects of physical treatments to increase fruit and vegetable phytochemical content. **Canadian Journal of Plant Science**, Washington, 92:3, 373-397.

Waterhouse A (2006) **Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine**. Disponível em: . Acesso em: 11 ago. 2014.

Zepka LQ, Garruti DS, Sampaio KL, Mercadante AZ, Silva MAAP (2014) Aroma compounds derived from the thermal degradation of carotenoids in a cashew apple juice model. **Food Research International**, 56, 108-114.

## APÊNDICE



**Figura 19.** Cajus submetidos a tratamentos hiperbáricos por 1 (t1), 2 (t2) e 4 (t4) dias a 22 °C e 95% UR e por mais 2 dias (+2d) em condição de ambiente a 22 °C, 50% UR.