

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
19/11/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ALINE MENDES DE SOUSA GOUVEIA

**ATMOSFERAS HIPERBÁRICA E MODIFICADA NA PÓS-COLHEITA DE
BRÓCOLIS RAMOSO**

Botucatu

2019

ALINE MENDES DE SOUSA GOUVEIA

**ATMOSFERAS HIPERBÁRICA E MODIFICADA NA PÓS-COLHEITA DE
BRÓCOLIS RAMOSO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Horticultura).

Orientadora: Profª Drª Giuseppina P. P. Lima
Coorientador: Prof. Dr. Igor Otávio Minatel

Botucatu

2019

G719a Gouveia, Aline Mendes de Sousa
Atmosferas hiperbárica e modificada na pós-colheita
de brócolis ramoso / Aline Mendes de Sousa Gouveia. --
Botucatu, 2019
96 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Giuseppina Pace Pereira Lima
Coorientador: Igor Otávio Minatel

1. Tecnologia pós-colheita. 2. Brassicaceae. 3.
Compostos bioativos. 4. Antioxidantes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca
da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:
"ATMOSFERAS HIPERBÁRICA E MODIFICADA NA PÓS-COLHEITA DE
BRÓCOLIS RAMOSO"

AUTORA: ALINE MENDES DE SOUSA GOUVEIA
ORIENTADORA: GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA
COORDENADOR: IGOR OTÁVIO MINATEL


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof.ª Dr.ª GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA
Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. ANGELO PEDRO JACOMINO
Produção Vegetal / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz



Prof.ª Dr.ª CAMILA RENATA CORREA CAMACHO
Unidade de Pesquisa Experimental / Faculdade de Medicina de Botucatu - Unesp



Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ
Bioquímica e Microbiologia / Instituto de Biociências - Unesp - Rio Claro



Prof. Dr. MARLON JOCIMAR RODRIGUES DA SILVA
Pós-Doutorando - Horticultura / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Botucatu, 19 de novembro de 2019.

Dedico as minhas avós Divina Nogueira (in memoriam) e Eurípedes

Maria, com imenso amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças, por sempre ouvir minhas orações, guiar minha vida assim como minhas escolhas, no desafio de executar e escrever esta tese.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Horticultura), por ter propiciado condições para a realização deste trabalho.

À minha orientadora Prof^a Dr^a Giuseppina Pace Pereira Lima e ao meu coorientador Prof. Dr. Igor Otávio Minatel pela imensa paciência nos ensinamentos e por agregar conhecimento técnico e científico a este trabalho, e pelos inúmeros “puxões de orelha” que me fizeram crescer profissionalmente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos fornecida.

Aos professores e pesquisadores parceiros nesse trabalho: Profa. Dra. Camila Renata Corrêa da Unidade de Pesquisa experimental (UNIPLEX) da Faculdade de Medicina de Botucatu, UNESP/Botucatu, ao Prof. Dr. Angelo Jacomino da Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, ESALQ/USP, ao Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP/Jaboticabal, e suas equipes, por compartilharem seus equipamentos, espaço físico cedido em seus laboratórios e pelo tempo a esse trabalho dedicado, para que fosse possível a realização desta tese.

Ao produtor e colega Luís Felipe Baldini e sua família (Sítio Janeiro) responsáveis pela produção de brócolis, por sempre me acolher bem na propriedade em todas as etapas de colheita.

Aos meus colegas de trabalho do Laboratório de Química e Bioquímica Vegetal LQBV (IBB/UNESP), muito obrigada! Todos fizeram grande diferença durante esses anos de convívio e aprendizado.

À toda minha família, principalmente a minha mãe Ivete e meu tio Ivan por sempre estarem ao meu lado partilhando de todos os momentos. Vocês me deram forças,

amor e apoio incondicional para que eu nunca parasse de lutar pelos meus sonhos. Nem sei como expressar a imensa gratidão por tanto amor que recebo de vocês!

Ao Marcelo Souza, pelas conversas, carinho, amor e apoio incondicional nas alegrias e dificuldades ao longo dessa caminhada.

Aos meus amigos de Botucatu: Família OxiéNois, Família CTAM e Igreja Presbiteriana Jardim Paraíso, imensa gratidão por me acolherem de braços abertos, por torcerem por mim e fazerem da minha estadia em Botucatu muito mais descontraída e divertida.

Às minhas amigas, irmãs de coração: Juliana Tauffer, Ana Paula Preczenhak, Natália Dalloca, Mariana Marcondes, Marielle Marcondes, Kézia Warmuth, Isabella Baldin, Cinthia Dias, Bárbara Grigoretto, Ana Gabriela Lima, Grazielle Colombo, Luciana Colombo, Marina Lopes, Paulinha Olivati, Gisela Buzollo, Raily Jamal, Karina Cabrera, Rafaela Gaspar, Raquel Gaspar, Rafaela Munhoz, Veridiana Zocoler, agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de conhecer e conviver com pessoas tão maravilhosas como vocês! Vocês sempre estiveram comigo, muitas vezes estando eu tão longe, ajudando, incentivando, enxugando minhas lágrimas, compartilhando das minhas tristezas e alegrias! Obrigada minhas flores!!

Aos novos colegas de trabalho e ao corpo diretor da UNIFIO (Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos/SP), por todo apoio, incentivo e compreensão. A arte de lecionar, cada dia um novo desafio, em um mundo que todos têm pressa em aprender! Encorajador, desafiador e muito gratificante... Meus primeiros passos dessa longa e prazerosa jornada de ensinar ao próximo mas, muito mais de aprender com ele!

RESUMO

O brócolis destaca-se como alimento benéfico para a saúde humana, pois é fonte de compostos bioativos que combatem os radicais livres e previnem doenças. Contudo, apresenta alta perecibilidade em condições de temperatura ambiente, induzindo-o a rápida comercialização. A utilização de métodos de conservação pós-colheita, que amenizem os danos provocados pelo processo de senescência, são essenciais e permitem manutenção da qualidade funcional e comercial. Desta forma, o objetivo desta tese foi avaliar os efeitos da aplicação das atmosferas hiperbárica e modificada passiva na qualidade, no conteúdo e estabilidade de substâncias bioativas em brócolis cv. Rannapon. Os experimentos consistiram de: 1) Aplicação da atmosfera hiperbárica nas inflorescências de brócolis ramoso cv. Rannapon, a 20 °C por 1 e 2 dias (1 HP e 2 HP) em cinco pressões: 100 (controle), 200, 400, 600 e 800 kPa. Após estes tratamentos as inflorescências foram levadas para câmara fria a 14 °C ± 2, UR 85 ± 2,5 % e 100 kPa e mantidas por um dia para simular as condições de comercialização (1 HP+R e 2 HP+R). Os principais resultados mostraram que as inflorescências tratadas com 1 HP em atmosfera hiperbárica acima de 600 kPa apresentaram manutenção das características pós-colheita, quanto aos teores de compostos bioativos, atributos da cor e qualidade. Os fatores e condições pós-colheita avaliados mostraram a necessidade de se desenvolver mais estudos para elucidação de pontos importantes como pressão e tempo de exposição. 2) Aplicação da atmosfera modificada passiva nas inflorescências de brócolis ramoso cv. Rannapon, foi conduzida em quatro filmes plásticos: polietileno de baixa densidade (PEBD) de 50 µm de espessura e tamanho de (25 x 45 cm); polipropileno (PP) de 50 µm de espessura e tamanho de (25 x 45 cm); filme policloreto de vinila (PVC) de 20 µm colocado em bandeja de poliestireno expandido e polietileno de baixa densidade (PEBD) 25 µm (tratamento controle). As inflorescências embaladas foram armazenadas por 7 dias a 14 °C (simulação da rede varejista) ou 22 °C (simulação em temperatura ambiente). Os resultados demonstraram que os filmes PEBD e PP retardaram o processo de senescência, por manter baixos os níveis de O₂ e induzir a síntese de metabólitos com propriedades antioxidantes, como a ativação da biossíntese fenólica, em todo o período de armazenamento e em ambas as temperaturas. A redução da senescência refletiu em menor perda de massa e degradação de clorofila e carotenoides, indicando sua

eficácia na manutenção da aparência (cor verde). Os filmes PEBD e PP destacaram-se também por manterem elevados os níveis de ácidos fenólicos, espermina, espermidina e dopamina, assim como, serotonina e os níveis de kaempferol, quercetina, O-metilquercetina e rutina em floretes de brócolis. Brócolis mantidos em embalagens seladas apresentaram diminuição nos níveis de putrescina comparado a embalagem não selada, significando aumento da vida pós-colheita. A atmosfera modificada passiva não manteve os teores de ácido ascórbico (vitamina C), comparado ao armazenado em embalagens não seladas. Contudo, houve a manutenção dos níveis de bioativos, garantindo os benefícios a saúde e de ações preventivas ao desenvolvimento de doenças.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *Italica*; qualidade; atmosfera hiperbárica; conservação; atmosfera modificada passiva; compostos bioativos; senescência.

ABSTRACT

Broccoli as a benefits food for human health because it is a source of bioactive compounds that fight free radicals and prevent disease. However, it has high perishability under ambient temperature conditions, inducing rapid commercialization. The use of postharvest conservation methods that mitigate the damage caused by the senescence process are essential and allow the maintenance of functional and commercial quality. Thus, the objective of this was to evaluate the effects of the application of conservation atmospheres (hyperbaric and passive modified) on commercial quality, content and stability of bioactive substances in broccoli cv. Rannapon. The experiments consisted of: 1) Application of the hyperbaric atmosphere in the inflorescences of cv. Rannapon at $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (1 and 2 days) and five pressures: 100 (control), 200, 400, 600 and 800 kPa. After this treatment the inflorescences were taken to a cold chamber at $14 \pm 2^\circ\text{C}$, RH $85 \pm 2.5\%$ and 100 kPa and kept for one day to simulate the commercial conditions (1 HP +R and 2 HP +R). The main results showed that only the inflorescences treated with 1 day in a 600 kPa hyperbaric atmosphere showed relevant postharvest characteristics, regarding bioactive compound contents, color maintenance and quality. The postharvest factors and conditions evaluated resulted in unstable metabolic responses. 2) Application of the passive modified atmosphere on inflorescences of broccoli ramoso cv. Rannapon was conducted on four different plastic films: 50 μm thick and low density polyethylene (LDPE) (25 x 45 cm); polypropylene (PP) of 50 μm thickness and size (25 x 45 cm); 20 μm polyvinyl chloride (PVC) film placed in a 25 μm expanded polystyrene and LDPE (control treatment) expanded polystyrene tray. The packaged inflorescences were stored for 7 days at $14 \pm 2^\circ\text{C}$ (retail chain simulation) or $22 \pm 2^\circ\text{C}$ (room temperature simulation). The results showed that the LDPE and PP films delayed the senescence process by keeping O_2 levels low and inducing metabolite synthesis with antioxidant properties, such as the activation of phenolic biosynthesis, throughout the storage period and at both temperatures. The reduction in senescence reflected in less mass loss and degradation of chlorophyll and carotenoids, indicating its effectiveness in maintaining appearance (green color). LDPE and PP films also stood out for maintaining high levels of phenolic acids, spermine, spermidine and dopamine, as well as serotonin and kaempferol, quercetin, O-methylquercetin and rutin levels in broccoli rapiers. Broccoli kept in sealed packages showed a decrease in putrescine levels compared to unsealed packaging,

meaning increased postharvest life. The modified passive atmosphere did not maintain ascorbic acid (vitamin C) content compared to that stored in unsealed packages. However, bioactive levels were maintained, ensuring health benefits and preventive actions for the development of diseases.

Keywords: *Brassica oleracea* var. Italica; quality; hyperbaric atmosphere; conservation; passive modified atmosphere; bioactive compounds; senescence.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1. Projeto bidimensional (A) e escores (B) de atributos físico-químicos e bioquímicos nos dois principais componentes do brócolis cv. Rannapon apresentou HP e HP + R a 100, 200, 400, 600 e 800 kPa. Tratamentos 1 (100), 1 (200), 1 (400), 1 (600), 1 (800) a 1HP (agrupamento vermelho); 2 (100), 2 (200), 2 (400), 2 (600), 2 (800) a 2HP (agrupamento amarelo); 1,1 (100), 1,1 (200), 1,1 (400), 1,1 (600), 1,1 (800) a 1HP + R (agrupamento verde); 2,1 (100), 2,1 (200), 2,1 (400), 2,1 (600), 2,1 (800) a 2HP + R (agrupamento azul).29

Figura 2. Inflorescências de brócolis cv. Hannapon submetido ao tratamento hiperbárico por 1HP a 20 ° C a 100, 200, 400, 600 e 800 kPa e 90% RH \pm 2,5 (A) e por 2HP (C); seguido de armazenamento em câmara fria por 1HP + R a 14 ° C e 85% RH \pm 2,5 (B) e 2HP + R (D).....33

Capítulo II

Figura 1. Análise de componentes principais (PC1 e PC2) dos floretes de brócolis cv. Rannapon com a aplicação de atmosfera modificada passiva (PEBD, PP, PVC e Controle) a 14 \pm 2 ° C, por 7 dias. Abreviaturas das variáveis analisadas: Composição gasosa (O₂ e CO₂); atributos da cor (L*: luminosidade; C*: cromaticidade; h°: ângulo hue); Clr: clorofila total; Crt: carotenoides totais; carotenoides (Zea: zeaxantina; Lut: luteína; α Crt: α caroteno; β Crt: β caroteno); atividade antioxidante (Flv: flavonoides totais; FRAP; DPPH; Fenois: compostos fenólicos).....60

Figura 2. Análise de componentes principais (PC1 e PC2) dos floretes de brócolis cv. Rannapon com a aplicação de atmosfera modificada passiva (PEBD, PP, PVC e Controle) a 22 \pm 2 ° C, por 3 dias. Abreviaturas das variáveis analisadas: Composição gasosa (O₂ e CO₂); atributos da cor (L*: luminosidade; C*: cromaticidade; h°: ângulo hue); Clr: clorofila total; Crt: carotenoides totais; carotenoides (Zea: zeaxantina; Lut: luteína; α Crt: α caroteno; β Crt: β caroteno); atividade antioxidante (Flv: flavonoides totais; FRAP; DPPH; Fenois: compostos fenólicos).....62

Capítulo III

Figura 1. Floretes de brócolis cv. Rannapon submetidas a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias a 14 \pm 2 ° C e por 2 dias a 22 \pm 2 ° C com umidade relativa de 85 \pm 5 %.....80

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Classes de cor e valores correspondents L^* , C^* e h° em brócolis cv. Rannapon.....27

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos de brócolis cv. Rannapon submetido a diferentes pressões (100, 200, 400, 600 e 800 kPa) em sistema hiperbárico (HP) a $20 \pm 1^\circ \text{C}$, $90 \pm 2,5\%$ UR, armazenado em câmara fria a $14 \pm 2^\circ \text{C}$, $85 \pm 2,5\%$ RH (HP + R)30

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos de brócolis cv. Rannapon submetido a diferentes pressões (100, 200, 400, 600 e 800 kPa) em sistema hiperbárico (HP) a $20 \pm 1^\circ \text{C}$, $90 \pm 2,5\%$ UR, armazenado em câmara fria a $14 \pm 2^\circ \text{C}$, $85 \pm 2,5\%$ RH (HP + R)31

Tabela 4. Perda de peso (%) e ângulo de matiz (h°) em brócolis submetidos a diferentes pressões (100, 200, 400, 600 e 800 kPa) em sistema hiperbárico (HP) a $20 \pm 1^\circ \text{C}$, $90 \pm 2,5\%$ UR, armazenado em uma câmara fria a $14 \pm 2^\circ \text{C}$, $85 \pm 2,5\%$ RH (HP + R)32

Capítulo II

Tabela 1. Escala de cor com valores correspondents (L^* , C^* e h°) para determinação de viabilidade e comercialização de brócolis cv. Rannapon43

Tabela 2. Perda de peso (%), concentração O_2 (%), concentração de CO_2 (%), atributos de cor luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*), ângulo hue (h°), clorofila e carotenoides totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) em floretes de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de $14 \pm 2^\circ \text{C}$ e por 3 dias a temperatura de $22 \pm 2^\circ \text{C}$ e umidade relativa de $85 \pm 5\%$ 48

Tabela 3. Floretes de brócolis cv. Rannapon submetidas a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de $14 \pm 2^\circ \text{C}$ e por 3 dias a $22 \pm 2^\circ \text{C}$ e umidade relativa de $85 \pm 5\%$ 51

Tabela 4. Luteína ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), zeaxantina ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), α -caroteno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), β -caroteno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) em floretes de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) analisados por 0, 1, 3 e 7 dias à temperatura de $14 \pm 2^\circ \text{C}$ e 0, 1 e 2 dias a temperatura de $22 \pm 2^\circ \text{C}$ e umidade relativa de $85 \pm 5\%$ 54

Tabela 5. Atividade antioxidante: DPPH (mg quercetina 100g⁻¹), fenóis totais (mg ácido gálico 100 g⁻¹), flavonoides totais (mg 100g⁻¹), e FRAP (mol quercetina 100g⁻¹) em floretes de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de 14 ± 2 °C e por 3 dias a temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 85 ± 5%..... 58

Capítulo III

Tabela 1. Escala de cor com valores correspondentes (L*, C* e h°) para determinação de viabilidade e comercialização de brócolis cv. Rannapon. 72

Tabela 2. Ácido gálico (mg 100g⁻¹) e ácido clorogênico (mg 100 g⁻¹) em inflorescência de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de 14 ± 2 °C e por 2 dias a temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 85 ± 5 % 77

Tabela 3. Flavonoides em inflorescência de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de 14 ± 2 °C e por 2 dias a temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 85 ± 5 %..... 81

Tabela 4. Poliaminas em inflorescência de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de 14 ± 2 °C e por 2 dias a temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 85 ± 5 %..... 83

Tabela 5. Vitamina C (ácido ascórbico e dehidroascórbico em mg 100g⁻¹) em inflorescência de brócolis cv. Rannapon submetidos a atmosfera modificada passiva (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), filme policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (CONTROLE) armazenados por 7 dias à temperatura de 14 ± 2 °C e por 3 dias a temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 85 ± 5 %..... 86

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	19
CAPÍTULO I – PRESSÃO HIPERBÁRICA COMO ALTERNATIVA PÓS-COLHEITA PARA PRESERVAR A QUALIDADE DE BROCOLIS.....	23
1.1 INTRODUÇÃO	25
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
1.4 CONCLUSÃO	35
1.5 REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO II – FILMES PLÁSTICOS E TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO NA MANUTENÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS NA PÓS-COLHEITA DE BRÓCOLIS RAMOSO	38
2.1 INTRODUÇÃO	40
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	41
2.2.1 Material vegetal	41
2.2.2 Tratamentos	41
2.2.3 Delineamento experimental e condições de armazenamento	41
2.2.4 Análise das atmosferas modificadas	42
2.2.4.1 Perda de peso fresco	42
2.2.4.2 Composição gasosa	42
2.2.4.3 Parâmetros de cor	42
2.2.4.4 Determinação de viabilidade e comercialização.....	42
2.2.4.5 Preparo das amostras para as análises de compostos antioxidantes	43
2.2.4.6 Teor de clorofila e carotenoides totais.....	44
2.2.4.7 Perfil de carotenoides por HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Performance).....	44
2.2.4.8 Preparo do extrato para determinação da capacidade antioxidante total.....	45
2.2.4.9 Capacidade antioxidante	45
2.2.4.10 Compostos fenólicos totais.....	46
2.2.4.11 Teor de flavonoides totais	46
2.2.5 Análise estatística	46
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46

2.3.1 Perda de peso	46
2.3.2 Composição gasosa	47
2.3.3 Componentes de cor e clorofila total.....	50
2.3.4 Carotenoides totais e perfil dos carotenoides por HPLC	52
2.3.5 Capacidade antioxidante	56
2.3.6. Análise de componentes principais (PCA).....	60
2.4 CONCLUSÃO.....	62
2.5 REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO III - ATMOSFERA MODIFICADA PASSIVA MODIFICA OS NIVEIS DE DOPAMINA E POLIFENÓIS EM BROCOLIS.....	
3.1 INTRODUÇÃO	69
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3.2.1 Preparo das amostras para as análises.....	73
3.2.2 Perfil dos compostos bioativos por UPLC (Cromatografia Líquida de Ultra Performance).....	73
3.2.3 Perfil de Polifenóis	73
3.2.4 Perfil das Poliaminas	74
3.2.5 Perfil da Vitamina C (Ácidos ascórbico e dehidroascórbico).....	75
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.3.1 Conteúdo de polifenóis	75
3.3.2 Conteúdo das poliaminas	82
3.3.3 Vitamina C (Ácido ascórbico e Dehidroascórbico).....	84
3.4 CONCLUSÃO.....	87
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

INTRODUÇÃO GERAL

O brócolis (*Brassica oleracea* var. *Italica*) é uma hortaliça pertencente à família Brassicaceae, originada a partir da seleção e mutação da espécie *B. sylvestris*, com centro de origem na região do Mediterrâneo (DIXON; DICKSON, 2006). É uma planta cultivada em diversas partes do mundo, com área estimada em um milhão de hectares e produção anual em torno de 19 milhões de toneladas (FAO, 2019). No Brasil, o cultivo abrange todo o país em uma área de 4.534 mil hectares, concentrada principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, totalizando uma produção anual de 64,6 mil toneladas, tendo o Estado de São Paulo como o principal produtor desta hortaliça (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI, 2019).

Hortaliças como o brócolis são formadas por inflorescências compostas de tecido vegetativo e botões florais. Por serem colhidas imaturas, deterioram-se rapidamente, uma vez que apresentam alta atividade metabólica, com durabilidade de dois a três dias em condições de armazenamento a temperatura ambiente (JIA et al., 2009). A deterioração pós-colheita é decorrente de mudanças nos processos bioquímicos e elevada taxa respiratória. Estas mudanças promovem alterações visíveis em sua estrutura e composição, como a abertura dos botões florais, perda de turgescência, desenvolvimento de odores, perda da coloração verde e, conseqüentemente, degradação da clorofila, com perda do seu valor nutricional e comercial (KADER, 2002).

Nestas condições, estudos e métodos de conservação pós-colheita são essenciais para a manutenção das características organolépticas e funcionais em brócolis, proporcionando maior tempo de comercialização. Sabe-se que o uso da refrigeração (VALLEJO et al., 2003; NATH et al., 2011) e de tecnologias aliadas a ela, como atmosfera modificada (VICENTE et al., 2003), choque térmico (TOSUN; YÜCECAN, 2008; VINA; CHAVES, 2008), radiação UV-C (LEMOINE et al., 2007) e aplicação de 1- Metilciclopropeno (1-MCP) (MA et al., 2009) contribuem para conservação das inflorescências de brócolis. Entretanto, estas metodologias para a conservação pós-colheita não estão completamente elucidadas, principalmente com relação aos aspectos fisiológicos, manutenção da qualidade e dos compostos bioativos. Além disso, métodos como a aplicação de atmosfera hiperbárica, ainda não foram testadas na conservação de brássicas.

A atmosfera hiperbárica é uma alternativa na conservação de frutas e hortaliças, por reduzir a carga de microorganismos e retardar mecanismos fisiológicos de amadurecimento e de senescência. Esta técnica é baseada em um aumento artificial da pressão parcial de oxigênio, que expõe por curto prazo, frutos e hortaliças a ambientes com pressões entre 100 a 1000 kPa (GOYETTE et al., 2011). Dessa maneira, assegura-se a homogeneidade e a segurança microbiológica por agir independentemente do tamanho, forma ou composição do produto, sob condições de temperatura ambiente, estendendo sua vida útil (VIGNEAULT et al., 2012).

O uso de altas pressões de oxigênio pode provocar um estresse específico no produto hortícola e promover alterações na atividade metabólica, ocasionando danos aos tecidos e induzindo à formação de radicais livres (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010). Em resposta, as células vegetais induzem ou ativam o sistema oxidante, desencadeando à síntese de moléculas bioativas (THOMPSON, 2016).

Embora não existem estudos que mostrem a ação da atmosfera hiperbárica na conservação pós-colheita de brócolis, assim como, sua viabilidade econômica, alguns trabalhos mostram resultados interessantes no que diz respeito à manutenção da qualidade pós-colheita e no prolongamento da vida útil de alguns vegetais como o tomate, o milho doce, a alface e o avocado 'Hass' (BABA; IKEDA, 2003; LIPLAP et al., 2011; GOYETTE et al., 2012a,b; VIGNEAULT et al., 2012; LIPLAP et al., 2013a,b,c; INESTROZA-LIZARDO et al., 2018). Sendo assim, a atmosfera hiperbárica pode ser uma alternativa viável para estender a vida útil, manter a qualidade e as características organolépticas e funcionais de brócolis.

A aplicação da atmosfera modificada passiva, aliada a refrigeração, é outra tecnologia, não completamente elucidada, utilizada na conservação de brócolis. O objetivo principal da atmosfera modificada passiva é reduzir a concentração de O₂ e elevar CO₂, diminuir a atividade respiratória e retardar a senescência, conseqüentemente, aumentando a vida útil do produto armazenado (SANDHYA, 2010).

Por meio do uso de filmes plásticos esta tecnologia permite reduzir o manuseio excessivo dos produtos. Quando aplicados logo após a colheita minimizam a perda de água, suprimem o desenvolvimento de patógenos e aumentam o período de conservação. Este sistema é composto por modificações na atmosfera interna dos filmes, interação entre a respiração do produto e a

transferência dos gases entre a atmosfera externa e interna. A permeabilidade do filme permite que os gases entrem em equilíbrio até atingir uma taxa de transferência de massa similar à taxa de respiração (CASTELLANOS; CERISUELO, et al., 2016).

Dessa forma, é importante a escolha e aplicação de um filme plástico adequado para brócolis, o qual permita a manutenção da qualidade por meio de concentrações de gases favoráveis. Uma vez que os níveis de O₂ e CO₂ não são adequados, pode ocorrer maturação irregular, aparecimento de sabores e odores indesejáveis, distúrbios fisiológicos (mudanças cromáticas, de textura e degradação de compostos bioativos), levando à perda de seu valor de mercado (DOMINGUEZ et al., 2016).

Dentre as hortaliças, o brócolis é considerado alimento funcional por conter compostos fitoquímicos como ácidos fenólicos, polifenóis, carotenoides, aminas bioativas, vitaminas (A e C) e minerais como cálcio, potássio, ferro e zinco (PODSEDEK, 2007). Fornecido diariamente ao organismo humano, os antioxidantes naturais presentes nas inflorescências são responsáveis por proteger o corpo do estresse oxidativo, pelo potencial de induzir e/ou promover o aumento da atividade de enzimas envolvidas na desintoxicação de compostos carcinogêneos, reduzindo as condições e os riscos de desenvolvimento de doenças, como o câncer, doenças cardiovasculares, neurodegenerativas e a depressão (DOMINGUEZ-PERLES et al., 2011; KHADJAL et al., 2013; PASCOAL et al., 2014). Além disso, esses compostos fitoquímicos apresentam alto potencial antioxidante para auxiliar na minimização dos efeitos nocivos das espécies reativas de oxigênio (EROS), protegendo as plantas contra fatores ambientais desfavoráveis e aumentando sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais por meio de alterações nos compostos do metabolismo secundário, por exemplo (KAPUSTA-DUCH et al., 2019).

Os polifenóis são antioxidantes naturais produzidos pelas plantas a partir do metabolismo secundário em resposta à influência de fatores abióticos e bióticos (Thomaz et al., 2018) com capacidade de neutralizar reações oxidativas que acontecem em resposta às EROS (CARTEA, et al., 2011). No brócolis, têm-se como exemplos dessa classe de polifenóis, os flavonoides quercetina e o kaempferol (VALLEJO et al., 2002). Estudos mostraram uma associação de benefícios à saúde com o consumo de alimentos que os contêm, pela ampla gama de atividades

farmacológicas, incluindo antioxidantes, anti-inflamatórios, anti-microbianos, anti-câncer, entre outros (KRUMBEIN et al., 2007).

Outro importante composto com alto poder antioxidante encontrado em brócolis é a vitamina C, representadas pelo ácido ascórbico e dehidroascórbico. Têm como função a capacidade de interromper a reação em cadeia dos radicais livres (MAZUREK; JAMROZ, 2015). Como o corpo humano não é capaz de sintetizar vitamina C, a única fonte é uma dieta rica em produtos vegetais, e o brócolis é uma hortaliça que apresenta $34,3 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de vitamina C em sua composição (TACO, 2011). Apresenta papel importante na síntese de colágeno, absorção gastrointestinal de ferro, redução dos níveis de colesterol no sangue, melhora o sistema imunológico e um poderoso antioxidante (MAZUREK; JAMROZ, 2015). Em plantas, Mazza et al. (2000) relatam que a presença do ácido ascórbico pode inibir a degradação oxidativa do flavonoide quercetina, atuando sinergicamente, como protetor. Esse efeito protetivo também foi relatado por Anzorena et al. (2009) sob a retenção da cor verde intenso nas inflorescências de brócolis.

Consideradas moléculas antioxidantes, as aminas biogênicas são encontradas nos vegetais e estão envolvidas em processos como divisão e diferenciação celular, síntese de ácidos nucléicos e proteínas, resposta ao estresse e atraso na senescência (MORET et al., 2005). São exemplos a putrescina, espermina e espermidina, encontradas em grandes concentrações em brócolis, que dependendo dos níveis podem ser relevantes não apenas para o estender a vida útil do vegetal mas também, potencializar a qualidade organoléptica e funcional, contribuindo em benefício a saúde humana (BREGOLI et al., 2005).

Contudo, brócolis por serem sensível ao armazenamento em condições de temperatura ambiente, tecnologias pós-colheita são primordiais para a manutenção da qualidade e dos compostos bioativos, pois o conteúdo e/ou perdas consideráveis podem ocorrer nesta etapa. Diante da sua importância alimentar, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da atmosfera hiperbárica e atmosfera modificada passiva nas características organolépticas, funcionais e na extensão da vida útil pós-colheita do brócolis cv. Rannapon submetidos ao armazenamento refrigerado, para simulação de comercialização à 14°C e armazenamento em temperatura ambiente.

dependendo da matéria-prima, da maturidade, do estágio de desenvolvimento, da concentração de O₂, do tempo de exposição, da temperatura de armazenamento e das concentrações de CO₂ e C₂H₄.

1.4 CONCLUSÃO

O tratamento hiperbárico foi proposto como uma alternativa de tratamento físico na conservação das inflorescências de brócolis cv. Rannapon em curto prazo, aliado a refrigeração. Os resultados mostraram que as inflorescências apresentaram respostas metabólicas questionáveis em relação ao tempo de exposição ao sistema, às pressões aplicadas (níveis de oxigênio) e temperatura de armazenamento, necessitando de mais investigação. Apenas as inflorescências tratadas por 1HP e sob pressões acima de 600 kPa apresentaram características pós-colheita relevantes em relação aos teores de compostos bioativos, manutenção da cor e qualidade. Entretanto, quando expostas por maior tempo em HP apresentaram curto prazo de vida de prateleira em comparação a outros métodos de conservação pós-colheita, como a refrigeração, atmosfera modificada, tratamento térmico e aplicação de 1-Metilciclopropeno.

1.5 REFERÊNCIAS

ANSORENA, M. R. et al. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.59, p.53–63, 2011.

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

FINGER, F.L.; FRANÇA, C.F.M. Pre-cooling and conservation of green leafy vegetables. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 51. **Horticultura Brasileira**, v. 29. Viçosa: ABH.S5793-S5812, 2011.

GONZALEZ-AGUILAR, G.A. et al. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends Food Science and Technology**, v. 21, p.475-482, 2010.

GOYETTE, B. et al. Effect of hyperbaric treatments on the quality attributes of tomato. **Canadian Journal Plant Science**, v. 92, p. 541-551, 2012.

- GOYETTE, B. et al. Conceptualization, design and evaluation of a hyperbaric respirometer. **Journal Food Engineering**, v.105, p.283-288, 2011.
- INESTROZA-LIZARDO, C. et al. Effect of hyperbaric pressure on the activity of antioxidant enzymes and bioactive compounds of cv. 'Debora' tomatoes. **Scientia Horticultural** v.249, p. 340-436, 2019.
- INESTROZA-LIZARDO, C. et al. Hyperbaric pressure at room temperature increases post-harvest preservation of the tomato 'Debora'. **Scientia Horticultural**, v. 228, p.103-112, 2018.
- JIA, C-G. et al. Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets. **Food Chemistry** v.114, p. 28–37, 2009.
- KADER, A. A. **Postharvest biology and technology: an Overview**. In: Kader AA (ed) Postharvest technology of horticultural crops, 3 rd edn. Davis, California, pp 43-54, 2002.
- KADER, A. A.; BEN-YEHOSHUA, S. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology Tecnology** v. 20, p.1-13, 2000.
- KADER, A.A.; CANTWELL, M. **Produce Quality Rating Scales and Color Charts**. Davis, California, 2004.
- KHALAJ, L, et al. Assessing competence of broccoli consumption on inflammatory and antioxidant pathways in restraint-induced models: Estimation in rat hippocampus and prefrontal cortex. **Biomed Research International**, v.1, p.1–13, 2013.
- LEMOINE, M. L. et al. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Journal Science Food Agriculture**, v.87, p.1132-1139, 2007.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol**, v.148, p.350-382, 1987.
- LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; OLIVEIRA, A. M. Polyamines and peroxidase activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under saline stress. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 21-26, 1999.
- LIPLAP, P. et al. Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of Boston lettuce. **International Journal Food Science Technology**, v. 49, p.137–145, 2014.
- LIPLAP, P. et al. Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of tomato. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p.240-248, 2013a.
- LIPLAP, P. et al. Tomato shelf-life extension at room temperature by hyperbaric pressure treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v.86, p.45-52, 2013b.

- LIPLAP, P. et al. Effect of hyperbaric treatment on respiration rates and quality attributes of sweet corn. **Internatinal Journal Postharvest Techonoly Innovation**, v. 3, p. 257-271, 2013c.
- LIPLAP, P. et al. Hyperbaric treatment vs respiration rates and quality attributes of avocado. **American Society Agricultural Biological Engineers**, v2, p.11-274, 2011.
- MA, G. et al. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 57, p. 223–232, 2014.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance: Review. **Trends Plant Science**, v.7, p. 405-410, 2002.
- NATH, A. et al. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. **Food Chemistry**, v.127, p.1510–1514, 2011.
- PATHARE, P.B. et al. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v.6, p.36-60, 2013.
- PODSEDEK, A. Natural antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. **J Food Science and Technology**, v. 40, p.1–11, 2007.
- POPOVA, M. et al. Validated methods for the quantifi cation of biologically active constituents of poplar-type propolis. **Phytochem Analysis**, v.15, p.235-240, 2004.
- SINGLETON, V.L; ROSSI, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **Journal Enology and Viticulture** v.16, p. 144-158, 1965.
- THOMPSON, A.K. **Hyperbaric Storage**. In: Fruit and Vegetables Storage – Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere – Springer Briefs in Food, Public Health Nutr 1:93-109, 2016.
- TOSUN, B. N.; YÜCECAN, S. Influence of commercial freezing and storage on vitamin C content of some vegetables. **Internatinal Journal Food Science and Technology**, v. 43, p. 316–321, 2008.
- VICENTE, A.R. et al. Influence of selfproduced CO₂ on postharvest life of heat treated strawberries. **Postharvest Biology Technology**, v. 27, p. 265–275, 2003.
- VIGNEAULT, C. et al. Engineering aspects of physical treatments to increase fruit and vegetable phytochemical content. **Canadian Journal Plant Science** v. 22, p.1-25, 2012.

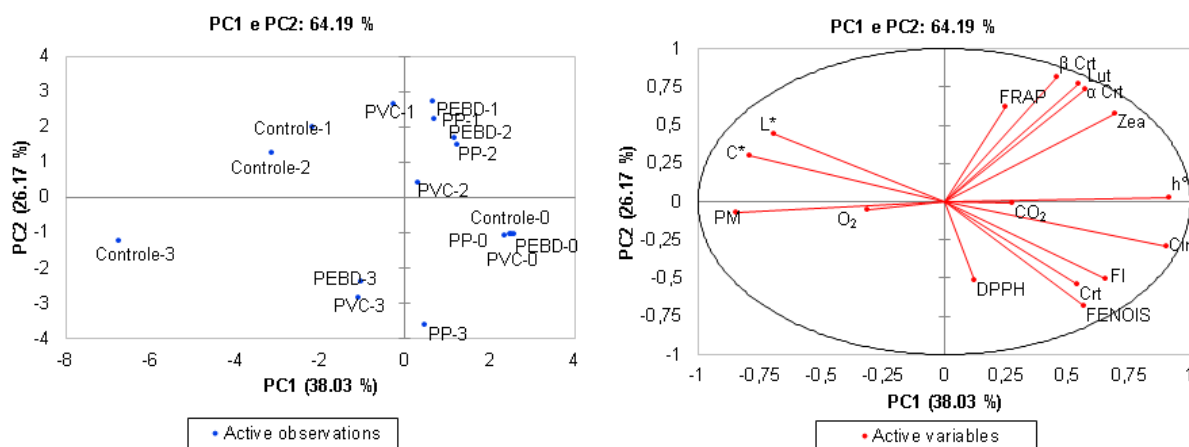


Figura 2. Análise de componentes principais (PC1 e PC2) dos floretes de brócolis cv. Rannapon com a aplicação de atmosfera modificada passiva (PEBD, PP, PVC e Controle) a 22 ± 2 °C, por 3 dias. Abreviaturas das variáveis analisadas: Composição gasosa (O₂ e CO₂); atributos da cor (L*: luminosidade; C*: cromaticidade; h°: ângulo hue); Clr: clorofila total; Crt: carotenoides totais; carotenoides (Zea: zeaxantina; Lut: luteína; αCrt: α caroteno; βCrt: βcaroteno); atividade antioxidante (Flv: flavonoides totais; FRAP; DPPH; Fenois: compostos fenólicos).

A segunda componente principal (PC2) representando 26,17 %, foi efetiva em mostrar a preservação/manutenção dos compostos antioxidantes, carotenoides (luteína ($r = 0,55$, $p < 0,05$), zeaxantina ($r = 0,48$, $p < 0,05$), α ($r = 0,59$, $p < 0,05$) e β caroteno ($r = 0,67$, $p < 0,05$)) e FRAP ($r = 0,40$, $p < 0,05$) (PC2+) nos floretes submetidos à todos os filmes plásticos (PEBD, PP, PVC e controle) ao 3° dia de armazenamento (Tabela 2, Figura 2). Entretanto, floretes submetidos ao controle por 3 dias armazenados apresentaram maiores concentrações de O₂ (PC2-) (tabela 2), que justificam a rápida deterioração e amarelecimento dos brócolis ao longo do armazenamento em temperatura ambiente (Figura 2, Tabela 3). Maiores concentrações de CO₂ foram verificados nos filmes PP por todo o período armazenado (Tabela 2, Figura 2) que contribuíram para produção de substâncias voláteis causando odor desagradável e apodrecimento do talo.

2.4 CONCLUSÃO

A aplicação da atmosfera modificada passiva, com uso de filmes plásticos PEBD e PP, atrasam o processo de senescência nos floretes de brócolis diminuindo os níveis de oxigênio, elevando os níveis de CO₂, diminuindo a perda de peso e a

degradação da clorofila e conseqüentemente, retardando o amarelecimento em ambas temperaturas estudadas. Esses filmes plásticos mostraram sua eficácia em relação a esses quesitos acima mencionados, porém, vale ressaltar que a atividade antioxidante medida pelos vários métodos mostrou que a aplicação da atmosfera modificada passiva e as variações de temperatura de armazenamento podem induzir a síntese de metabólitos com propriedades antioxidantes, como a ativação da biossíntese fenólica. Entretanto, apesar dos filmes plásticos (PEBD e PP) apresentarem eficácia na manutenção da aparência nos brócolis, quando submetidos a altas temperaturas (22 ± 2 °C) houve maior acúmulo de CO₂ e diminuição nos teores de O₂, induzindo condições de anaerobiose que provocaram redução na vida útil (apodrecimento dos talos) após 2 dias, tornando-os inviáveis para a comercialização e consumo. Dentre todos estes fatores, brócolis armazenados a 14 ± 2 °C embalados com filme PEBD e PP mostraram-se com melhor qualidade comercial e menor degradação dos compostos bioquímicos essenciais para nutrição humana. Os floretes submetidos ao armazenamento em PVC e controle (embalagem não selada) apresentaram senescência mais acelerada, com degradação dos compostos fitoquímicos em ambas as temperaturas avaliadas, mostrando a inviabilidade para comercialização de brócolis embalados nestes materiais.

2.5 REFERÊNCIAS

ARES, G. et al. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, p. 1645-1652, 2006.

BARTH, M.M., ZHUANG, H. Packaging design affects antioxidant vitamin retention and quality of broccoli florets during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology**.v. 9, p.141–150, 1996.

BENZIE, I. F.F; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C.; Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

- BREWER, M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. v.10, p.221–247, 2011.
- CALEB, O. J. et al. Integrated modified atmosphere and humidity package design for minimally processed Broccoli. **Postharvest Biology and Technology**. 121, p. 87-100, 2016.
- CASTELLANOS, D. A. et al. Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 168, p. 84-95, 2016.
- DEL NOBILE, M.A. et al. Use of biodegradable films for prolonging the shelf-life of minimally processed lettuce. **Journal of Food Engineering** v. 85, p. 317–325, 2008.
- DELLAPENNA, D. AND B.J. POGSON. Vitamin synthesis in plants: Tocopherols and carotenoids. **Annual Review Plant Biology**. v.57, p.711–738, 2006.
- EASON, J. R. et al. Harvested broccoli (*Brassica oleraceae*) responds to high CO₂ and low O₂ atmosphere by inducing stress–response genes. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p. 358–365, 2007.
- FARNHAM, M. W.; KOPSELL, D.A. Importance of genotype on carotenoid and chlorophyll levels in broccoli heads. **HortScience**, v. 44, n.5, p. 1248-1253, 2009.
- FERNÁNDEZ-LEÓN, M.F. et al. Retention of quality and functional values of broccoli Parthenon stored in modified atmosphere packaging. **Food Control** v.31 n.2, p.302–313, 2013a.
- FERNÁNDEZ-LEÓN, M.F et al. Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for Parthenon broccoli plants (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds. **LWT – Food Science and Technology**. v.50, n. 2, p.665–672, 2013b.
- FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**. [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 .
- FINGER, F. L.; FRANÇA, C.F.M. Pré-resfriamento e conservação de hortaliças folhosas. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 51. Viçosa: ABH.S5793-S5812, **Horticultura Brasileira**, v.29, n. 2, (Suplemento - CD ROM), 2011.
- HE, Q.; XIAO, K. Quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) in modified atmosphere packaging made by gas barrier-gas promoter blending materials. **Postharvest Biology and Technology**, v.144, p. 63-69, 2018.
- IZUMI, H. et al. Optimum O₂ or CO₂ atmosphere for storing broccoli inflorescences at various temperatures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.121, p.127-131, 1996.

JIA, C-G. et al. Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets. **Food Chemistry**, v.114, p. 28–37, 2009.

KADER, A. A.; CANTWELL, M. Produce Quality Rating Scales and Color Charts. Postharvest Technology Research and Information Center, UC Davis, Postharvest Horticultural Series n. 23-CD room, 2004.

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

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, v.148, p. 350-382, 1987.

LUCERA, A. et al. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. **Journal of Food Engineering**, v. 102, p. 122–129, 2011.

LUO, F. et al. Chlorophyll degradation and carotenoid biosynthetic pathways: Gene expression and pigment content in broccoli during yellowing. **Food Chemistry**, 297, 124964, 2019.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T.K.; MAHAJAN, P. V. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. **Food Engineering Reviews**. v.1, p. 133-158, 2009.

NATH, A. et al. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. **Food Chemistry**, v.127, p.1510–1514, 2011.

PATHARE, P. B., OPARA, U. L., AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2013.

PAULSEN, E. et al. Effect of temperature on glucosinolate content and shelf life of ready-to-eat broccoli florets packaged in passive modified atmosphere. **Postharvest Biology and Technology**, v.138, p.125-133, 2018.

PHUONG, N.T.H.; UCHINO, T.; TANAKA, F. Effect of Packaging Films on the Quality of Broccoli. **Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University**, v. 63, p. 339–346, 2018.

POPOVA, M. et al. Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. **Phytochemical Analysis**, v.15, p. 235-240, 2004.

RAI, D.R. et al. Chromatic Changes in Broccoli (*Brassica oleracea italica*) under Modified Atmospheres in Perforated Film Packages. **Food Science Technology International**, v.15, p. 387- 395, 2009.

SANDHYA, B. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 381-392, 2010.

SERRANO, M. et al. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v.39, p. 61–68, 2006.

SHARMA, P.; SINGH, R.P. Evaluation of antioxidant activity in foods with special reference to TEAC method. **American Journal of Food Technology**, v.8, p.83 101, 2013.

SINGH, S. et al. Influence of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the Shelf Life and Quality of Broccoli During Storage. **Journal of Packaging Technology and Research**. v. 2, n.2, p. 105-113, 2018.

SINGLETON, V.L.; ROSSI JR, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdenic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p. 144-158, 1965.

VALLEJO, F., GARCÍA-VIGUERA, C., & TOMÁS-BARBERÁN, F. Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.3029-3034, 2003.

VILLARREAL-GARCIA, D. et al. Plants as Biofactories: Postharvest Stress-Induced Accumulation of Phenolic Compounds and Glucosinolates in Broccoli Subjected to Wounding Stress and Exogenous Phytohormones. **Frontiers in Plant Science**. v.7, article 45, 2016.

CO₂, em que os teores de ácido ascórbico são reduzidos mais facilmente comparado aos níveis de dehidroascórbico (AGAR et al., 1997).

3.4 CONCLUSÃO

A aplicação de filmes plásticos para conservação e manutenção da qualidade de brócolis cv. Rannapon foi efetiva na preservação e na elevação dos teores de polifenóis nas primeiras 24 horas de armazenamento, e também na elevação dos teores de compostos importantes como kaempferol e rutina ao longo do período armazenado, tanto em condições de refrigeração quanto em ambiente. As poliaminas, espermidina e espermina apresentaram aumentos nos níveis com a aplicação da atmosfera modificada, que podem estar ligados a produção de enzimas degradativas, relacionando com a deterioração do produto, portanto, um indicativo de qualidade. Dopamina e serotonina com concentrações expressivas nos floretes submetidos a atmosfera modificada em ambas as temperaturas armazenadas. A atmosfera modificada passiva em brócolis não resultou na manutenção dos teores de ácido ascórbico (vitamina C) em comparação com brócolis armazenados em embalagens não seladas, em contato com o ar atmosférico, em brócolis submetidos a 22 ± 2 °C. A atmosfera modificada aplicada em brócolis manteve os níveis satisfatórios de antioxidantes que garantem benefícios a saúde, principalmente como preventivos para o tratamento de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAR, I.T. et al. Effect of high CO₂ and controlled atmosphere (CA) on the ascorbic and dehydroascorbic acid content of some berry fruits. **Postharvest Biology and Technology**. v.11, p. 47–55, 1997.

AKULA, R.; Ravishankar, G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p.1720-1731, 2011.

ANSORENA, M. R. et al. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.59, p.53–63, 2011.

- BAHORUN, T. et al. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, n.12, p.1553–1561, 2004.
- BECHO, J. R. M. et al. Rutin – structure, metabolism and pharmacological potency. **Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais**, v.1. n.1, p.21 – 25, 2009.
- BREGOLI, A. M. et al. Postharvest 1-methylcyclopropene application in ripening control of 'Stark Red Gold' nectarines: Temperature-dependent effects on ethylene production and biosynthetic gene expression, fruit quality, and polyamine levels. **Postharvest Biology and Technology**, v.37, p.111–121, 2005.
- CARDOSO, M. et al. Aminas Biogênicas: Um Problema de Saúde Pública. **Revista Virtual de Química**. v.5, n. 2, p. 149-168, 2013.
- CARTEA, M. E. et al. Phenolic Compounds in Brassica Vegetables: review. **Molecules**, v.16, p. 251-280, 2011.
- CUNHA, F. L. et al. Determination of biogenic amines in different types of cheese by highperformance liquid chromatography. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n1, p.69-75, 2012.
- DADÁKOVÁ, E., NOVA, T.P., KALAC, P. Content of biogenic amines and polyamines in some species of European wild-growing edible mushrooms. **European Food Res. and Technology** v.230, p. 163–171, 2009.
- ERLAND, L. A. E. et al. A new balancing act: The many roles of melatonin and serotonin in plant growth and development. **Plant Signaling & Behavior**, v. 10, n.11, p. 1096469, 2015.
- ESCARPA, A., GONZALEZ, M.C. Fast separation of (poly) phenolic compounds from apples and pears by high-performance liquid chromatography with diode-array detection. **Journal of Chromatography A**, v.830, p.301–309, 1999.
- FERNÁNDEZ-LEÓN, M.F. et al. Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for Parthenon broccoli plants (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds. **LWT-Food Science and Technology**, v. 50, p. 665-672, 2013.
- GLISZCZYŃSKA-ŚWIGŁO, A. et al. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. **Food Additives and Contaminants**, v.23, n. 11, p. 1088–1098, 2007.
- GROPPA, M. D.; BENAVIDES, M. P. et al. Polyamines and abiotic stress: recent advances. **Amino Acids**. v.34, p. 35–45, 2008.
- HARBAUM, B et al. Impact of fermentation on phenolic compounds in leaves of pak choy (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *communis*) and Chinese leaf mustard (*Brassica juncea* Coss). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, p.148–157, 2008.

HARBAUM, B. et al. Identification of flavonoids and hydroxycinnamic acids in pak choi varieties (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *communis*) by HPLC–ESI–MSn and NMR and their quantification by HPLC–DAD. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p.8251–8260, 2007.

IMRAN, M. et al. Luteolin, a flavonoid, as an anticancer agent: A review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 112, p. 108612, 2019.

JAHANGIR, M. et al. Healthy and unhealthy plants: The effect of stress on the metabolism of Brassicaceae. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n.1, p.23–33, 2009.

JIN, P. et al. Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. **Food Chemistry**, v.172, p. 705–709, 2015.

KADER, A. A.; CANTWELL, M. Produce Quality Rating Scales and Color Charts. Postharvest Technology Research and Information Center, UC Davis, **Postharvest Horticultural Series** n. 23-CD room, 2004.

KALAIČ, P. Health effects and occurrence of dietary polyamines: A review for the period 2005-mid 2013. **Food Chemistry**, v.161, p. 27–39, 2014.
Kale, and Chinese Broccoli. **Journal Agricultural Food Chemistry**. v. 57, p. 7401–7408, 2009.

KANG, K. et al. Enzymatic features of serotonin biosynthetic enzymes and serotonin biosynthesis in plants. **Plant Signaling and Behavior**, v.3, p.389–390, 2008.

KHALAJ, L., et al. Assessing competence of broccoli consumption on inflammatory and antioxidant pathways in restraint-induced models: Estimation in rat hippocampus and prefrontal cortex. **BioMed Research International**, p.1–13, 2013.

KOBORI, C. N. et al. Behavior of Flavonols and Carotenoids of Minimally Processed Kale Leaves during Storage in Passive Modified Atmosphere Packaging. **Journal of Food Science**, v.76, n.2, p.31–37, 2011.

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

LIMA, G. P. P. et al. Comparison of polyamine, phenol and flavonoid contents in plants grown under conventional and organic methods. **International Journal of Food Science and Technology**, v.43, n.10, 1838–1843, 2008.

LIMA, V. L. A. G. et al. Total phenolic and carotenoid content in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chemistry**, v.90, p.565–568, 2005.

MA, G. et al. Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, n.94, p.97–103, 2014.

MAZZA, C. A. et al. The effects of solar ultraviolet-B radiation on the growth and yield of barley are accompanied by increased DNA damage and antioxidant responses. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 61–70, 2000.

MORET, S. et al. A survey on free biogenic amine content of fresh and preserved vegetables. **Food Chemistry**, v. 89, n. 3, p.355–361, 2005.

NATH, A. et al. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. **Food Chemistry**, v.127, p.1510–1514, 2011.

OLIVEIRA, C. P. et al. Nitrate, nitrite and volatile nitrosoamines in whey-containing food products. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 43, p. 967–969, 1995.

PALMA, F. et al. Putrescine treatment increases the antioxidant response and carbohydrate content in zucchini fruit stored at low temperature. **Postharvest Biology and Technology**. v.118, p.68–70, 2016.

PERTUZATTI, P. B. et al. Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. **LWT - Food Science and Technology** n.64, p. 259 -263, 2015.

PHUONG, N. T. H. et al. Effect of Packaging Films on the Quality of Broccoli. **Faculty of Agriculture Kyushu University**, n. 63, v.2, p.339-346, 2018.

RAMAKRISHNA, A., RAVISHANKAR, G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signal Behav.** v.6, 1720p.,2014.
responses. **Plant, Cell & Environment**, v.22, n.1, 61–70, 1999.

STARZYŃSKA, A., LEJA, M., MARECZEK, A., Physiological changes in the antioxidant system of broccoli flower buds senescing during short-term storage, related to temperature and packaging. **Plant Science**, v.165, n.6, p.1387–1395, 2003.

THOMAZ, M. et al. Characterization of industrial broccoli discards (*Brassica oleracea* var.italica) for their glucosinolate, polyphenol and flavonoid contents using UPLC MS/MS and spectrophotometric methods. **Food Chemistry** v. 245, p.1204–1211, 2018.

USFDA (US Food and Drug Administration), 2001. Scombrototoxin (histamine) formation. In Fish and fishery products hazards and controls guide (third ed., pp. 73–93). Washington D.C.: Department of Human Health Services, Public Health Service, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Seafood.

VALLEJO, F. et al. Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.82, p.1293–1297, 2002.

WILLINAS, D. J. et al. Epithiospecifier protein activity in broccoli: The link between terminal alkenyl glucosinolates and sulphoraphane nitrile. **Phytochemistry**, v. 69, p. 2765–2773, 2008.

XU, F. et al. Reducing yellowing and enhancing antioxidant capacity of broccoli in storage by sucrose treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, p. 39–45, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou que aplicação da atmosfera hiperbárica em brócolis cv. Rannapon interferiu nas características físicas e bioquímicas, refletindo redução da vida útil do brócolis (menor que dois dias) e a qualidade (perda de cor, crocância e textura) entretanto, induziu maiores teores de compostos bioativos. Devido amarelecimento antecipado, houve produção de resíduos constituídos por substâncias bioativas que pode ser utilizadas e/ou reaproveitadas pela indústria farmacêutica na produção de suplementos. Por ser uma tecnologia promissora, há necessidade se desenvolver mais estudos para elucidação de pontos importantes com relação a parâmetros como pressão aplicada e tempo de exposição, conseqüentemente, extensão da vida útil e da qualidade commercial de produtos vegetais, assim como no brócolis.

O uso da atmosfera modificada passiva e as variações de temperatura de armazenamento mostraram efeitos positivos na preservação da qualidade comercial e funcional, com a manutenção e indução de síntese de metabólitos com propriedades antioxidantes, como polifenóis, ácido ascórbico e aminas biogênicas, os quais são primordiais para a saúde e bem-estar humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BREGOLI, A. M. et al. Postharvest 1-methylcyclopropene application in ripening control of ' Stark Red Gold ' nectarines : Temperature-dependent effects on ethylene production and biosynthetic gene expression, fruit quality, and polyamine levels. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, p. 111–121, 2005.

CARTEA, M. E. et al. Phenolic Compounds in Brassica Vegetables: review. **Molecules**, v.16, p. 251-280, 2011.

CASTELLANOS, D. A. et al. Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 168, p. 84-95, 2016.

DIXON, G. R.; DICKSON, M. H. **Vegetable brassicas and related crucifers**. Crop Production Science in Horticulture, Wallingford: CABI – 2006, series 14, 416 p.

DOMINGUEZ, I. et al. Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Food Chemistry**, v. 209, p. 211-219, 2016.

DOMINGUEZ-PERLES, R., et al. Novel varieties of broccoli for optimal bioactive components under saline stress. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, p.1638–1647, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Banco de dados**. Roma: FAO, 2015.

GONZALEZ-AGUILAR, G.A. et al. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 10, p. 475-482, 2010.

GOYETTE, B. et al. Conceptualization, design and evaluation of a hyperbaric respirometer. **Journal of Food Engineering**, v.105, n. 2, 283-288, 2011.

GOYETTE, B. et al. Effect of hyperbaric treatments on the quality attributes of tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 3, p. 541-551, 2012a.

GOYETTE, B. et al. Hyperbaric treatment on respiration rate and respiratory quotient of tomato. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, p. 3066-3074, 2012b.

INESTROZA-LIZARDO, C. et al. Hyperbaric pressure at room temperature increases post-harvest preservation of the tomato 'Debora'. **Scientia Horticulturae**. v. 228, p. 103-112, 2018.

JIA, C-G. et al. Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets. **Food Chemistry**, v.114, p. 28–37, 2009.

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

KAPUSTA-DUCH, J. et al. Impact of different packaging systems on selected antioxidant properties of frozen-stored broccoli. **Ecology Chemistry Engenieer**. Heruntergeladen, v. 26, n. 2, p. 383-396, 2019.

KHALAJ, L., et al. Assessing competence of broccoli consumption on inflammatory and antioxidant pathways in restraint-induced models: Estimation in rat hippocampus and prefrontal cortex. **BioMed Research International**, p.1–13, 2013.

KRUMBEIN, et al. Changes in quercetin and kaempferol concentrations during broccoli head ontogeny in three broccoli cultivars. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Grossbeeren Germany, v. 81, p.136 – 139, 2007.

LEMOINE, M.L. et al. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Journal Science Food Agriculture**, v. 87, p.1132 - 1139, 2007.

LIPLAP, P. et al. Effect of hyperbaric pressure and temperature on respiration rates and quality attributes of tomato. **Postharvest Biology and Technology**, v.86, p.240-248, 2013a.

LIPLAP, P. et al. Effect of hyperbaric treatment on respiration rates and quality attributes of sweet corn. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, v.3, n.3, p.257-271, 2013c.

LIPLAP, P. et al. **Hyperbaric treatment vs respiration rates and quality attributes of avocado**. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING SPONSORED BY ASABE GAULT HOUSE, 2011. Proceedings. Louisville: American Society of Agricultural and Biological Engineers, p.11-274, 2011.

LIPLAP, P. et al. Tomato shelf-life extension at room temperature by hyperbaric pressure treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v.86, p.45-52, 2013b.

MA, G. et al. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. **Plant Growth Regulation**, v. 57, p. 223–232, 2009.

MAZUREK, A., JAMROZ, J. Precision of dehydroascorbic acid quantitation with the use of the subtraction method – Validation of HPLC–DAD method for determination of total vitamin C in food. **Food Chemistry**, v. 173, p. 543–550, 2015.

MORET, S. et al. A survey on free biogenic amine content of fresh and
NATH, A. et al. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. **Food Chemistry**, v.127, p.1510–1514, 2011.

PASCOAL, A. C. R. F. et al. Antiproliferative activity and induction of apoptosis in PC-3 cells by the chalcone cardamonin from *Campomanesia adamantium* (Myrtaceae) in a bioactivity-guided study. **Molecules**, v.19, p.1843–1855, 2014.

PLANTAÇÕES DE EMPREGO. **Anuário Brasileiro de Horti & Fruti**. 2019. Kist, B.B. et al. Horticultura – Brasil. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019, 96p.

PODSEDEK, A. Natural antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1–11, 2007.

SANDHYA, B. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. **Lwt-Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 381-392, 2010.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4º edição. Campinas, São Paulo, 2011.

THOMAS, M. et al. Characterization of industrial broccoli discards (*Brassica oleracea* var. *italica*) for their glucosinolate, polyphenol and flavonoid contents using UPLC MS/MS and spectrophotometric methods. **Food Chemistry**, v.245, p. 1204–1211, 2018.

THOMPSON, A. K. **Hyperbaric Storage**. In: Fruit and Vegetables Storage – Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere – Springer Briefs in Food, Health and Nutrition, p. 93-109, 2016.

TOSUN, B.N., YÜCECAN, S. Influence of commercial freezing and storage on vitamin C content of some vegetables. **Internacional Journal Food Science Technology**, v. 43, p. 316–321, 2008.

VALLEJO, F. et al. Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 51, p. 3029–3034, 2003.

VALLEJO, F. et al. Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.82, p.1293–1297, 2002.

VICENTE, A.R. et al. Influence of selfproduced CO₂ on postharvest life of heat treated strawberries. **Postharvest Biology Technology**, v. 27, p. 265–275, 2003.

VIGNEAULT C. et al. Engineering aspects of physical treatments to increase fruit and vegetable phytochemical content. **Canadian Journal of Plant Science**, v.22, p. 1-25, 2012.

VINA, S.Z.; CHAVES, A.R. Effect of heat treatment and refrigerated storage on antioxidant properties of pre-cut celery (*Apium graveolens* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n.1, p. 44-51, 2008.