



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

KESSIANE SILVA DE MORAES

**INFLUÊNCIA DA ATMOSFERA MODIFICADA E
COBERTURA COMESTÍVEL NA QUALIDADE DE PHYSALIS
(*Physalis peruviana* L.) ARMAZENADA EM DIFERENTES
TEMPERATURAS**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Alimentos. Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Florianópolis, maio de 2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Moraes, Kessiane Silva de

Influência da atmosfera modificada e cobertura comestível na qualidade de physalis (*Physalis peruviana* L.) armazenada em diferentes temperaturas / Kessiane Silva de Moraes ; orientadora, Alcilene Rodrigues Monteiro – Florianópolis, SC, 2013.

297 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. Conservação de frutas. 3. *Physalis peruviana*. 4. Atmosfera modificada. 5. Cobertura comestível. I. Monteiro, Alcilene Rodrigues. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Título.

**"INFLUÊNCIA DA ATMOSFERA MODIFICADA E
COBERTURA COMESTÍVEL NA QUALIDADE DE
PHYSALIS (*Physalis peruviana* L.) ARMAZENADA EM
DIFERENTES TEMPERATURAS"**

Por

Kessiane Silva de Moraes

Tese julgada para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Alimentos**, área de Concentração de **Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Dra. Alcileide Rodrigues Monteiro Fritz

Orientadora



Prof. Dr. João Borges Laurindo

Coordenador

Banca Examinadora:



Prof. Dra. Alcileide Rodrigues
Monteiro Fritz



Prof. Dra. Rosemary Hoffmann
Ribani



Prof. Dra. Simone Hickmann Flóres



Prof. Dr. Pedro Luiz Manique Barreto



Prof. Dr. Marco Di Luccio



Dr. Silvana Licodiedoff

Florianópolis, 03 de maio de 2013.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, agradeço pela orientação, pelo apoio, confiança e amizade.

À minha amiga Cristiane Fagundes pela parceria ao longo destes quatro anos de trabalho. Foi muito importante ter com quem dividir as dificuldades encontradas e com quem comemorar a cada conquista.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pela oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES e à FAPESC pelo apoio financeiro.

Às estagiárias Pâmela, Maria Carolina, Silmara, Camila e Gabriela pela enorme contribuição nos experimentos realizados e pela ótima companhia.

À toda a equipe do PROFI, especialmente aos colegas Lindomar, Marieli e Marlene pelos momentos agradáveis que passamos juntos.

Ao colega Juliano Tosati pelas sugestões e colaboração.

À Prof^ª. Dr^ª. Simone Hickmann Flôres por aceitar o convite para ser a relatora desta tese de doutorado, mesmo com tempo limitado para avaliação.

Aos membros da banca, por todas as críticas e sugestões que resultaram no aprimoramento do trabalho final.

Ao Prof. Dr. Marcelo Maraschin e aos seus alunos, especialmente ao Rodolfo Moresco, por compartilharem as dependências de seu laboratório e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Ao Prof. Dr. Celso Peres Fernandes e ao seu aluno Giuseppe Zanella do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas, pela enorme contribuição para a realização desta pesquisa.

À Denise Moritz do Laboratório de Engenharia Bioquímica pela disposição em ajudar e pela simpatia.

À Prof^ª. Dr^ª. Sandra Regina Ferreira por disponibilizar o espectrofotômetro e as instalações do LATESC sempre que foi necessário.

À Prof^ª. Dr^ª. Regina Muniz Moreira e à aluna Silvia Layara pelo auxílio nas análises cromatográficas.

À equipe do LCME pelo auxílio nas análises de microscopia eletrônica de varredura.

À Raquel da Secretaria de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, pela competência e colaboração.

Ao meu noivo Luiz Arthur por todo o amor, compreensão, apoio nos momentos de desânimo, e principalmente pelo exemplo de força e determinação.

Aos meus pais Antonio e Maria Antonia pelo exemplo de caráter e simplicidade, pelo apoio incondicional, por todo o amor dedicado e pelas dezenas de vezes que viajaram muitos quilômetros para me fazer companhia.

À minha avó Maria Angélica, ao meu irmão Jaison e aos amigos queridos pelo apoio para a realização deste trabalho.

Aos meus sobrinhos, Lara e Gustavo, por tornarem a minha vida mais feliz.

À Deus que sempre me acompanha em todas as caminhadas e que alimenta meu coração com fé, esperança e amor pela vida.

RESUMO

A physalis (*Physalis peruviana* L.), pertencente à família Solanaceae, se caracteriza por um fruto alaranjado e pequeno que se encontra completamente envolto por um cálice. No Brasil, a fruta é comumente comercializada com cálice, porém, durante o período pós-colheita é necessário a secagem deste para evitar a proliferação de microrganismos. O objetivo do estudo foi aumentar o período de conservação de physalis sem cálice utilizando técnicas como atmosfera modificada e coberturas comestíveis. Foram realizados testes preliminares para avaliação de técnicas de higienização de frutas, validação de equipamento para determinação da concentração de gases e definição de embalagem para atmosfera modificada. Foram realizados experimentos na fruta com e sem o cálice para avaliar as características de qualidade do produto ao longo do armazenamento a 5°C, 10°C e 15°C por 40 dias, pela determinação da perda de massa fresca, pH, sólidos solúveis totais, cor e textura (força de perfuração, compressão e relaxação). Além disso, foi estudada a influência do uso de diferentes atmosferas modificadas a 5°C e 10°C por 30 dias a fim de verificar o efeito destes gases no armazenamento de physalis, acompanhando-se os parâmetros físico-químicos da fruta (pH, ácidos orgânicos, sólidos solúveis totais, açúcares, cor, carotenoides, perda de massa fresca, textura, taxa respiratória e etileno). O efeito do uso cobertura comestível em physalis foi analisado mediante as alterações nas características de qualidade da fruta durante o armazenamento. As propriedades mecânicas e de barreira da cobertura aplicada no produto também foi avaliada. Os resultados dos testes preliminares mostraram que o ozônio e o cloro foram eficazes na eliminação de microrganismos. O analisador de gases apresentou resultados precisos e exatos quando comparado com resultados obtidos por cromatografia gasosa. Dentre as embalagens testadas, a embalagem de BOPP/PEBD foi a mais apropriada para utilização em atmosfera modificada. As amostras armazenadas sem cálice apresentaram maiores alterações nos parâmetros físico-químicos avaliados, indicando a necessidade da aplicação de técnicas de conservação para aumentar o período de comercialização do produto quando pronto para consumo. Verificou-se que o uso de atmosfera modificada associada ao armazenamento a baixa temperatura foi uma técnica promissora para conservação de physalis. A atmosfera com 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ reduziu a respiração das frutas e conseqüentemente os processos metabólicos que alteram parâmetros físico-químicos como pH, teor de sólidos solúveis totais e a textura da

physalis. O efeito benéfico do uso da atmosfera modificada foi evidente nos tratamentos realizados em temperatura mais baixa (5°C). Dentre as coberturas comestíveis estudadas, a formulação com 0,5% de emulsificante (polissorbato 80) foi a que apresentou menor tensão superficial e conseqüentemente melhor espalhamento e adesão sobre a superfície da physalis. Porém, não houve evidência de que o uso de cobertura a base de HPMC/lipídios em physalis tenha retardado as alterações físico-químicas decorrentes do processo de maturação da fruta.

Palavras chaves: armazenamento, atmosfera modificada, coberturas comestíveis, physalis, pós-colheita.

ABSTRACT

Physalis (*Physalis peruviana* L.) belongs to the Solanaceae family and is characterized as a small, orange fruit that is completely enclosed in a calyx. In Brazil the fruit is commonly commercialized with the calyx, although drying of the calyx is necessary to prevent microorganism proliferation. This study aimed to increase the shelf life of physalis without calyx using techniques such as modified atmosphere and edible coatings. Preliminary tests were performed to evaluate techniques for cleaning the fruits, validation of equipment for gas determination, and suitable package for modified atmosphere. The influence of the calyx in fruit quality was evaluated during storage at 5°C, 10°C and 15°C for 40 days by determining the weight loss, pH, soluble solids, color, and texture (perforation force, compression, and relaxation). Additionally, the influence of different modified atmospheres was studied at 5°C and 10°C for 30 days to verify the effect of those gases in the storage of physalis following physical-chemical parameters (pH, organic acids, soluble solids, sugars, color, carotenoids, weight loss, texture, respiration rate and ethylene). The effects of edible coating in physalis were analyzed according to changes in the characteristics of fruit quality during storage, as well as the evaluation of barrier and mechanical properties of the coating. The results showed that both ozone and chlorine were effective in elimination of microorganism. The gas analyzer showed precise and accurate results when compared to the results obtained by gas chromatography. Among the packages, the PPBO/LDPE package was the most suitable for use in modified atmosphere. Samples stored without calyx showed greater changes in physical and chemical parameters, indicating the necessity to apply conservation techniques to increase the commercialization period when the product is ready for consumption. It has noted that the use of modified atmosphere associated with low temperature storage is a promising technique for the conservation of physalis, since the atmosphere with 10% CO₂, 5% O₂, and 85% N₂ reduced the respiration of fruits and consequently the metabolic processes that modify the physical and chemical parameters such as pH, soluble solids and texture of physalis. The beneficial effect of using modified atmosphere was evident in treatments performed at low temperature (5°C). Among the edible coatings studied, the formulation with 0.5% emulsifier (polysorbate 80) showed the lowest surface tension, and therefore better spreading and adhesion on the surface of physalis. However, no evidence was found that the use of HPMC/lipid based coating on

physalis has slowed the physical-chemical changes resulting from the fruit's maturation process.

Keywords: storage, modified atmosphere, edible coatings, physalis, post-harvest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: <i>Physalis peruviana</i> L.	35
Figura 1.2: Equilíbrio de forças entre as fases sólido/líquido/vapor.	66
Figura 1.3: Ângulo de contato.	69
Figura 2.1: Sistema de higienização em água ozonizada.	77
Figura 3.1: Relação entre a concentração de O ₂ medido em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.	94
Figura 3.2: Relação entre a concentração de CO ₂ medido em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.	94
Figura 4.1: Evolução da concentração de O ₂ (a) e CO ₂ (b) durante o acondicionamento de physalis em embalagens de BOPP/PEBD, PE/PA/EVOH, PE/PA e EVA sob atmosfera modificada de 5% O ₂ , 10% CO ₂ , 85% N ₂ por 60 horas a 25°C.	102
Figura 4.2: Evolução da concentração de O ₂ e CO ₂ durante o armazenamento de physalis em embalagem de BOPP/PEBD com 5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂ a 15°C e 25°C.	105
Figura 4.3: Evolução da concentração de O ₂ e CO ₂ durante o armazenamento de physalis em embalagem de BOPP/PEBD a 25°C em ar e em atmosfera modificada.	106
Figura 4.4: Evolução da concentração de O ₂ e CO ₂ de physalis em dois graus de maturação diferentes armazenadas em embalagem de BOPP/PEBD com 5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂ a 15°C.	107
Figura 5.1: Frutos do gênero <i>Physalis</i> armazenados com e sem cálice em embalagens rígidas de polietileno de alta densidade (PEAD) abertas.	113
Figura 5.2: Análise de textura: (a) sonda utilizada no ensaio de perfuração; (b) sonda utilizada no ensaio de compressão e relaxação.	115
Figura 5.3: Perda de massa fresca de physalis com cálice armazenada em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.	116
Figura 5.4: Perda de massa fresca de physalis sem cálice armazenada em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.	117
Figura 5.5: Força de perfuração (N) de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento.	130

Figura 5.6: Força de perfuração (N) de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento.	131
Figura 5.7: Força de compressão (g) de physalis com cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.	133
Figura 5.8: Força de compressão (g) de physalis com cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C, com 10% de deformação.	135
Figura 5.9: Força de compressão de physalis sem cálice: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.	136
Figura 5.10: Força de compressão de physalis sem cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C, com 10% de deformação.	138
Figura 5.11: Razão de relaxação de physalis com cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.	140
Figura 5.12: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos dados experimentais de relaxação mecânica de physalis com cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (●, ■) dados experimentais e (–) modelo.	143
Figura 5.13: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos onze primeiros dados experimentais de relaxação mecânica de uma amostra de physalis com cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (●, ■) dados experimentais e (–) modelo.	144
Figura 5.14: Razão de relaxação de physalis sem cálice: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.	145
Figura 5.15: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos dados experimentais de relaxação mecânica de physalis sem cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (●, ■) dados experimentais e (–) modelo.	148
Figura 5.16: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos onze primeiros dados experimentais de relaxação mecânica de uma amostra de physalis sem cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (■) dados experimentais e (–) modelo.	149
Figura 5.17: Aparência do cálice da physalis (a) na colheita, e (b) após a secagem.	151

Figura 6.1: Analisador de gases (CheckMate II, PBI Dansensor) para determinação da concentração de O ₂ e CO ₂	157
Figura 6.2: Perda de massa fresca de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias sob atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T3: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T4: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).....	170
Figura 6.3: Perda de massa fresca de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T7: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T8: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).....	171
Figura 6.4: Força de perfuração de physalis armazenada a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T3: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T4: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).....	172
Figura 6.5: Força de compressão de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ ; (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	174
Figura 6.6: Força de perfuração de physalis armazenada a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T7: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T8: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	176
Figura 6.7: Força de compressão de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	178
Figura 6.8: Concentração de gases (O ₂ e CO ₂) de physalis armazenada a 5°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	181
Figura 6.9: Concentração de gases (O ₂ e CO ₂) de physalis armazenada a 10°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	184
Figura 6.10: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	187

Figura 6.11: Taxa de CO ₂ produzido pela physalis e efeito do fluxo de CO ₂ através da embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	190
Figura 6.12: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O ₂ e 95% N ₂ ; (c) 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ e (d) 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	192
Figura 6.13: Condensação de água nas embalagens armazenadas a 15°C.	193
Figura 7.1: Concentração de gases (O ₂ e CO ₂) de physalis armazenada a 5°C por 30 dias (720h) em embalagem contendo: (a) ar atmosférico; (b) atmosfera modificada de 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂	205
Figura 7.2: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem contendo ar (controle) a 5°C.	206
Figura 7.3: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem com atmosfera modificada (5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂) a 5°C.	207
Figura 7.4: Produção de etileno (nL.g ⁻¹) durante o armazenamento de physalis a 5°C por 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO ₂ , 5% O ₂ , 85% N ₂).	208
Figura 7.5: Teor de ácido málico (a), tartárico (b), cítrico (c) e ascórbico (d) em frutos de <i>Physalis peruviana</i> L. armazenadas a 5°C por 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO ₂ , 5% O ₂ , 85% N ₂).	213
Figura 7.6: Teor de sacarose (a), glicose (b) e frutose (c) em frutos de <i>Physalis peruviana</i> L. armazenadas a 5°C por 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e em atmosfera modificada (10% CO ₂ , 5% O ₂ , 85% N ₂).	215
Figura 7.7: Cromatograma dos carotenoides presentes na physalis obtido por cromatografia líquida de alta eficiência: (a) detecção de seis picos; (b) detecção de cinco picos.	221
Figura 7.8: Perda de massa fresca de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em atmosfera modificada (5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂) a 5°C por 30 dias.	225
Figura 7.9: Força de perfuração de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em embalagem com atmosfera modificada (5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂) a 5°C por 30 dias.	226

Figura 7.10: Força de compressão de physalis armazenada a 5°C por 30 dias: (a) controle; (b) embalagem com atmosfera modificada (5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂).....	227
Figura 8.1: Goniômetro (OCA-20, Dataphysics) para determinação do ângulo de contato.	238
Figura 8.2: Microscopia eletrônica de varredura do tecido de <i>Physalis peruviana</i> L.: (a) Presença de cera na região próxima ao pedúnculo (esquerda); (b) superfície com a cera natural que recobre o fruto; (c) superfície sem a cera natural, após higienização.....	245
Figura 8.3: Microscopia eletrônica de varredura do filme a base de HPMC e cera: (a) superfície exposta ao ar; (b) superfície em contato com a placa; (c) seção transversal (fratura).....	250
Figura 8.4: Calorimetria exploratória diferencial (DSC) do filme a base de HPMC e lipídios.	251
Figura 8.5: Molhabilidade da cobertura com os líquidos padrões: (a) água deionizada, (b) formamida e (c) diiodometano.....	253
Figura 8.6: Perda de massa fresca de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura a base de HPMC e lipídios em diferentes condições de armazenamento.	259
Figura 8.7: Força de compressão de physalis sem cobertura (a) e com cobertura a base de HPMC e lipídios (b) em diferentes condições de armazenamento.	261
Figura 8.8: Força de perfuração de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura a base de HPMC e lipídios em diferentes condições de armazenamento.	262
Figura 8.9: Concentração de gases de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura a base de HPMC e lipídios em diferentes condições de armazenamento.	263

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Composição química da <i>Physalis peruviana</i> L.	37
Tabela 1.2: Teor de vitaminas e minerais em <i>Physalis peruviana</i> L.	38
Tabela 2.1: Matriz do planejamento fatorial 2 ² para o processo de sanitização com ozônio.	76
Tabela 2.2: Concentração de ozônio em água destilada.	78
Tabela 2.3: Planejamento fatorial 2 ² para o processo de sanitização de physalis com ozônio.	81
Tabela 2.4: Limpeza de physalis com cloro e água destilada.	82
Tabela 2.5: Efeitos estimados para a contagem de bolores e leveduras.	83
Tabela 2.6: Efeitos estimados para os parâmetros de cor.	84
Tabela 2.7: Análise de cor de physalis antes e após higienização com hipoclorito de sódio.	85
Tabela 3.1: Medidas da concentração de oxigênio em cromatógrafo gasoso (CG) e em analisador de gases (AG).	92
Tabela 3.2: Medidas da concentração de dióxido de carbono em cromatógrafo gasoso (CG) e em analisador de gases (AG).	93
Tabela 3.3: Correlações de Sperman para análises de O ₂ e CO ₂ em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.	95
Tabela 4.1: Especificações das embalagens testadas.	101
Tabela 5.1: Valores de pH de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.	118
Tabela 5.2: Valores de pH de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.	120
Tabela 5.3: Sólidos solúveis totais (SST) de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.	121
Tabela 5.4: Sólidos solúveis totais (SST) de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.	123

Tabela 5.5: Análise de cor de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.....	127
Tabela 5.6: Análise de cor de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.....	128
Tabela 5.7: Força máxima, razão de relaxação (F_t/F_0 , após 30s de teste) e parâmetros do modelo empírico de Peleg (1980) para physalis com cálice armazenada sob diferentes temperaturas por 40 dias.....	141
Tabela 5.8: Força máxima, razão de relaxação (F_t/F_0 , após 30s de teste) e parâmetros do modelo empírico de Peleg (1980) para physalis sem cálice armazenada sob diferentes temperaturas por 40 dias.....	146
Tabela 6.1: Experimentos em diferentes atmosferas e temperaturas. .	156
Tabela 6.2: Valores de pH de physalis armazenada a 5°C por 40 dias sob atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T3: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T4: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	161
Tabela 6.3: Valores de pH de physalis armazenada a 10°C por 30 dias sob atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T7: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T8: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	162
Tabela 6.4: SST de physalis armazenada a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T3: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T4: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	163
Tabela 6.5: SST de physalis armazenada a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T7: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T8: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	164
Tabela 6.6: Cor de physalis armazenada a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T3: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T4: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	167
Tabela 6.7: Cor de physalis armazenada a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O ₂ e 95% N ₂ , T7: 5% CO ₂ , 5% O ₂ e 90% N ₂ , T8: 10% CO ₂ , 5% O ₂ e 85% N ₂).	169
Tabela 7.1: pH e sólidos solúveis totais de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em embalagem com atmosfera modificada (5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂) a 5°C por 30 dias.....	210
Tabela 7.2: Parâmetros de cor de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em embalagem com atmosfera modificada (5% O ₂ , 10% CO ₂ e 85% N ₂) a 5°C por 30 dias.....	219

Tabela 7.3: Teores de carotenoides totais de physalis armazenadas a 5°C durante 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO ₂ , 5% O ₂ , 85% N ₂).....	220
Tabela 7.4: Identificação dos carotenoides da physalis por cromatografia líquida de alta eficiência e porcentagem dos carotenoides presentes.....	223
Tabela 8.1: Formulações das coberturas comestíveis compostas de HPMC e lipídios.....	233
Tabela 8.2: Análise do ângulo de contato dos líquidos padrões com a superfície da physalis.	243
Tabela 8.3: Energia livre superficial e suas componentes para superfície de physalis utilizando o modelo de Owens-Wendt.	243
Tabela 8.4: Tensão superficial e viscosidade das soluções filmogênicas com diferentes concentrações de emulsificante.	246
Tabela 8.5: Permeabilidade ao vapor de água (PVA), espessura, transparência e umidade da cobertura comestível a base de HPMC e lipídios.....	248
Tabela 8.6: Temperaturas de fusão (T _f), temperatura de cristalização (T _c), calor de fusão (ΔH _f) e grau de cristalinidade (χ _c) da cobertura comestível a base de HPMC e lipídios.....	252
Tabela 8.7: Ângulo de contato dos líquidos padrões na cobertura comestível.	253
Tabela 8.8: Energia livre superficial e suas componentes para a cobertura comestível a base de HPMC/lipídios utilizando o modelo de Owens-Wendt.....	253
Tabela 8.9: pH e SST de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura em diferentes condições de armazenamento.	255
Tabela 8.10: Parâmetros de cor de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura em diferentes condições de armazenamento.	257
Tabela 8.11: Avaliação microbiológica ao longo do período de armazenamento de physalis com cobertura e controle.....	265

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	27
OBJETIVOS DO TRABALHO	29
ESTRUTURA DO TRABALHO	30
1. REVISÃO DA LITERATURA	33
1.1 Gênero Physalis	35
1.1.1 Generalidades	35
1.1.2 Características físico-químicas	36
1.1.3 Qualidade pós-colheita de physalis	39
1.2 Fatores que afetam a qualidade	39
1.2.1 Respiração	39
1.2.1.1 Modelo de taxa respiratória	42
1.2.2 Produção de etileno	44
1.2.3 Atributos químicos	45
1.2.3.1 Compostos voláteis	45
1.2.3.2 Ácidos orgânicos e pH	45
1.2.3.3 Carboidratos, açúcares e sólidos solúveis totais	46
1.2.3.4 Carotenoides	47
1.2.4 Atributos físicos	48
1.2.4.1 Perda de massa fresca	48
1.2.4.2 Cor	48
1.2.4.3 Textura	50
1.2.5 Crescimento microbiano	52
1.3 Métodos de sanitização	53
1.3.1 Hipoclorito de sódio	53
1.3.2 Ozônio	54
1.4 Métodos de conservação	56
1.4.1 Atmosfera modificada	56
1.4.1.1 Embalagem	58
1.4.2 Temperatura	60
1.4.3 Coberturas comestíveis	61
1.4.3.1 HPMC	63

1.4.3.2 Avaliação das propriedades das coberturas comestíveis	64
2. USO DE OZÔNIO NA SANITIZAÇÃO DE PHYSALIS (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	71
2.1 INTRODUÇÃO	73
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	75
2.2.1 Matéria-prima	75
2.2.2 Quantificação de ozônio em água	75
2.2.3 Sanitização dos produtos.....	76
2.2.4 Análises microbiológicas	77
2.2.5 Cor..	77
2.2.6 Análise estatística.....	78
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
2.3.1 Determinação da concentração de ozônio em água	78
2.3.2 Contagens microbianas após sanitização dos produtos.....	79
2.3.3 Análise de cor	83
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
3. AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR A CONCENTRAÇÃO DE O₂ E CO₂ EM PRODUTOS ACONDICIONADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA.....	87
3.1 INTRODUÇÃO	89
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	90
3.2.1 Matéria-prima	90
3.2.2 Acondicionamento das amostras.....	90
3.2.3 Análise da concentração de gases	90
3.2.4 Análise estatística.....	91
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
4. AVALIAÇÃO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS PARA ARMAZENAMENTO DE PHYSALIS (<i>Physalis peruviana</i> L.) EM ATMOSFERA MODIFICADA	97
4.1 INTRODUÇÃO	99
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	100
4.2.1 Matéria-prima	100

4.2.2 Avaliação das embalagens.....	100
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
5. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA REMOÇÃO DO CÁLICE NA CONSERVAÇÃO DE PHYSALIS (<i>Physalis peruviana</i> L.) ARMAZENADA EM CESTAS PLÁSTICAS.	109
5.1 INTRODUÇÃO	111
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	112
5.2.1 Matéria-prima.....	112
5.2.2 Armazenamento dos frutos.....	113
5.2.3 Análises físico-químicas	113
5.2.3.1 Perda de massa fresca.....	113
5.2.3.2 pH.....	114
5.2.3.3 Sólidos solúveis totais	114
5.2.3.4 Cor.....	114
5.2.3.5 Textura	114
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	116
5.3.1 Perda de massa fresca.....	116
5.3.2 pH.....	118
5.3.3 Sólidos solúveis totais	121
5.3.4 Cor.....	124
5.3.5 Textura	129
5.3.5.1 Força de perfuração.....	129
5.3.5.2 Força de compressão	132
5.3.5.3 Ensaio de relaxação.....	139
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
6. APLICAÇÃO DE DIFERENTES ATMOSFERAS MODIFICADAS PARA AUMENTO DA VIDA ÚTIL DE PHYSALIS (<i>Physalis peruviana</i> L.).	153
6.1 INTRODUÇÃO	155
6.2 MATERIAL E MÉTODOS	156
6.2.1 Matéria-prima.....	156
6.2.2 Armazenamento em atmosfera modificada.....	156

6.2.3 Determinação de O ₂ e CO ₂	157
6.2.4 Taxa respiratória	157
6.2.5 Análises físico-químicas	159
6.2.5.1 Perda de massa fresca	159
6.2.5.2 pH.....	159
6.2.5.3 Sólidos solúveis totais	159
6.2.5.4 Cor	160
6.2.5.5 Textura	160
6.2.6 Análise estatística.....	161
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	161
6.3.1 pH.....	161
6.3.2 Sólidos solúveis totais	163
6.3.3 Cor	165
6.3.4 Perda de massa fresca	170
6.3.5 Textura	172
6.3.6 Determinação da concentração de gases	179
6.3.7 Taxa respiratória	185
6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	193
7. AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DE PHYSALIS (<i>Physalis peruviana</i> L.) ARMAZENADAS EM ATMOSFERA MODIFICADA	195
7.1 INTRODUÇÃO	197
7.2 MATERIAL E MÉTODOS	198
7.2.1 Matéria-prima	198
7.2.2 Armazenamento em atmosfera modificada.....	198
7.2.3 Taxa respiratória	198
7.2.4 Determinação de etileno.....	200
7.2.5 pH e sólidos solúveis totais	200
7.2.6 Ácidos orgânicos.....	200
7.2.7 Açúcares.....	201
7.2.8 Cor	202
7.2.9 Extração e identificação de carotenoides	202
7.2.10 Perda de massa fresca	203

7.2.11 Textura	203
7.2.12 Análise estatística	204
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	204
7.3.1 Determinação da concentração de gases	204
7.3.2 Taxa respiratória.....	206
7.3.3 Etileno	208
7.3.4 pH e sólidos solúveis totais	210
7.3.5 Ácidos orgânicos	211
7.3.6 Açúcares	214
7.3.7 Cor.....	216
7.3.8 Carotenoides.....	220
7.3.9 Perda de massa fresca.....	224
7.3.10 Textura	225
7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	228
8. ELABORAÇÃO DE COBERTURAS A BASE DE HPMC E AVALIAÇÃO DO EFEITO DA COBERTURA COMESTÍVEL EM <i>PHYSALIS (Physalis peruviana L.)</i>.....	229
8.1 INTRODUÇÃO	231
8.2 MATERIAL E MÉTODOS	232
8.2.1 Formulações das coberturas comestíveis.....	232
8.2.2 Caracterização da solução filmogênica	233
8.2.3 Análises das coberturas comestíveis	234
8.2.3.1 Permeabilidade ao vapor de água.....	234
8.2.3.2 Transparência dos filmes.....	234
8.2.3.3 Espessura.....	234
8.2.3.4 Umidade	235
8.2.3.5 Calorimetria exploratória diferencial	235
8.2.3.6 Microscopia eletrônica de varredura	235
8.2.3.7 Determinação do ângulo de contato, adesão, molhabilidade...	236
8.2.4 Aplicação das coberturas comestíveis e armazenamento das frutas.....	238
8.2.5 Caracterização das physalis com coberturas comestíveis.....	238
8.2.5.1 pH e sólidos solúveis totais	238

8.2.5.2 Cor	239
8.2.5.3 Perda de massa fresca	239
8.2.5.4 Textura	239
8.2.5.5 Determinação de O ₂ e CO ₂	240
8.2.5.6 Análises microbiológicas	240
8.2.6 Análise estatística.....	241
8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	241
8.3.1 Avaliação das soluções filmogênicas e análise da superfície do fruto.....	241
8.3.2 Caracterização da cobertura comestível aplicada à physalis	248
8.3.3 Avaliação da qualidade da fruta com cobertura comestível	254
8.3.3.1 pH e SST	254
8.3.3.2 Cor	255
8.3.3.3 Perda de massa fresca	258
8.3.3.4 Textura	259
8.3.3.5 Concentração de gases	262
8.3.3.6 Análises microbiológicas	264
8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	265
9. CONCLUSÕES FINAIS E REFERÊNCIAS	267
CONCLUSÕES FINAIS	269
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	271

INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira apresenta grande potencial de expansão, pois ainda existem inúmeras frutas nativas e exóticas pouco exploradas economicamente (ROCKENBACH et al., 2008). O gênero *Physalis* pertence à família Solanaceae (LIMA et al., 2009) e se desenvolve em áreas tropicais da África, Ásia e América, incluindo a Amazônia, onde é popularmente conhecida como “camapu” (HSEU et al., 2011). O fruto é originário dos Andes, porém é na América do Sul que se encontra o maior produtor, a Colômbia, onde é comercializado pelo nome de *uchuva* (*cape gooseberry*) (FRANCO et al., 2007). No Brasil, o cultivo ainda é recente, mas está sendo ampliado no sul do país, no estado do Rio Grande do Sul, nas cidades de Áurea, Roca Sales, Vacaria e Carazinho, e no estado de Santa Catarina, nas cidades de Fraiburgo e Lages (LIMA et al., 2009).

Por ser uma fruta exótica e pouco conhecida no Brasil (ROCKENBACH et al., 2008), o fruto do gênero *Physalis* é um produto de alto valor econômico (LIMA et al., 2009), o que desperta o interesse em estudar alternativas que permitam aumentar a vida útil do produto, reduzir perdas e danos mecânicos devido ao manejo inadequado durante o período pós-colheita, e desta forma, contribuir para aumentar o período de oferta da *physalis* no mercado interno e externo.

As perdas, em quantidade e qualidade, que as frutas estão expostas entre o período de colheita e consumo são muito importantes. A velocidade de deterioração de produtos frescos é geralmente proporcional à velocidade com que ocorre a respiração do produto. Além disso, as frutas perdem água devido à transpiração, o que provoca grandes perdas de massa por desidratação (PÉREZ-GAGO et al., 2008). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), as condições ideais de armazenamento variam largamente de produto para produto e correspondem às condições nas quais esses produtos podem ser armazenados pelo maior espaço de tempo possível, sem perda apreciável de seus atributos de qualidade, como sabor, aroma, textura, cor e teor de umidade.

Para assegurar a estabilidade, qualidade nutricional e sensorial de frutas é necessário controlar os fatores que podem influenciar direta ou indiretamente a qualidade desses produtos (ROJAS-GRAÜ, 2006). O conhecimento das alterações físico-químicas durante o processo de maturação pode contribuir para o desenvolvimento de tratamentos

adequados para as etapas pós-colheita, para garantir a qualidade e prolongar a conservação da fruta (LANCHERO et al., 2007).

A aplicação de atmosfera modificada para armazenamento de frutas tem como principal objetivo alterar o microambiente do produto armazenado e está baseada na alteração do teor de O_2 , CO_2 e N_2 nas embalagens (SANDHYA, 2010), o que diminui as taxas de respiração e transpiração e retarda os processos de maturação e degradação de produtos frescos (FISCHER et al., 2000). Baixas concentrações de O_2 juntamente com altas concentrações de CO_2 e armazenamento a baixas temperaturas podem reduzir a taxa respiratória, retardar o amadurecimento, diminuir a produção de etileno, e o amolecimento do produto, resultando assim na extensão da vida de prateleira (FISCHER et al., 2000; DAS et al., 2006; LANCHERO et al., 2007; NIELSEN e LEUFVÉN, 2008). O sucesso da aplicação da tecnologia de acondicionamento em embalagens com atmosfera modificada está associado à natureza e qualidade inicial do produto, especificidade da mistura gasosa em relação ao produto, controle de temperatura e propriedades de barreira da embalagem (OLIVEIRA, 2006).

O uso de coberturas comestíveis tem sido considerado como uma alternativa para aumentar a vida útil de frutas e hortaliças frescas, devido à diminuição da perda de umidade, redução das taxas de respiração, além de conferir aparência brilhante e atraente (DIAB et al., 2001). As coberturas podem ser obtidas de diferentes tipos de materiais, sendo utilizados os polissacarídeos, proteínas e lipídios. Entre os polissacarídeos derivados de celulose usados na produção de coberturas, a hidroxipropil metilcelulose (HPMC) apresenta boas propriedades de formação de filmes e boa barreira aos gases. Porém, sendo hidrofílicos, não proporcionam boa barreira à umidade (KESTER e FENNEMA, 1986). Por outro lado, os lipídios, devido sua natureza hidrofóbica, são usados em coberturas comestíveis para proporcionar barreira à umidade (GREENER e FENNEMA, 1994). No entanto, se caracterizam por formar filmes com propriedades mecânicas muito inferiores aos filmes obtidos de outros materiais (RHIM e SHELLHAMMER, 2005). Devido às vantagens e limitações de cada categoria de componentes dos filmes e coberturas, alguns trabalhos têm envolvido o uso de combinações desses materiais para melhorar as propriedades das coberturas (CHEN e NUSSINOVITCH, 2001). Vários trabalhos na literatura mostram que as coberturas comestíveis à base de hidroxipropil metilcelulose (HPMC) e lipídios, como cera de abelha, cera de carnaúba ou resina preservam a qualidade pós-colheita de frutos, reduzindo a perda de peso e mantendo a firmeza e qualidade sensorial dos produtos revestidos (PEREZ-GAGO

et al., 2002; PEREZ-GAGO et al., 2003; PEREZ-GAGO et al., 2005; NAVARRO-TARAZAGA et al., 2007; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2009; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2010). No entanto, o uso de coberturas comestíveis em physalis *in natura* ainda não foi relatado na literatura.

A realização deste trabalho pode contribuir para a determinação das condições ótimas de armazenamento de physalis sob diferentes técnicas de conservação, visando aumentar o período de comercialização da fruta, garantindo a obtenção de um produto com qualidade microbiológica e aspectos sensoriais satisfatórios, capaz de atender as exigências do consumidor em matéria de qualidade.

OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar as condições ótimas de armazenamento de physalis (*Physalis peruviana* L.) sob diferentes técnicas de conservação, minimizando a ocorrência de reações de deterioração na fruta.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito do uso de ozônio e cloro aplicados na higienização de physalis;
- Avaliar a confiabilidade dos resultados da análise de O₂ e CO₂ em analisador de gases automático comparando-se com cromatógrafo gasoso;
- Verificar a influência do material da embalagem no armazenamento do fruto;
- Avaliar a influência da temperatura e da remoção do cálice na conservação de physalis armazenadas em cestas plásticas;
- Determinar as taxas de respiração de physalis armazenadas sob atmosfera modificada a partir das concentrações de O₂ e CO₂;
- Avaliar o efeito de diferentes temperaturas e misturas gasosas na vida útil de physalis;
- Elaborar coberturas comestíveis a base de hidroxipropil metilcelulose e determinar suas propriedades estruturais e mecânicas;
- Avaliar a influência da aplicação de coberturas comestíveis na conservação de physalis.

ESTRUTURA DO TRABALHO

Para estudar os conteúdos e apresentar os temas tratados em uma sequência lógica, este trabalho foi estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – *Revisão da Literatura*. Neste capítulo é apresentado o *Estado da Arte* que sustenta este trabalho, abordando os diversos aspectos referentes à matéria-prima utilizada (*Physalis peruviana* L.), as alterações físico-químicas decorrentes do processo de maturação e técnicas de conservação aplicada às frutas, como atmosfera modificada e coberturas comestíveis.

Capítulo 2 - *Uso de ozônio na sanitização de physalis (Physalis peruviana L.)*. Neste capítulo é apresentado o efeito do uso de ozônio e cloro na higienização de physalis em relação à contagem microbiana e alterações na cor dos frutos.

Capítulo 3 – *Avaliação de um método experimental para determinar a concentração de O₂ e CO₂ em produtos acondicionados sob atmosfera modificada*. Neste capítulo é apresentada uma comparação entre dois métodos para determinação da concentração de gases. A confiabilidade dos dados obtidos em analisador automático de gases foi avaliada mediante a comparação dos dados obtidos por um método convencional (cromatografia gasosa).

Capítulo 4 – *Avaliação de embalagens flexíveis para armazenamento de physalis (Physalis peruviana L.) sob atmosfera modificada*. Neste capítulo são apresentados os resultados da concentração de gases decorrente da respiração da fruta em diferentes tipos de embalagens flexíveis.

Capítulo 5 – *Avaliação da influência da temperatura e da remoção do cálice na conservação de physalis (Physalis peruviana L.) armazenada em cestas plásticas*. Neste capítulo é apresentado um estudo a respeito das alterações físico-químicas de physalis com e sem cálice, armazenadas em cestas plásticas em diferentes temperaturas.

Capítulo 6 – *Aplicação de diferentes atmosferas modificadas para aumento da vida útil de physalis (Physalis peruviana L.)*. Neste capítulo são apresentados os parâmetros físico-químicos de physalis

armazenadas em diferentes atmosferas modificadas associadas a baixas temperaturas.

Capítulo 7 – *Avaliação das alterações físico-químicas de physalis armazenadas em atmosfera modificada.* Neste capítulo, a taxa respiratória, etileno, carotenoides totais, açúcares, ácidos orgânicos e firmeza de frutos de physalis (*Physalis peruviana L.*) armazenados em atmosfera modificada foram apresentados.

Capítulo 8 – *Elaboração de coberturas a base de HPMC e avaliação do efeito da cobertura comestível em physalis (Physalis peruviana L.).* Neste capítulo são apresentadas a avaliação das soluções filmogênicas, a caracterização da superfície da physalis, as propriedades de barreira das coberturas e a avaliação da qualidade da fruta com cobertura comestível.

Capítulo 9 – *Conclusões finais e referências*

CAPÍTULO 1:
REVISÃO DA LITERATURA

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Gênero *Physalis*

1.1.1 Generalidades

O gênero *Physalis* pertence à família Solanaceae e inclui aproximadamente cem espécies, sendo algumas tóxicas (ESPINOSA et al., 2004). Os frutos são carnosos e caracterizam-se pelo formato arredondado, com diâmetro que oscila entre 1,25 e 2,50 cm e massa entre 4 e 10 g (Figura 1.1). Cada fruto contém de 100 a 300 sementes (CHAVES, 2006). A fruta apresenta coloração alaranjada quando madura e desenvolve-se dentro de um cálice, formado por cinco sépalas, cobrindo a fruta durante todo o seu desenvolvimento. O cálice protege o fruto contra insetos, pássaros, patógenos e condições climáticas adversas e é considerado um indicador a ser observado na determinação do ponto de colheita (ÁVILA et al., 2006). O nome *Physalis* é oriundo do grego onde “physa” significa bolha ou bexiga, referindo-se ao cálice que encerra seus frutos, comestíveis na maioria das vezes (TOMASSINI et al., 2000).

A physalis é uma espécie de grande valor nutricional e econômico que está sendo incorporada nos plantios de pequenas frutas no Brasil. Esta se caracteriza por produzir frutos açucarados e com bom conteúdo de vitamina A, C, ferro e fósforo, além de serem atribuídas a esta espécie inúmeras propriedades medicinais (CHAVES, 2006).



Figura 1.1: *Physalis peruviana* L.

Fonte: Licodiedoff (2012)

O cultivo da physalis é considerado relativamente simples, sendo a maior parte do manejo (tutoramento, adubação, aplicação de herbicidas e irrigação) semelhante ao utilizado para o cultivo do tomateiro (LIMA et al., 2009). Segundo Velasquez et al. (2007), o

cultivo de frutos do gênero *Physalis* é uma excelente alternativa para o mercado nacional e internacional.

A *physalis* é produzida comercialmente no Equador, África do Sul, Quênia, Austrália, Nova Zelândia, Havaí, Índia, Malásia e na Colômbia. Seu cultivo tem se expandido em países tropicais e subtropicais. Atualmente, a Colômbia é o maior produtor mundial seguido pela África do Sul. Esta fruta começou a ter importância comercial na Colômbia em 1985, sendo comercializada na forma *in natura* e processada (NOVOA et al., 2006). No Brasil, a Estação Experimental Santa Luzia, localizada em São Paulo, foi pioneira no cultivo desta fruta, iniciando as pesquisas em 1999 (CHAVES, 2006). Apesar da relativa popularidade da espécie no centro-sul do país, ela ainda é desconhecida nas demais regiões (RUFATO et al., 2008). De acordo com Lima et al. (2009), o cultivo de frutos do gênero *Physalis* está sendo ampliado no Rio Grande do Sul, nas cidades de Áurea, Roca Sales, Vacaria e Carazinho, bem como nas cidades catarinenses de Fraiburgo e Lages.

A *physalis* é consumida no Brasil como fruta exótica de preço elevado, variando de R\$ 20,00 a R\$ 90,00 o quilograma (PEREIRA, 2007).

1.1.2 Características físico-químicas

A fruta tem sido amplamente utilizada como uma excelente fonte de provitamina A, sais minerais, vitamina C e algumas vitaminas do complexo B. A fruta contém aproximadamente 15% de sólidos solúveis (principalmente açúcares) (SHAROBA e RAMADAN, 2011).

De acordo com estudos realizados por Marín (2009), os frutos do gênero *Physalis* apresentam valores de densidade de 1,038 g/mL e atividade de água de 0,988. Quanto às características físico-químicas, o fruto apresenta pH de aproximadamente 3,7, teor de sólidos solúveis totais entre 13 e 15°Brix e acidez entre 1,6 e 2,0%.

De acordo com Puente et al. (2011), os benefícios associados ao fruto referem-se à sua composição nutricional, porque contém componentes biologicamente ativos que proporcionam benefícios para a saúde e reduzem o risco de algumas doenças. Os frutos do gênero *Physalis* apresentam elevado conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados, vitaminas A, B e C e fitoesteróis, bem como, a presença de minerais essenciais.

El Sheikha et al. (2010) estudaram o teor de proteína no suco do fruto da *Physalis pubescens* L. e encontraram valores de 31,8% de aminoácidos essenciais, principalmente leucina, lisina e isoleucina.

Novoa et al. (2006) avaliaram três tipos de açúcares em frutos de *Physalis peruviana* L., sendo a sacarose o açúcar mais abundante, depois a glicose e, finalmente, a frutose com presença limitada no fruto.

Os frutos inteiros de *Physalis peruviana* L. (fruta e sementes) contém 2% de lipídios, dos quais 1,8% é extraído das sementes e 0,2% da polpa e da pele da fruta (base úmida). O óleo extraído da fruta é composto por ácido linoleico, oleico, palmítico e esteárico, que constituem 95% do total de ácidos graxos. Sendo que o ácido linoleico é o ácido graxo dominante, seguido pelo ácido oleico, onde a proporção de ácido linoleico e oleico na polpa e na pele é de 2:1 e na semente é de 5:1. A elevada quantidade de ácidos graxos poli-insaturados encontrados nos óleos extraídos dos frutos do gênero *Physalis* tornam esta fruta importante quanto ao aspecto nutricional (RAMADAN e MÖRSEL, 2003).

A Tabela 1.1 apresenta alguns dados observados na literatura que descrevem a composição química do fruto do gênero *Physalis*.

Tabela 1.1: Composição química da *Physalis peruviana* L.

Conteúdo nutricional (g/100 g de fruta)	Fonte		
	Fischer et al. (2000)	Puente et al. (2011)	Ramadan (2011)
Energia (cal)	49,0	54,0	-
Água	85,5	76,9	78,9
Proteína	1,5	1,1	0,05 – 0,3
Gordura*	0,5	0,4	0,15 – 0,2
Carboidratos	11,0	13,1	19,6
Fibras	0,4	4,8	4,9
Cinzas	0,7	0,7	1,0

*Valor referente ao suco da fruta (sem sementes).

Os minerais são importantes para o desenvolvimento e manutenção das funções vitais do corpo, como crescimento e reprodução, formação de células, tecidos e órgãos. A *Physalis peruviana* L. contém fósforo, potássio, ferro e zinco. Porém, o conteúdo de minerais presentes no fruto do gênero *Physalis* pode variar entre as

diferentes espécies existentes (*Physalis peruviana* L., *Physalis angulata* L., *Physalis minima* L.) (PUENTE et al., 2011).

Quanto ao conteúdo de carotenoides, responsáveis pela cor alaranjada nos frutos do gênero *Physalis* (RAMADAN e MÖRSEL, 2003), o β -caroteno (precursor de vitamina A) é considerado um componente importante na prevenção de determinadas doenças devido às suas propriedades antioxidantes (CASTRO et al., 2008). A *physalis* também apresenta elevado teor de ácido ascórbico (vitamina C), vitamina que desempenha um papel importante na nutrição humana (PUENTE et al., 2011). Segundo Furlong (2000), a quantidade de vitamina encontrada nos frutos é afetada por condições de crescimento, grau de maturação na colheita e práticas pós-colheita.

A Tabela 1.2 apresenta alguns dados observados na literatura que descrevem o teor de algumas vitaminas e minerais do fruto do gênero *Physalis*.

Tabela 1.2: Teor de vitaminas e minerais em *Physalis peruviana* L.

Conteúdo nutricional (mg/100 g de fruta)	Fonte	
	Puente et al. (2011)	Ramadan (2011)
Cálcio	23	8,0
Fósforo	27	55,3
Ferro	0,09	1,2
Potássio	467,0	-
Caroteno	-	1,6
Tiamina (vitamina B1)	0,1	0,1
Riboflavina (vitamina B2)	0,03	0,03
Niacina (vitamina B3)	1,70	1,70
Ácido ascórbico (vitamina C)	43,0	43,0

Os componentes bioativos presentes nos frutos do gênero *Physalis* fazem com que esta fruta seja considerada como um alimento funcional, devido às propriedades fisiológicas associadas à sua composição nutricional. Muitas propriedades medicinais têm sido atribuídas aos frutos do gênero *Physalis*, incluindo propriedades antiasmática, diurética, antisséptica, antioxidantes, atividade antineoplásica, anti-inflamatória e antimicrobiana (PUENTE et al., 2011).

1.1.3 Qualidade pós-colheita de *physalis*

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a qualidade pode ser definida como o “conjunto de características que diferenciam componentes individuais de um mesmo produto e que tem significância na determinação do grau de aceitação desse produto pelo consumidor”. Dessa forma, devem ser considerados os atributos físicos, sensoriais e a composição química, bem como as associações ou relações entre as medições objetivas e subjetivas, para um melhor entendimento das transformações que ocorrem ao longo do tempo, afetando ou não a qualidade do produto.

No período pós-colheita, durante o estágio de maturação, as frutas sofrem alterações na composição química que levam ao desenvolvimento das características que tornam o fruto adequado para o consumo. A mudança característica inicial da maturação é a degradação da clorofila, bem como a síntese de outros pigmentos (carotenoides), envolvendo modificações na cor, seguida de alterações no aroma pela síntese de açúcares, redução da acidez e mudança da textura (SALUNKHE e DESAI, 1984).

Quando o crescimento do fruto cessa e as trocas químicas do amadurecimento são substituídas pelos processos de envelhecimento, inicia-se o processo de senescência da fruta. As transformações neste período tendem para as degradações, que tornam o produto inadequado para o consumo (FURLONG, 2000).

Mejía (1997) relatou que os frutos do gênero *Physalis* apresentam problemas de armazenamento e transporte devido à sua alta perecibilidade, que reduz sua vida útil, afetando o mercado de exportação da fruta.

Desta forma, para retardar as alterações que ocorrem durante o processo de maturação e senescência é imprescindível à aplicação de técnicas de conservação durante o período pós-colheita, que possam garantir a qualidade do produto e prolongar sua vida de prateleira.

1.2 Fatores que afetam a qualidade

1.2.1 Respiração

A respiração é um processo metabólico que se caracteriza por um conjunto de reações biológicas realizadas com o propósito de obter energia e ocorre em todos os tecidos vegetais. Este processo corresponde às reações oxidativas de compostos orgânicos que são

transformados em água e dióxido de carbono com produção de energia química, associada à liberação de calor. Componentes formados na respiração podem ser utilizados na biossíntese de aminoácidos, ácidos graxos, compostos aromáticos e pigmentos, que podem ser importantes na determinação da qualidade de frutas e hortaliças (MAISTRO, 2001; FONSECA et al., 2002).

A maioria dos frutos apresenta uma elevação característica da respiração que pode coincidir com as mudanças de cor, gosto, textura associados à maturação. Este aumento respiratório é chamado climatério e marca transição entre o desenvolvimento e a senescência da fruta (FURLONG, 2000).

O processo de respiração também está associado ao processo de transpiração, principal fator responsável pela perda de peso. Estes dois processos são considerados vitais para as frutas e hortaliças. Essa perda de peso, associada diretamente à perda de água é prejudicial nos casos em que é suficientemente alta para afetar a aparência e a aceitabilidade do produto. Os produtos perecíveis, mesmo quando colocados em condições ideais, sofrem alguma perda de peso durante o armazenamento devido ao efeito combinado da respiração e da transpiração (SONG et al., 2002).

Há uma relação entre velocidade da respiração e a conservação de frutas e hortaliças; quando se observa um rápido consumo de oxigênio e elevada produção de gás carbônico indica que os frutos são muito perecíveis; os que possuem respiração mais lenta são mais fáceis de serem conservados por períodos mais longos de tempo (DE CAMARGO et al., 1984). Os produtos frescos são mais suscetíveis à deteriorações por causa do aumento na velocidade de respiração após a colheita. Assim, a vida de prateleira em condição ambiente é muito limitada (SANDHYA, 2010).

Condições adequadas de armazenamento são consideradas essenciais para o controle da respiração e manutenção das características de qualidade dos produtos perecíveis. Em condições não controladas, mudanças físicas e químicas podem levar rapidamente à senescência, e os tecidos tornam-se muito susceptíveis ao ataque de microrganismos e a perda de umidade. Estes fatores afetam a qualidade sensorial e limitam a aceitação do produto por parte do consumidor (LAVELLI et al., 2006).

O processo respiratório é um bom indicador das taxas metabólicas de vegetais, seu controle pode ser um efetivo meio de regular todo o metabolismo vegetal e estender a pós-colheita destes produtos (MATHOOKO, 1996). É possível aumentar consideravelmente a conservação e armazenagem de determinados frutos, colocando-os em

ambientes que retardam a respiração, como em sistemas refrigerados e atmosfera modificada (SANDHYA, 2010).

O uso de coberturas comestíveis também pode reduzir a taxa respiratória de vegetais. Segundo Hernandez-Muñoz et al. (2006), tem se dispensado grande atenção à aplicação de polímeros naturais, tais como proteínas e polissacarídeos, como coberturas de frutos e hortaliças, com o objetivo de reduzir as taxas de respiração e transpiração.

A taxa respiratória depende da temperatura e da composição da atmosfera que envolve o produto (RAGHAVAN et al., 1999; MAHAJAN e GOSWAMI, 2001). De acordo com Gürakan e Bayindirh (2005), a atmosfera modificada pode reduzir a taxa respiratória de frutas e hortaliças devido à diminuição da atividade de enzimas envolvidas na respiração, como consequência da utilização de baixas concentrações de O_2 e altas concentrações de CO_2 , fatores que reduzem o consumo de substratos de reserva. Assim, frutos armazenados sob refrigeração e em atmosfera modificada apresentam maior vida pós-colheita (PEPPELENBOS, 1996; BARBOSA et al., 2011a).

Segundo Kader (1986) a diminuição do teor de O_2 disponível para frutas e hortaliças reduz a taxa respiratória, que geralmente requer no mínimo de 1 a 3% de oxigênio para evitar a mudança de respiração aeróbica para anaeróbica. A tolerância a baixas concentrações de O_2 é variável com o produto e com o tempo de exposição. Entretanto, para todo tipo de produto existe um mínimo necessário para evitar transformação da respiração aeróbica em anaeróbica, levando à formação de acetaldeído, CO_2 e etanol. Os níveis de O_2 na atmosfera de embalagens são considerados críticos quando atingem valores da ordem de 2% para a maioria dos produtos hortícolas, mas tem sido demonstrado em pesquisas que determinadas cultivares de frutas suportam limites inferiores a 1%, sendo o nível teórico limite para início da respiração anaeróbica em torno de 0,5% (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Segundo Kader (1986), altas concentrações de CO_2 podem limitar o suprimento de energia necessário para sobrevivência dos tecidos.

A respiração aeróbica apresenta papel fundamental na manutenção da integridade e funcionamento celular, através do fornecimento de energia. Assim, se a energia fornecida pela respiração aeróbica não é suficiente para suprir a demanda energética, podem ocorrer problemas na conservação de produtos armazenados (SAQUET e STREIF, 2000). Desta forma, quando a respiração aeróbica é reduzida drasticamente, o tecido vegetal aumenta a respiração anaeróbica para

umentar o nível de energia disponível (PEPPELENBOS, 1996). Durante a fermentação, que ocorre em longos períodos de escassez de O_2 , pode ocorrer o acúmulo de etanol, acetaldeído e lactato (TAIZ e ZEIGER, 2004), os quais podem favorecer o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e a formação de sabor e aroma alcoólico (WATKINS et al., 1997), o que muitas vezes impossibilita a comercialização do produto.

Alvarado et al. (2004) avaliaram a taxa respiratória de *Physalis peruviana* L. sob baixa temperatura e observaram que os frutos armazenados sem cálice apresentaram um pico climatérico prematuro e, por sua vez, uma maturação antecipada quando comparado ao padrão respiratório dos frutos com cálice.

Ávila et al. (2006) avaliaram a taxa respiratória de frutos de *Physalis peruviana* L. armazenada a $18^\circ C$ por 20 dias e verificaram um aumento na respiração entre o 6º e 8º dia que coincidiu com uma elevação no conteúdo de açúcares na fruta.

Novoa et al. (2006) estudaram o comportamento da taxa respiratória de *Physalis peruviana* L. armazenadas com cálice a $12^\circ C$ por 30 dias e verificaram um aumento da taxa respiratória no 12º dia, que corresponde ao pico climatérico, seguido de uma redução da intensidade respiratória até o final do período de armazenamento.

1.2.1.1 Modelo de taxa respiratória

A taxa respiratória de *Physalis* foi definida pelo consumo de oxigênio e produção de gás carbônico no interior da embalagem. A expressão é dada pela diferença de concentração, massa do produto e volume livre da embalagem (TORRIERI et al., 2009). O modelo para determinar as taxas de respiração de vegetais em sistemas permeáveis, está descrito pelas Equações 1.1 e 1.2, conforme Torrieri et al. (2009) e Lee et al. (1996).

$$r_{O_2} = -\frac{V_L}{100W} \frac{d[O_2]}{dt} + \frac{S P_{O_2} (0,21 - [O_2]/100) p}{W L} \quad (\text{Eq.1.1})$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_L}{100W} \frac{d[CO_2]}{dt} + \frac{S P_{CO_2} ([CO_2]/100) p}{W L} \quad (\text{Eq.1.2})$$

Onde: r_{O_2} é a taxa respiratória em função do consumo de O_2 , expressa em $mL.kg^{-1}.h^{-1}$; r_{CO_2} é a taxa respiratória em função da produção de

CO_2 , expressa em $\text{mL.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$; $[\text{O}_2]$ e $[\text{CO}_2]$ são as concentrações de oxigênio e de dióxido de carbono, respectivamente, expressas em %; L é a espessura do filme (mm); S é a área da embalagem (m^2); p é a pressão atmosférica (atm); PO_2 e PCO_2 são a permeabilidade do filme para O_2 e CO_2 ($\text{mL.m}^{-2}.\text{h}^{-1}.\text{atm}^{-1}$), respectivamente; t o tempo (h); V_L o volume livre da embalagem (mL) e W a massa de produto acondicionado na embalagem (kg).

A função regressão é frequentemente usada para ajuste de dados de concentração de gás versus o tempo, e a taxa de respiração é determinada pela primeira derivada da função regressão (CAMERON et al., 1989; DASH et al., 2007). Essa função é de dois parâmetros não exponencial semelhante ao modelo Peleg (1988) para curvas de sorção de umidade, que é usada para ajustar a concentração de gás, a qualquer temperatura, dependente do tempo de armazenagem decorrido. Um modelo similar foi aplicado para dados de respiração de banana (BHANDE et al., 2008). Os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos utilizando-se as Equações 1.3 e 1.4

$$[\text{O}_2] = 0,21 - \frac{t}{(at + b)} \quad (\text{Eq.1.3})$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{t}{(at + b)} \quad (\text{Eq.1.4})$$

A primeira derivada da função regressão (Equação 1.5 e 1.6) foi usada para determinar a velocidade de variação da concentração do gás.

$$\frac{d\text{O}_2}{dt} = -\frac{b}{(at + b)^2} \quad (\text{Eq.1.5})$$

$$\frac{d\text{CO}_2}{dt} = \frac{b}{(at + b)^2} \quad (\text{Eq.1.6})$$

Segundo Fonseca et al. (2002) sistemas permeáveis podem ser utilizados para estimar a taxa respiratória de produtos frescos. De acordo com Lee et al. (1996) o sistema permeável é considerado um sistema dinâmico em que as concentrações de O_2 e CO_2 mudam com o tempo até atingir o estado estacionário (equilíbrio). Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas utilizando modelos para estimar a taxa respiratória

em função das concentrações de O₂ e CO₂ em sistemas permeáveis (BEAUDRY et al., 1992; CAMERON et al., 1994; LEE et al., 1996; PIERGIOVANNI et al., 1999; SONG et al., 2002; BARBOSA et al., 2011a).

1.2.2 Produção de etileno

O amadurecimento dos frutos é controlado por várias classes de hormônios vegetais, sendo que o etileno (C₂H₄) é o mais estudado devido à sua importância na maturação e senescência destes produtos (BEN-ARIE e FERGUSON, 1991).

Quanto ao comportamento pós-colheita, os frutos podem ser divididos em dois grupos, climatéricos e não climatéricos (KADER et al., 1989). Os frutos climatéricos apresentam um pico respiratório e produção de etileno durante o amadurecimento e não climatéricos são aqueles que não apresentam estas características (CARVALHO, 1994).

A produção de etileno, nos frutos climatéricos, está relacionada com o início do amadurecimento, pois ele controla o início da mudança na cor, no aroma, na textura, no sabor e em outros atributos de qualidade (AWAD, 1993). Sua síntese autocatalítica é fortemente estimulada por fatores exógenos, como infecções fúngicas e bacterianas, danos mecânicos, estresses hídrico, térmico e salino, e também por outros fitormônios (THEOLOGIS et al., 1992).

O efeito do etileno é de considerável interesse na pós-colheita de frutas, porque o acúmulo deste gás é um dos principais fatores endógenos que estimulam a atividade respiratória e, como consequência, pode antecipar o amadurecimento e a senescência de frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

A concentração de etileno nos espaços intercelulares aumenta de forma acentuada no climatério. Desta forma, durante o período que antecede o climatério, os frutos apresentam baixa produção de etileno. Durante a fase do climatério ocorre um súbito aumento na produção C₂H₄, fenômeno chamado de produção autocatalítica de etileno. Após esta etapa, na fase pós-climatério, a produção C₂H₄ diminui consideravelmente (LAROTONDA et al., 2008).

Gutierrez et al. (2008) analisaram a produção de etileno de *physalis* em quatro diferentes estádios de maturação e afirmaram que as frutas imaturas (verdes) apresentaram menor taxa de produção de etileno do que os frutos maduros (alaranjados).

Segundo Trinchero et al. (1999), a síntese de etileno em *physalis* pode ser classificada como extremamente elevada. Entretanto, a

produção de C_2H_4 pode depender da época de colheita. Segundo os autores, frutas colhidas no verão alcançaram níveis mais elevados de etileno do que frutas colhidas no outono. Esses resultados podem ser atribuídos às variações nas condições de temperatura ambiente durante o amadurecimento. A *physalis* exibe um padrão de maturação tipicamente climatérico, envolvendo elevada produção de etileno e aumento na taxa respiratória (PATEL et al., 2011).

Majumder e Mazumdar (2002) avaliaram a produção de CO_2 e etileno durante o desenvolvimento e amadurecimento de *physalis* e os autores verificaram que após o início da síntese de etileno, ocorre um aumento da taxa respiratória, seguido de um aumento na atividade da poligalacturonase, enzima que desempenha um papel na solubilização de substâncias pécticas levando ao amolecimento da estrutura da fruta.

1.2.3 Atributos químicos

1.2.3.1 Compostos voláteis

Durante o desenvolvimento dos frutos, muitas mudanças nos compostos aromáticos são causadas pelas suas sínteses, transporte ou degradação. Em frutos climatéricos o etileno possui um papel importante em combinação com outros hormônios e fatores de desenvolvimento, como modulador do amadurecimento (DEFILIPPI et al., 2009).

Frutos colhidos antecipadamente apresentaram baixa capacidade de produção de aroma que é superada quando a fruta se aproxima do estágio de maturidade comercial, sendo a emissão máxima de compostos aromáticos no pico climatérico (VILLATORI et al., 2008).

Mayorga et al. (2002) analisaram compostos presentes na *physalis* que poderiam liberar hidróxi-ésteres como mecanismo de geração de aroma. Os compostos isolados e identificados foram considerados como precursores do 3-hidroxiocetanoato de etila e 3-hidroxibutanoato de butila, que são importantes voláteis encontrados na fruta.

1.2.3.2 Ácidos orgânicos e pH

Os ácidos orgânicos estão extensamente distribuídos nas frutas e nos vegetais e sua concentração depende de fatores como espécie, solo e circunstâncias de estresse submetidas (SCHERER et al., 2008).

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), em alguns produtos os ácidos orgânicos não só contribuem para a acidez como também para o aroma característico, porque alguns são voláteis. Após a colheita e durante o armazenamento ocorre um decréscimo acentuado no teor de ácidos orgânicos na maioria dos frutos, uma vez que estão sendo largamente utilizados como substrato no processo respiratório. Embora uma grande variedade de ácidos orgânicos esteja presente nos tecidos vegetais, os mais abundantes são o ácido cítrico, málico e tartárico. Os níveis de acidez, em geral, não excedem 1,5% a 2,0% para frutas.

A quantificação específica de cada ácido orgânico pode ser realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), que tem sido a técnica mais empregada pela simplicidade, rapidez e estabilidade do método (SCHERER et al., 2008; BARCIA et al., 2010).

Restrepo et al. (2009) observaram um aumento nos valores de pH de 3,39 a 3,61 e uma redução da acidez titulável de 2,1% a 1,77% para *Physalis* armazenada a 4°C por 15 dias. Márquez et al. (2009) caracterizaram frutos do gênero *Physalis* e obtiveram valores de pH de aproximadamente 3,85 e valores de acidez total de 2,0%. Novoa et al. (2006) avaliaram o conteúdo de ácidos orgânicos de *Physalis* (grau de maturação 5) por cromatografia líquida de alta eficiência e obtiveram concentrações de 5,03 mg/100 g de fruto para ácido ascórbico, 970,15 mg/100 g para ácido cítrico, 67,61 mg/100 g para ácido málico, 0,96 mg/100 g para ácido oxálico e 26,04 mg/100 g para ácido tartárico, para o primeiro dia de armazenamento.

1.2.3.3 Carboidratos, açúcares e sólidos solúveis totais

Os carboidratos são os componentes mais abundantes nos tecidos vegetais, funcionando como material de reserva energética (amido) ou como material estrutural dos tecidos (pectina, celulose e hemicelulose). A celulose e as hemiceluloses são os principais componentes das paredes celulares, enquanto as pectinas fazem parte do material que mantém a coesão entre as células (lamela média). Com o avanço da maturação, há hidrólise e solubilização das pectinas, o que contribui de forma marcante para o amaciamento dos tecidos (GAVA, 1984).

Com a evolução da maturação, ocorre um aumento da concentração de açúcares simples devido à hidrólise do amido à glicose, o que aumenta o grau de doçura das frutas. Porém, posteriormente, ocorre um declínio da concentração de açúcares em função de sua utilização como fonte de energia. O grau de doçura das frutas é função

da proporção entre os teores de glicose, frutose e sacarose no produto (ORDÓÑEZ et al., 2005).

O teor de sólidos solúveis totais (SST) é utilizado como uma medida indireta do teor de açúcares, uma vez que aumenta de valor à medida que esses vão se acumulando na fruta. Porém, a sua quantificação não representa o teor exato dos açúcares, pois outras substâncias também se encontram dissolvidas no suco da fruta (vitaminas, fenólicos, pectinas e ácido orgânicos), no entanto, os açúcares representam de 85% a 90% dos sólidos solúveis (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Marín et al. (2009) observaram variação no teor de sólidos solúveis totais de *Physalis* de 13°Brix a 15°Brix. Patel et al. (2011) analisaram as características físico-químicas de frutos do gênero *Physalis* e encontram uma redução no teor de amido e um aumento no conteúdo de açúcares totais para a fruta ao longo do período de maturação. Restrepo et al. (2009) observaram um aumento nos valores de sólidos solúveis totais de 13,80 a 14,24 para *Physalis* armazenada a 4°C por 15 dias. Márquez et al. (2009) avaliaram as características físico-químicas de *Physalis* e encontraram valores de SST de aproximadamente 12°Brix. Novoa et al. (2006) avaliaram o conteúdo de açúcares de *Physalis* (grau de maturação 5) por cromatografia líquida de alta eficiência e obtiveram 1100 mg/100 g para sacarose, 941,43 mg/100 g para glicose e 767,70 mg/100 g para frutose, no primeiro dia de armazenamento.

1.2.3.4 Carotenoides

Os carotenoides são pigmentos responsáveis por tons de cores variando do amarelo ao laranja e vermelho (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). O β -caroteno é um carotenoide com alto valor nutricional, pois é precursor de vitamina A. Estes pigmentos são relativamente resistentes ao calor e a pH extremos, mas a presença de agentes oxidantes pode tornar as cores menos intensas e reduzir o valor nutritivo. Outra característica destes pigmentos é a sensibilidade ao oxigênio atmosférico em presença de luz visível (FURLONG, 2000).

A identificação dos carotenoides pode ser realizada por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (KUHNEN et al., 2011). Ramadan (2011) determinou os carotenoides dos frutos do gênero *Physalis* por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa e 22 compostos foram identificados. Trincherro et al. (1999) correlacionaram as alterações de cor na *Physalis* com a

redução do teor de clorofila e o acúmulo de carotenoides totais ao longo do período de maturação da fruta. Os autores observaram que o teor de carotenoides totais foi de aproximadamente 25 µg/g para frutos imaturos (verdes) e de 100 µg/g para maduros (alaranjados). Patel et al. (2011) analisaram as características físico-químicas de frutos do gênero *Physalis* e observaram um aumento no teor de carotenoides totais de 0,695 a 2,184 mg/100g da fruta ao longo do período de maturação.

1.2.4 Atributos físicos

1.2.4.1 Perda de massa fresca

A perda de água pode ser uma das principais causas de deterioração de vegetais, já que resultam em perdas quantitativas, perdas na aparência (murchamento), na textura (amolecimento) e na qualidade nutricional (KADER, 1986).

Segundo Barbosa (2007), a perda de massa fresca é um parâmetro fundamental a ser avaliado, pois quando excessiva pode resultar em perdas quantitativas e qualitativas, comprometendo a aparência do produto e levando à sua rejeição pelo consumidor.

O armazenamento de frutas e hortaliças deve ser realizado em condições de umidade relativa elevada que minimizem a perda d'água, que mantenham o turgor celular e que não causem condensação, o que aumenta o crescimento de microrganismos na superfície dos produtos, com redução da qualidade (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

A perda de massa pode ser determinada por pesagem do produto ao longo do armazenamento. Perdas de umidade de 3 a 5% tornam muitas vezes o produto impróprio para a comercialização, pois se inicia o processo de enrugamento ou murchamento, não aceitável pelo consumidor (KANG e LEE, 1998).

1.2.4.2 Cor

As cores dos tecidos vegetais são decorrentes da presença de pigmentos localizados nos plastos, vacúolos e líquidos citoplasmáticos das células localizadas apenas nas células epidérmicas (FURLONG, 2000).

A mudança de cor ocorre durante a maturação de muitos frutos, e compõe um dos critérios mais importantes utilizado pelo consumidor para julgar sua maturidade. A mudança mais comum consiste no

desaparecimento da cor verde, seguido do aparecimento de várias cores que variam do amarelo ao vermelho (AWAD, 1993).

Essas alterações na coloração do produto são frequentemente acompanhadas de mudanças indesejáveis na aparência e nas propriedades organolépticas do produto, ocasionando a diminuição da vida de prateleira e do valor de mercado (ARAÚJO, 1995).

Embora a visualização humana da cor ainda seja considerada adequada, quando ocorrem mudanças na iluminação, torna-se subjetiva e muitas vezes variável (LEÓN et al., 2006). Para a avaliação instrumental da cor utiliza-se normalmente um colorímetro triestímulo, o qual proporciona medições correlatas à percepção do olho humano (LANCASTER et al., 1997). O sistema CIELAB faz uso de três coordenadas para a identificação da cor: L^* indica o grau de luminosidade e varia entre 0 (preto) e 100 (branco); as coordenadas a^* e b^* não apresentam limites numéricos específicos, mas a coordenada a^* indica a variação do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), enquanto a coordenada b^* a variação do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$). O “C” ou croma, fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o “h” corresponde à tonalidade à cor vermelha (0°), à cor amarela (90°), à cor verde (180°) e à cor azul (360°) (KONICA MINOLTA, 1998).

Lima et al. (2009) avaliaram a cor da epiderme dos frutos de *physalis* em função da coloração do cálice no momento da colheita, utilizando um colorímetro (CR300, Minolta) e sistema CIELAB. Os autores obtiveram valor de L^* igual a 67, valor de a^* próximo de 8, b^* igual a 38,5 e h de aproximadamente 75° para fase de coloração de cálice amarelo-amarronzado.

Gutierrez et al. (2008), que avaliaram o ângulo *hue* de *physalis* armazenadas a 20°C por 8 dias utilizando um colorímetro (CR300, Minolta) e sistema CIELAB, mostraram uma redução nos valores de h de 95° para 80° com o decorrer do tempo.

O grau de maturação de *physalis* foi estabelecido de acordo com a coloração externa de epiderme da fruta segundo as Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC, 1999), conforme as especificações que seguem: cor 0 - fruto fisiologicamente desenvolvido de cor verde escuro; cor 1 - fruto verde um pouco mais claro; cor 2 - a cor verde se mantém envolta do cálice e no centro do fruto aparecem tonalidades alaranjadas; cor 3 - fruto de cor alaranjada claro com regiões verdes na zona do cálice; cor 4 - fruto de cor alaranjada clara; cor 5 - fruto de cor alaranjada; cor 6 - fruto de cor alaranjada intensa.

1.2.4.3 Textura

A textura pode ser definida como um grupo de características físicas que surge dos elementos estruturais dos alimentos e encontra-se entre os mais importantes atributos da qualidade de frutas e vegetais. A textura é percebida pelo sentido do tato e relacionada com a deformação, desintegração e fluxo do alimento submetido à determinada força, que podem ser medidas por funções de massa, tempo e distância (VU et al., 2004).

A aceitação de vegetais depende de inúmeros fatores, incluindo aparência, textura, sabor e valor nutricional. Vegetais que mantêm a firmeza e a turgidez são altamente desejáveis porque os consumidores associam esses atributos de textura ao frescor do vegetal *in natura* (NI et al., 2005).

As alterações de textura dos frutos estão associadas à perda da firmeza das estruturas celulares devido à atividade de enzimas (pectinases) que hidrolisam as pectinas presentes na lamela média (estrutura intercelular que se encontra entre as paredes de células adjacentes), provocando a dissolução das pectinas no suco da fruta (ARANGO et al., 2010; LANCHERO et al., 2007; FURLONG, 2000). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), as pectinas contribuem para a resistência mecânica da parede celular e para adesão entre as células, e qualquer modificação nas suas características resulta em alterações na textura dos frutos. O processo de solubilização das pectinas contribui para o amaciamento dos tecidos em decorrência da redução da força de coesão entre as células.

A turgescência, ou seja, a firmeza e a suculência das frutas também dependem da quantidade de água retida nas células por osmose, devido às altas concentrações intracelulares de substâncias solúveis e de baixa massa molecular presentes no citoplasma. No entanto, o inchamento osmótico é limitado pela resistência mecânica da parede celular. A permeabilidade e a textura se modificam durante a maturação e o armazenamento das estruturas vegetais (FURLONG, 2000). Conforme Velásquez e Saraz (2008), durante o processo de maturação as células perdem umidade devido à transpiração diminuindo a pressão de turgor e debilitando a estrutura e consistência da fruta.

De forma geral, a textura das frutas é ditada pela maciez e pela firmeza da polpa e a perda progressiva da firmeza ou seu amaciamento ocorre como consequência do amadurecimento, envolvendo diferentes mecanismos, tais como perda do turgor celular, redução no tamanho e

distribuição dos polímeros das paredes celulares, ação de enzimas hidrolíticas e outros mecanismos não enzimáticos (GAVA, 1984).

1.2.4.3.1 Medidas de textura em frutas

- *Força de perfuração*

A firmeza é a resistência de um material à deformação ou perfuração, onde cada material é caracterizado por uma deformação em resposta a diferentes níveis de força ou pressão (PUENTE et al., 2011; VELÁSQUEZ e SARAZ, 2008).

A firmeza serve como parâmetro para determinar a maturação de uma fruta, permitindo estabelecer os níveis ideais de consumo e transporte dos produtos. Além disso, é um bom indicador da vida útil e grau de amolecimento de frutas frescas (VELASQUEZ et al., 2007).

A diminuição da força de perfuração da epiderme de frutos do gênero *Physalis* está associada à perda da firmeza das estruturas celulares devido à atividade de enzimas (pectinases) que hidrolisam os compostos da parede celular do fruto (ARANGO et al., 2010).

- *Ensaio de compressão*

Durante um ensaio de compressão sobre um tecido vegetal, a célula é deformada na direção da aplicação da força, e, como o conteúdo celular é incompressível, a razão superfície da célula/volume aumenta, resultando em uma distensão da parede celular e um aumento da tensão celular. Esta tensão é mantida pela pressão de turgor, que também aumenta, provocando um fluxo de água até que o potencial hídrico interno e externo seja igual. A lamela média é deformada e, como consequência, a área de contato entre as células é modificada. A remoção da força aplicada não permite que a reorientação celular seja totalmente reversível (ALZAMORA et al., 2000).

Velasquez et al. (2007) avaliaram a força de compressão unidirecional de *Physalis peruviana* L. e observaram que resistência mecânica do fruto diminuiu com o tempo de pós-colheita, indicando que a fruta madura está mais suscetível ao dano mecânico.

As deformações utilizadas no teste de compressão são grandes e, portanto, fora da região viscoelástica linear para o tecido de frutas (ERRINGTON et al., 1997). A linearidade dos dados no início do teste de compressão denota o comportamento elástico da fruta (PUENTE et al., 2011). Sendo assim, para testes de relaxação mecânica é importante

aplicar forças de deformação pequenas para minimizar a ocorrência de alterações estruturais no material (CUNHA, 2002).

- *Ensaio de relaxação*

As propriedades viscoelásticas de alimentos sólidos têm sido frequentemente demonstradas por curvas de relaxação (PELEG, 1980). Em um teste de relaxação, a amostra é submetida a uma determinada deformação, que é mantida constante, enquanto a tensão requerida para manter esta deformação é medida em função do tempo. Os materiais viscoelásticos tendem a relaxar gradualmente, e se obtém uma tensão final, que depende da estrutura molecular do material que está sendo testado. Em sólidos viscoelásticos, a curva de relaxação mostra uma queda exponencial da tensão com o tempo, até um valor de equilíbrio, porém diferente de zero (PAES, 2005).

Peleg (1980) propôs um modelo empírico no qual as curvas de relaxação são normalizadas e linearizadas (Equação 1.7).

$$\frac{F(t)}{F_0} = 1 - \frac{c_1 t}{c_2 + t} \quad (\text{Eq. 1.7})$$

Onde: $F(t)$ é a força registrada em um tempo t , F_0 é a força inicial máxima, c_1 e c_2 são constantes do modelo. Os parâmetros $1-c_1$ e c_1/c_2 fornecem informações sobre as características viscoelásticas do sólido. O parâmetro $1-c_1$ é um indicativo do grau de solidez do material. O material é considerado um sólido elástico quando $1-c_1$ tende a 1, ou seja, a amostra não relaxa. Quando $1-c_1$ tende a zero, a amostra aproxima-se das características de um material viscoso (líquido). A razão c_1/c_2 é a derivada do modelo de Peleg (1980) no tempo igual a zero, representando a taxa inicial de decaimento da força (relaxação). Quando a mesma tende a zero, o material relaxa devagar (DIAS, 2008).

Materiais que apresentam uma predominância no comportamento viscoso, em detrimento de seu comportamento elástico, têm menores tempos de relaxação, isto é, dissipam mais rapidamente a tensão aplicada (PAES, 2005).

1.2.5 Crescimento microbiano

Alimentos seguros são considerados, sob o ponto de vista microbiológico, aqueles que não possuem condições favoráveis ao

crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos (CONSTABLE et al., 2007)

Uma grande variedade de microrganismos, notadamente fungos, bactérias e vírus atacam vegetais, promovendo perdas substanciais na fase pós-colheita. Em alguns casos, a inoculação ocorre ainda no campo, mas o desenvolvimento da doença só ocorre após a colheita (CRUZ et al., 2006).

Para os vegetais frescos em geral, a contaminação por microrganismos patogênicos pode ocorrer em diferentes fases, desde a sua produção até o consumo. Dentre os microrganismos encontrados em vegetais, podem ser destacados os bolores e leveduras, coliformes totais e psicotróficos (ALZAMORA et al., 2000). Os fungos, particularmente leveduras, fazem parte da microbiota natural de frutas, sendo detectados com frequência e, se presentes em grande quantidade, podem provocar alterações nos produtos embalados, como a fermentação, que altera as características sensoriais dos mesmos (BEUCHAT, 2002). Os microrganismos psicotróficos têm a temperatura ótima de crescimento entre 25°C e 35°C, mas podem multiplicar-se também a 5°C ou temperaturas inferiores (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Segundo a resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001), os padrões microbiológicos sanitários para frutas frescas, "in natura", preparadas (descascadas, selecionadas ou fracionadas), sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto, determinam uma tolerância para coliformes a 45°C de 5×10^2 UFC/g e ausência de *Salmonella* sp em 25g.

A incidência de podridões de origem microbiana em produtos vegetais pode ser controlada pelo abaixamento da temperatura, associado à utilização de atmosfera modificada. Além disso, é imprescindível considerar a aplicação de métodos de sanitização adequados para reduzir a contaminação microbiológica em frutas e hortaliças.

1.3 Métodos de sanitização

1.3.1 Hipoclorito de sódio

O agente químico mais utilizado mundialmente na desinfecção para a produção de água potável é o cloro. Este agente é empregado como desinfetante primário na maioria das estações de tratamento de água superficial ou subterrânea. (JACANGELO e TRUSSELL, 2001).

Os compostos clorados são utilizados como sanitizantes no processamento de alimentos por várias décadas, assim como na

desinfecção de produtos e superfícies nas empresas de processamento e na redução da população microbiana da água utilizada durante as operações de higienização e embalagem (PARISH et al., 2003).

Apesar da eficiência do cloro contra bactérias e alguns vírus, a toxicidade potencial dos subprodutos da cloração torna o processo cada vez menos atrativo. Os compostos clorados têm algumas desvantagens que limitam crescentemente seu uso, tanto no tratamento de água quanto na indústria de alimentos, pois a cloração pode conduzir à formação de compostos organoclorados, trihalometanos e ácidos haloacéticos, que são mutagênicos, tóxicos e carcinogênicos em água, em alimentos ou em superfícies de contato (LAZAROVA et al., 1999).

Ainda assim, em virtude de sua conveniência e baixo custo, os compostos clorados continuam sendo utilizados nas indústrias processadoras de alimentos, nos serviços de alimentação e a nível doméstico (PARISH et al., 2003).

A concentração de cloro na água para higienizar frutas e hortaliças frescas em escala comercial está na faixa de 50 mg.L⁻¹ a 200 mg.L⁻¹. Entretanto, a atividade do cloro depende de condições tais como carga inicial de microrganismos, pH da água, tipo de produto, presença de matéria orgânica e concentração da forma ativa (BASTOS, 2006).

1.3.2 Ozônio

O ozônio (O₃) é um gás relativamente instável, parcialmente solúvel em água e apresenta meia-vida que varia de 20 a 30 min em água destilada a 20°C (KHADRE et al., 2001; SILVA et al., 2011).

Na década de 90, os Estados Unidos reconheceram o ozônio como uma substância GRAS (General Recognized as Safe) para aplicação direta em produtos alimentícios. A partir deste momento, houve um crescente interesse na aplicação de ozônio no processamento de alimentos (GRAHAM, 1997).

O ozônio é um agente antimicrobiano eficiente que tem grande potencial de uso na indústria de alimentos e sua aplicação durante o processamento e/ou estocagem aumenta a vida de prateleira dos produtos (SILVA et al., 2011). A inativação de microrganismos pelo ozônio é menos efetiva quando aplicada diretamente sobre a superfície do alimento do que o ozônio em demanda líquida. A inativação da microbiota em alimentos por ozônio depende muito da natureza e da composição da superfície dos alimentos, do tipo de contaminação microbiana, bem como o grau de associação de microrganismos com alimentos (KIM et al., 1999).

Segundo Lazarova et al. (1999), investimentos no processo de desinfecção por ozônio podem ser vantajosos comparado ao uso de cloro em função da remoção de um número maior de microrganismos e a rápida decomposição do O_3 que não gera subprodutos formados pela cloração como, por exemplo, os trihalometanos.

Porém, o ozônio não pode ser considerado universalmente benéfico aos alimentos, pois em altas concentrações pode promover a degradação oxidativa, alterando o sabor e a coloração do produto alimentício (KIM et al., 1999). No Brasil, entretanto, o emprego de ozônio na indústria alimentícia ainda é limitado, não havendo até o momento uma legislação específica para seu uso em alimentos (CHIATTONE et al., 2008).

A produção comercial do ozônio é realizada pelo processo de descarga elétrica, também chamado de processo corona. Um gerador de ozônio que utiliza o processo corona é constituído por dois eletrodos submetidos a uma elevada diferença de potencial (aproximadamente 1000 V). O ozônio é gerado pela passagem de ar ou oxigênio puro entre os dois eletrodos. Quando os elétrons possuem energia suficiente para dissociar a molécula de oxigênio, começam a ocorrer colisões, que causam a dissociação do oxigênio e a consequente formação do ozônio. Desta forma, ocorre uma quebra da molécula de oxigênio diatômico e o oxigênio livre reage com outras moléculas de oxigênio para formar as moléculas de ozônio (USEPA, 1999).

O método colorimétrico do índigo, desenvolvido por Bader e Hoigné (1981) é o método padrão para medida da concentração de ozônio em experimentos. O método do índigo é mais sensível, preciso, rápido e seletivo que outros métodos geralmente utilizados para a determinação do ozônio residual (CHIATTONE et al., 2008; SILVA et al., 2011). Neste método, uma solução estoque de índigo é preparada usando ácido fosfórico e índigo trissulfonato de potássio. Ao reagir com o índigo, o ozônio provoca o descoloramento da solução. Medidas de absorbância das amostras com e sem ozônio são realizadas em espectrofotômetro a 600 nm para determinar a quantidade de ozônio residual presente na amostra (RAKNESS et al., 2010).

O tratamento de frutas e vegetais com ozônio aumenta a vida de prateleira desses produtos. Em uvas houve redução do apodrecimento fúngico com tratamento de ozônio e armazenamento a frio (KIM et al., 1999).

Prestes (2007) avaliou o uso do ozônio na higienização de alface americana e crespa, rúcula e agrião, com concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5 $mg.L^{-1}$ por 1 min em comparação ao cloro. Neste estudo,

verificou-se que as amostras tratadas com ozônio apresentaram uma população média de bolores e leveduras notadamente menor que as amostras tratadas com cloro.

Segundo Zhang et al. (2006), o tratamento com água ozonizada ($4,3 \mu\text{g.mL}^{-1}$ por 1 min) em morangos armazenados sob atmosfera modificada ativa (2,5% O_2 e 10% CO_2) à temperatura de 4°C prolongou a vida útil destes produtos por mais 8 dias quando comparado aos frutos armazenados somente sob atmosfera modificada ativa.

Estudos realizados por Amaral (2010), com melão minimamente processado, demonstraram que $1,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de água ozonizada por 1 min, reduziu a carga microbiana do melão minimamente processado armazenado a 5°C por 8 dias, sem comprometer a qualidade físico-química da fruta.

Além de não deixar resíduos no alimento, por se decompor rapidamente em oxigênio molecular atóxico, o ozônio usado em baixas concentrações em um curto espaço de tempo poderia ser suficiente para se obter eficiência semelhante ou melhor que o hipoclorito de sódio na redução da contaminação microbiológica em operações de sanitização (PRESTES, 2007).

1.4 Métodos de conservação

1.4.1 Atmosfera modificada

Atmosfera modificada é uma técnica utilizada para prolongar a vida de prateleira de alimentos frescos ou minimamente processados. Nesta técnica de preservação, o ar que envolve os alimentos na embalagem é alterado para uma outra composição, que prolonga o estado inicial fresco do produto (MCMILLIN, 2008; SANDHYA, 2010). O uso de atmosfera modificada diminui a taxa respiratória, reduz a produção e sensibilidade ao etileno e inibe as alterações fisiológicas em produtos frescos (MAHAJAN et al., 2007).

Alterações no balanço de gases, como por exemplo, diminuição da concentração de O_2 para valores inferiores a 8% e/ou aumento na concentração de CO_2 para valores superiores a 1%, podem diminuir a atividade respiratória e retardar o amadurecimento da fruta (FURLONG, 2000; SANDHYA, 2010). Na atmosfera modificada, a mistura de gases presentes inicialmente na embalagem sofre modificações em sua composição devido ao balanço entre o consumo de O_2 e a liberação de CO_2 , ambos decorrentes do processo respiratório dos frutos e da permeabilidade do filme polimérico a estes gases. Assim, a intensidade

de modificação da atmosfera depende da atividade respiratória do produto armazenado e da permeabilidade do filme polimérico (FONSECA, et al., 2002)

Apesar de ser utilizado com bons resultados para algumas frutas e hortaliças, o uso de atmosfera modificada restringe-se a um número limitado de frutos. A falta de informações sobre a taxa respiratória de frutos em condições de atmosfera modificada e sobre a permeabilidade de filmes constituem alguns dos fatores responsáveis pelo uso limitado desta técnica (KADER e WARTINS, 2000). Muitas vezes o produto é embalado em filmes de permeabilidade inadequadas resultando em desenvolvimento de reações de fermentação indesejáveis (JACXSENS et al., 2000).

Existem alguns fatores que afetam a atmosfera modificada de produtos frescos, entre eles a difusão de gases e a produção de etileno do produto. O movimento de gases (O_2 , CO_2 e C_2H_4) nos tecidos é realizado pela difusão das moléculas sob um gradiente de concentração. Diferentes produtos têm diferentes quantidades de espaços internos preenchidos por ar (batatas 1-2%, tomate 15-20%, maçãs 25-30%). Uma quantidade limitada destes espaços internos leva ao aumento da resistência à difusão de gases (SANDHYA, 2010) através do fruto. Chitarra e Chitarra (2005) afirmam que o uso de atmosfera modificada tem efeito positivo na redução da produção de etileno, notadamente em frutas embaladas antes do início do climatério. Segundo Escalona et al. (2006), a produção de etileno é reduzida pela metade com níveis de O_2 próximos de 2,5%. Esta baixa concentração de O_2 retarda o amadurecimento por inibir a produção e a ação do etileno.

A escolha da mistura gasosa é influenciada por fatores como a sensibilidade do produto ao O_2 e CO_2 e microbiota capaz de crescer no produto (CHURCH e PARSON, 1995). Os três principais gases usados em embalagem com atmosfera modificada são O_2 , CO_2 , e N_2 . Utilizados isoladamente ou em combinação, esses gases são comumente aplicados para reduzir as alterações fisiológicas durante o armazenamento (SANDHYA, 2010).

O oxigênio promove vários tipos de reações de deterioração em alimentos, incluindo a oxidação das gorduras, reações de escurecimento e oxidação de pigmentos. A maioria das bactérias e fungos necessita de oxigênio para o crescimento. Portanto, para aumentar a vida útil dos alimentos, a atmosfera da embalagem deve conter uma baixa concentração de oxigênio (SANDHYA, 2010). Entretanto, a falta de oxigênio pode desencadear o processo de respiração anaeróbica, com

desenvolvimento de odores e sabores estranhos no fruto (FURLONG, 2000).

O dióxido de carbono em sistemas de atmosfera modificada atua na redução do crescimento microbiano, pois provoca uma alteração da membrana celular do microrganismo, prejudicando absorção de nutrientes e inibindo reações enzimáticas (FARBER, 1991). O CO₂ também retarda os efeitos prejudiciais do etileno em frutas e hortaliças frescas, tais como a perda de firmeza e a incidência de desordens fisiológicas (KADER, 1986). No entanto, a alta solubilidade do CO₂ pode resultar em colapso da embalagem devido à redução do volume de *headspace* (SANDHYA, 2010).

O nitrogênio é um gás quimicamente inerte e por esse motivo é usado para substituir o O₂, retardando a rancidez oxidativa e inibindo o crescimento de microrganismos aeróbios em embalagens com atmosfera modificada. Devido à sua baixa solubilidade e menor permeabilidade através da embalagem em relação ao O₂ e CO₂, é usado como um gás de enchimento para prevenir o colapso da embalagem, que pode ser um problema em atmosferas contendo altas concentrações de CO₂ (CHURCH, 1994).

As desordens fisiológicas acarretadas pela composição da atmosfera são decorrentes das condições de armazenamento da fruta. As alterações por baixos teores de O₂ são caracterizadas pelo desenvolvimento de odores e sabores alcoólicos, devido ao metabolismo anaeróbico, em adição ao escurecimento dos tecidos. Níveis elevados de CO₂ podem causar efeito de toxicidade leve a grave nos tecidos vegetais, e numa combinação tempo-temperatura específica pode ocasionar amadurecimento irregular ou ausente (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

1.4.1.1 Embalagem

Considerando que frutas e hortaliças são produtos que respiram, é importante considerar a interação entre o material da embalagem com o produto. Se a permeabilidade (para O₂ e CO₂) do filme da embalagem é adaptada para a respiração do produto, uma atmosfera de equilíbrio irá se estabelecer na embalagem, aumentando a vida de prateleira do mesmo (SANDHYA, 2010).

As modificações da atmosfera no interior da embalagem evoluem de acordo com a taxa respiratória do tecido e com as características de difusão dos gases através da embalagem (JACOBSSON et al., 2004). Os avanços observados no

desenvolvimento de embalagens com diferentes graus de permeabilidade têm contribuído para aumentar o uso de atmosfera modificada para conservação de frutas e hortaliças (JUNQUEIRA e LUENGO, 1999).

Alguns trabalhos mostram a importância do uso de embalagens de diferentes polímeros para minimizar as taxas respiratórias de frutas e hortaliças (JACOBSSON et al., 2004; BARBOSA, 2007; LANCHERO et al., 2007). De acordo com Mahajan et al. (2007), uma embalagem inadequada pode reduzir a vida útil do produto e até mesmo induzir a anaerobiose, com possível crescimento de patógenos.

O controle da difusão de CO_2 e O_2 através da embalagem é essencial para manter a atmosfera dentro do produto, sem causar desenvolvimento de odores desagradáveis ou danos fisiológicos nas condições ideais de armazenamento. Um dos maiores desafios no uso de atmosfera modificada é o desenvolvimento de um sistema que possibilite a manutenção da atmosfera de equilíbrio, com boa relação entre a respiração do produto e a permeabilidade da embalagem (EXAMA et al., 1993). A maior parte dos filmes utilizados em atmosfera modificada apresenta permeabilidade ao CO_2 maior que ao O_2 , para que haja equilíbrio da concentração de CO_2 dentro da embalagem, uma vez que, em altas concentrações, este gás é tóxico aos produtos, causando danos fisiológicos (KADER et al., 1989).

A taxa de permeabilidade ao vapor d'água de embalagens para atmosfera modificada deve permitir que o produto seja mantido a um ambiente com elevada umidade, usualmente superior a 95%. Contudo, a embalagem deve ser selecionada de forma que a umidade relativa no seu interior seja elevada, mas com taxa de transmissão ao vapor d'água suficiente para evitar a condensação da água no interior da embalagem, o que pode afetar de forma negativa a qualidade do produto, criando um ambiente propício para o crescimento de fungos causadores de deterioração (KADER et al., 1989).

Numerosos tipos de polímeros podem ser utilizados na confecção de embalagens, estes podem ser simples ou coextrusados com outros polímeros, possibilitando a obtenção de materiais com diferentes propriedades de barreira e mecânicas (JUNQUEIRA e LUENGO, 1999).

O sucesso da aplicação da tecnologia de acondicionamento em embalagens com atmosfera modificada está associado à natureza e qualidade inicial do produto, especificidade da mistura gasosa em relação ao produto, controle de temperatura e propriedades de barreira da embalagem (OLIVEIRA, 2006).

Segundo Fagundes (2009), materiais de embalagem como polipropileno biorientado (BOPP) e polietileno de baixa densidade (PEBD) têm sido bastante utilizados como embalagem para frutas e hortaliças. Pilon (2003) encontrou bons resultados para as propriedades físico-químicas, análise microbiológica e sensorial de hortaliças minimamente processadas embaladas com filme multicamadas laminado do tipo BOPP/PEBD. Lancho et al. (2007) avaliaram o efeito de diferentes tipos de embalagens e misturas de gases para conservação de physalis sob atmosfera modificada associado ao uso de baixas temperaturas. Os autores observaram que a embalagem de poliolefina mostrou o melhor comportamento para preservação da qualidade da fruta e não encontraram diferenças significativas para as diferentes concentrações de gases testadas.

1.4.2 Temperatura

A temperatura é o fator externo que mais exerce influência sobre a atividade respiratória (FONSECA et al., 2002) e o seu controle é de vital importância para conservação de frutas, visto que o uso de baixas temperaturas reduz o crescimento microbiano e serve para controlar a atividade de enzimas em produtos vegetais (WILEY, 1997).

No armazenamento, deve-se utilizar a menor temperatura recomendável para cada produto visando um prolongamento da sua conservação, tendo em vista que a vida de prateleira de produtos vegetais pode ter um incremento de 15 % a 20 % para cada grau de redução na temperatura (LUENGO e CALBO, 2001). A combinação entre tempo de estocagem e temperatura tem se mostrado particularmente importante no prolongamento da vida de prateleira de frutas e hortaliças em termos de manutenção da textura, perda de peso, pH e outras alterações nutricionais (PHILLIPS, 1996).

Segundo Wiley (1997) a maioria dos processos metabólicos, tais como taxa respiratória e reações de maturação são sensíveis à temperatura. Muitas das frutas e hortaliças amplamente consumidas pela população perdem suas características físico-químicas e sensoriais em poucos dias após a colheita, sobretudo quando mantidas em condições ambientais. Isso é devido à ocorrência de altas taxas de transpiração, resultando em prejuízo na aparência, como perda de brilho, murchamento e enrugamento da casca, além de alteração na textura (BARBOSA, 2007).

Embora as embalagens de frutas e hortaliças sob atmosfera modificada possam aumentar a vida útil destes produtos, elas não

conseguem superar os efeitos negativos causados pelo aumento da temperatura. O aumento na temperatura durante o transporte, manuseio, armazenamento e venda de produtos embalados sob atmosfera modificada pode causar uma diminuição dos níveis de O₂ na atmosfera interna das embalagens devido à tendência da respiração aumentar mais do que a permeabilidade a gases do filme polimérico (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Segundo Kader et al. (1989), a permeabilidade das embalagens pode aumentar de 2 a 5 vezes para cada 10°C de aumento na temperatura.

Em termos gerais, a efetividade da atmosfera modificada decresce com a elevação da temperatura de estocagem (OLIVEIRA, 2006). Sendo assim, para prolongar a vida de prateleira de frutas e hortaliças, o armazenamento deve ser realizado sob baixa temperatura associado com atmosfera modificada em embalagens apropriadas. O controle da temperatura é uma das técnicas mais úteis para preservação de frutas, uma vez que reações metabólicas são reduzidas de duas a três vezes a cada redução de 10°C (CARNELOSSI et al., 2005).

Desta forma, temperatura é um parâmetro muito importante e deve ser controlada para garantir a eficiência da atmosfera modificada.

1.4.3 Coberturas comestíveis

A velocidade de deterioração de frutas frescas é geralmente proporcional à velocidade com que ocorre a respiração do produto, além disso, frutas e vegetais perdem água devido a transpiração, o que provoca grandes perdas de massa por desidratação (PÉREZ-GAGO et al., 2008). Para assegurar a estabilidade, qualidade nutricional e sensorial de frutas e vegetais é necessário controlar os fatores que podem influenciar direta ou indiretamente sobre a qualidade desses produtos (ROJAS-GRAÜ, 2006).

O uso de coberturas comestíveis pode reduzir a perda de umidade, evitar danos físicos, melhorar a aparência e incorporar ingredientes alimentares, incluindo agentes anti-escurecimento, corantes, saborizantes, nutrientes, especiarias e compostos antimicrobianos (MARTÍN-BELLOSO et al., 2005). Frutas e hortaliças frescas requerem coberturas que possam diminuir a perda de água (BALDWIN et al., 1995) e que permitam a transferência moderada de gases para reduzir (mas não inibir) a respiração, evitando processos fermentativos resultantes de anaerobiose (DEBEAUFORT e VOILLEY, 1994). As coberturas comestíveis em frutas devem ser transparentes,

terem aderência para não serem facilmente removidas no manuseio e não introduzirem alterações no sabor (ASSIS e LEONI, 2003).

Segundo Diab et al. (2001), existem alguns requerimentos necessários às coberturas para que possam ser aplicadas em alimentos, como possuir características sensoriais aceitáveis, ter propriedades de barreira, mecânicas e de adesão adequadas. Além de apresentar estabilidade microbiológica e físico-química, ser segura para saúde, não contendo componentes tóxicos e serem produzidas a partir de materiais renováveis e de baixo custo.

As coberturas podem ser obtidas de diferentes tipos de materiais, sendo mais utilizados os polissacarídeos, as proteínas e os lipídios. Entre os polissacarídeos derivados de celulose usados na produção de coberturas, a hidroxipropil metilcelulose (HPMC) apresenta boas propriedades de formação de filmes e boa barreira aos gases, porém, sendo hidrofílicos, não proporcionam boa barreira à umidade (KESTER e FENNEMA, 1986). Os lipídios, devido sua natureza hidrofóbica, são usados em coberturas comestíveis para proporcionar barreira à umidade. Além disso, são utilizados para conferir brilho a superfícies de alguns alimentos (GREENER e FENNEMA, 1994). No entanto, os lipídios se caracterizam por formar filmes com propriedades mecânicas muito inferiores aos filmes obtidos de outros materiais (RHIM e SHELLHAMMER, 2005). Devido às vantagens e limitações de cada categoria de componentes dos filmes e coberturas, alguns trabalhos têm envolvido o uso de combinações desses materiais para melhorar as propriedades das coberturas (CHEN e NUSSINOVITCH, 2001).

Além destes, outros compostos, tais como plastificantes e emulsificantes podem ser adicionados aos filmes e coberturas comestíveis para melhorar as suas propriedades mecânicas e para formar emulsões estáveis quando são utilizados lipídios e polissacarídeos na mesma formulação (BALDWIN, 1999). Os plastificantes atuam promovendo um enfraquecimento das forças intermoleculares entre as cadeias do polímero, permitindo que as mesmas aumentem sua mobilidade. Os plastificantes mais utilizados para a elaboração de filmes são os polióis (glicerol e sorbitol) (TANG et al., 2008). Apesar dos plastificantes tornarem os filmes menos quebradiços, sua adição modifica as propriedades mecânicas e aumenta a permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio (MALI et al., 2004). Os emulsificantes são agentes tensoativos de natureza anfifílica, que interagem na interface água-lipídio e reduzem a tensão superficial entre as fases dispersa e contínua para melhorar a estabilidade da emulsão (HAN e

GENNADIOS, 2005). Eles também são usados para assegurar uma boa molhabilidade da superfície, espalhamento e aderência da cobertura à superfície do produto. Os emulsificantes mais comuns usados em filmes e coberturas são os ácidos graxos, lecitina, ésteres de sacarose e polissorbatos (Tweens).

Vários trabalhos na literatura mostram que as coberturas comestíveis à base de hidroxipropil metilcelulose (HPMC) e lipídios, como cera de abelha, cera de carnaúba ou resina preservaram a qualidade pós-colheita de frutos, reduzindo a perda de peso e mantendo a firmeza e qualidade sensorial dos produtos revestidos (PEREZ-GAGO et al., 2002; PEREZ-GAGO et al., 2003; PEREZ-GAGO et al., 2005; NAVARRO-TARAZAGA et al., 2007; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2009; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2010).

Segundo Rojas-Graü et al. (2007) e Debeaufort et al. (1998) a funcionalidade de coberturas comestíveis pode ser ampliada pela adição de antimicrobianos, pois estes podem proteger os produtos alimentares de deterioração microbiana e estender sua vida útil. Valencia-Chamorro et al. (2011) avaliaram o efeito de coberturas comestíveis a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e compostos antifúngicos (sorbato de potássio, benzoato de sódio e propionato de sódio) na conservação de frutos cítricos e observaram a redução no crescimento de *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum* nos frutos avaliados.

1.4.3.1 HPMC

Os polímeros derivados da celulose têm sido amplamente estudados, visto que derivam de matéria-prima renovável e são normalmente solúveis em água ao contrário da celulose que na sua forma nativa apresenta fraca solubilidade em água. A solubilidade dos derivados da celulose se deve a substituição de uma fração de grupos OH por grupos hidrofóbicos, tais como metil ou hidroxipropil (LI et al., 2001).

De acordo com a posição dos substituintes, os derivados da celulose podem ser divididos em dois grupos principais: ésteres ou éteres de celulose. A hidroxipropil metilcelulose (HPMC) é um éter de celulose sintetizada pela reação entre a celulose alcalina (celulose previamente tratada com uma solução de hidróxido de sódio) e uma mistura de cloreto de metileno e óxido de propileno (PINTO, 2007).

A HPMC é um dos derivados da celulose mais utilizados industrialmente, uma vez que apresenta uma boa estabilidade, não apresenta cheiro nem sabor e é um ótimo regulador da viscosidade em

diversos sistemas (PINTO, 2007). Clasen e Kulicke (2001) afirmam que a viscosidade de soluções de HPMC é alterada pelo grau de substituição e pela massa molecular do polímero.

1.4.3.2 Avaliação das propriedades das coberturas comestíveis

1.4.3.2.1 Permeabilidade ao vapor de água

Os filmes, além de proteger o produto da ação de gases e vapor de água, devem também constituir uma barreira que impeça ou dificulte o contato entre o ambiente externo e o produto em seu interior (SARANTÓPOULOS et al., 2002). A permeabilidade ao vapor de água é influenciada pelas características intrínsecas do material, pelo teor do plastificante e pelas condições ambientais de umidade relativa e temperatura às quais se encontram expostos (MÜLLER et al., 2008). A permeabilidade, contudo, diminui gradativamente com a espessura (SARANTÓPOULOS et al., 2002). O conhecimento da permeabilidade ao vapor de água é importante para definir materiais apropriados para elaboração de coberturas comestíveis para frutas, que possam reduzir a perda de umidade destes produtos para o ambiente.

1.4.3.2.2 Transparência

A opacidade pode ser considerada um importante parâmetro da caracterização dos filmes, pois está associada com a matéria-prima utilizada na elaboração dos mesmos (VICENTINI, 2003). Segundo Fakhouri et al. (2007), fatores como a concentração de lipídios na formulação pode influenciar o grau de opacidade dos biofilmes. A transparência, geralmente é um critério auxiliar para julgar a miscibilidade de dois ou mais componentes que estão misturados na blenda polimérica (LI et al., 2006). Em estudo realizado por Rotta et al. (2009), os filmes de HPMC puros resultaram em materiais mais transparentes e brilhantes do que os filmes com adição de quitosana. O autor atribuiu a maior transparência à ausência de interações entre polímeros nos filmes elaborados apenas com HPMC.

1.4.3.2.3 Espessura

Entende-se por espessura a distância perpendicular entre duas superfícies principais de um material, sendo este um parâmetro utilizado como referência na área de embalagens plásticas. Por meio da

determinação da espessura de um material, e de sua natureza química, podem-se obter informações sobre suas propriedades mecânicas e de barreira a gases e ao vapor d'água, bem como estimar a vida útil do produto por ela embalado (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

1.4.3.2.4 Propriedades térmicas

Calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica que mede as temperaturas e o fluxo de calor associado com as transições dos materiais em função da temperatura e do tempo. Essas medidas informam, qualitativamente e quantitativamente sobre mudanças físicas e químicas que envolvem processos endotérmicos (absorção de calor), exotérmicos (liberação de calor) ou mudanças na capacidade calorífica (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

Os principais dados fornecidos pela técnica de DSC são as temperaturas de fusão (T_f) e de cristalização (T_c) e o calor de fusão (ΔH_f), o qual está relacionado com a cristalinidade da amostra (LUCAS et al., 2001).

Esta análise térmica também possibilita determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) de um material (ROTTA, 2008). A temperatura de transição vítrea afeta a permeabilidade dos filmes devido a sua influência sobre a mobilidade das moléculas. No estado vítreo (abaixo da T_g), a passagem do permeante é restrita devido à rigidez do sistema e a menor distância efetiva entre as moléculas, já no estado gomoso (acima da T_g), o aumento do volume livre e a maior mobilidade dos polímeros facilitam a passagem do permeante (VICENTINI, 2003).

A compatibilidade dos componentes é de grande importância para a característica dos filmes, pois pode afetar de maneira drástica as propriedades dos filmes obtidos (MENDIETA-TABOADA et al., 2008). Termogramas indicaram miscibilidade parcial de amido e CMC na fase amorfa ao nível molecular para as composições analisadas e ambos biopolímeros permaneceram homogêneos ao longo do ciclo de aquecimento, porque a separação de fase (diferentes temperaturas de transição vítrea ou picos de fusão) entre os dois biopolímeros utilizados na elaboração dos filmes não foi observado. Se o polímero e o plastificante ou a mistura de dois polímeros são imiscíveis, a mistura irá apresentar duas temperaturas de transição vítrea (T_g), correspondentes às duas fases puras (GHANBARZADEH et al., 2010).

1.4.3.2.5 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) possibilita a visualização de possíveis imperfeições, porosidades, separação dos componentes dos filmes em camadas, estrutura da superfície e visão da estrutura da seção transversal dos filmes (CHINAGLIA e CORREA, 1997).

Silva et al. (2007) avaliou micrografias de filmes de amido de milho em diferentes concentrações e observou que os filmes apresentaram uma matriz contínua, variando o relevo da superfície de acordo com a concentração de amido utilizada. No entanto, para os filmes elaborados com a maior concentração de amido (3%), houve o aparecimento de trincas e rachaduras, o que pode ser atribuído a um maior grau de cristalização da matriz amilácea, ocasionada durante a secagem do material e ainda relacionada à temperatura de elaboração dos géis que foi de 70°C e que provavelmente não foi suficiente para a gelatinização completa dos grânulos de amido de milho, já que a temperatura para completa gelatinização deste tipo de amido é superior a 70°C.

1.4.3.2.6 Ângulo de contato e energia livre superficial

Ângulos de contato aparecem em situações nas quais três fases (sólida, líquida e gasosa) se encontram. O ângulo de contato é o ângulo pelo qual a interface líquido-vapor incide na fase sólida. Este ângulo é único para cada sistema, pois depende da interação entre as três interfaces (ADAMSON e GAST, 1997). Geralmente este fenômeno é ilustrado por uma gota líquida repousada numa superfície sólida plana (Figura 1.2).

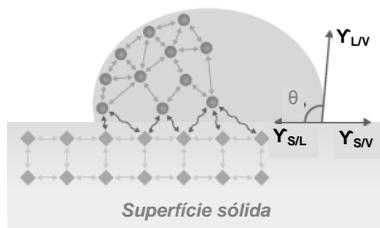


Figura 1.2: Equilíbrio de forças entre as fases sólido/líquido/vapor.

Fonte: Attension (2011)

Em 1805, Thomas Young, em um estudo com base em conceitos da termodinâmica e equilíbrio de forças, obteve uma equação que associa parâmetros relevantes no efeito de interação sólido-líquido-vapor (BURKARTER, 2006). A equação de Young (Equação 1.8) prevê valores de energia livre superficial e interfacial em função do ângulo de contato que o líquido faz com a superfície sólida.

$$\gamma_L \cos\theta = \gamma_S - \gamma_{SL} \quad (\text{Eq. 1.8})$$

Onde: γ é a energia livre superficial (L: líquido, S: superfície), θ : ângulo de contato formado entre líquido e a superfície sólida.

O primeiro estudo com modelos matemáticos de interface foi realizado por Berthelot propondo que a energia livre interfacial entre duas superfícies (i e j) é expressa em termos da média geométrica (Equação 1.9) (ROTTA, 2008).

$$\gamma_{ij} = \gamma_i + \gamma_j - 2\sqrt{\gamma_i \gamma_j} \quad (\text{Eq. 1.9})$$

Fowkes (1962) sugere que a energia livre superficial é uma soma das componentes resultantes das diferentes interações moleculares. Segundo Fowkes, os materiais possuem uma parcela de energia livre superficial oriunda de interações dispersivas (d) (forças de London) e outra parcela de interações não dispersivas (h) (forças de Debye e Keesom). Com isso, a energia livre superficial total (T) torna-se a soma destas componentes (Equação 1.10). Outra afirmação de Fowkes era que a interação entre duas superfícies devia-se somente a forças dispersivas, sendo mensurada a partir da média geométrica (Equação 1.11). O modelo de Fowkes é válido somente para superfícies apolares.

$$\gamma_i^T = \gamma_i^d + \gamma_i^h \quad (\text{Eq. 1.10})$$

$$\gamma_{i/j} = \gamma_i + \gamma_j - 2\sqrt{\gamma_i^d \gamma_j^d} \quad (\text{Eq. 1.11})$$

Onde: γ^T é a energia livre superficial total; γ^d , a energia livre superficial dispersiva (apolar); γ^h , a energia livre superficial não dispersiva polar.

Owens e Wendt (1969) estenderam a relação de Fowkes adicionando as ligações de hidrogênio no mesmo grupo das ligações de Keesom e Debye, renomeando a componente não dispersiva para componente polar (p) (Equação 1.12). Eles assumiram que a interação entre duas superfícies ocorre somente entre forças de mesma natureza e também é influenciada pela componente polar (Equação 1.13). O modelo de Owens-Wendt (OW) é considerado universal.

$$\gamma_i^T = \gamma_i^d + \gamma_i^p \quad (\text{Eq. 1.12})$$

$$\gamma_{i/j} = \gamma_i + \gamma_j - 2(\sqrt{\gamma_i^d \gamma_j^d} + \sqrt{\gamma_i^p \gamma_j^p}) \quad (\text{Eq. 1.13})$$

Onde: γ^p é a energia livre superficial não dispersiva polar.

1.4.3.2.7 Trabalho de adesão

O termo adesão pode ser definido como a atração de um material pelo outro (ROTTA, 2008). Isto indica que quanto maior for o trabalho de adesão (W) mais estável será o sistema, ou seja, quanto maior W, maior a dificuldade de “romper” a adesão entre as superfícies. O trabalho de adesão (W) entre líquido e sólido para o modelo de Owens e Wendt (1969) está apresentado na Equação 1.14.

$$W_{S/L} = 2(\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} + \sqrt{\gamma_S^p \gamma_L^p}) \quad (\text{Eq. 1.14})$$

1.4.3.2.8 Molhabilidade

O termo molhabilidade (*wettability*) é definido como a manifestação macroscópica da interação molecular entre sólidos e líquidos em contato direto na interface entre eles (BERG, 1993). A ideia de molhabilidade está associada à interação de um líquido com uma superfície sólida. Tal interação pode levar ao espalhamento do líquido sobre a superfície, a penetração do líquido nos poros do meio ou ainda o seu escoamento sobre essa superfície sob a forma de gotas (JOHNSON e DETTRE, 1993).

A chave para entender molhabilidade está no reconhecimento existente entre as forças coesivas do líquido e as forças adesivas entre o sólido e o líquido. As forças coesivas do líquido tendem a formar uma

gota esférica, já as forças adesivas entre o sólido e o líquido tendem a espalhar o líquido sobre o sólido. O ângulo de contato é determinado pela competição entre estas duas forças (BERG, 1993).

Um parâmetro bastante utilizado na molhabilidade é o espalhamento (S). Ele mensura a diferença entre o trabalho de adesão entre o líquido e o sólido e a energia de coesão do líquido (Equação 1.15). Quando o S for positivo, o trabalho de adesão supera o trabalho de coesão e o líquido espalha-se completamente sobre o sólido, ou seja, um molhamento total. No caso de S negativo, a condição é de espalhamento parcial (ROTTA, 2008).

$$S = \gamma_{L/A} (\cos\theta - 1) \quad (\text{Eq. 1.15})$$

Uma forma de visualizar a molhabilidade é através da análise da interação da água com superfícies sólidas, nesta análise os conceitos de hidrofobicidade e hidrofiliidade podem ser utilizados. Quando a água (polar) apresenta com outra superfície um ângulo de contato menor que 90° , esta superfície é considerada hidrofílica, ou seja, possui uma boa interação com a água. Porém, se este ângulo de contato for maior que 90° , o material é considerado hidrofóbico, ou seja, tem baixa afinidade pela água, conforme demonstrado na Figura 1.3 (ROTTA, 2008).

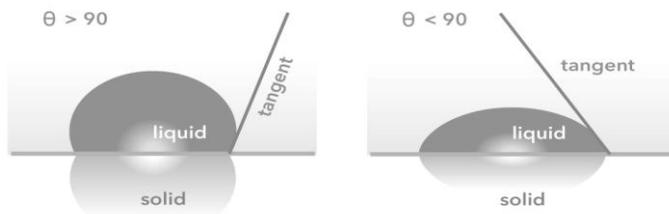


Figura 1.3: Ângulo de contato.

Fonte: Attension (2011)

CAPÍTULO 2:
USO DE OZÔNIO NA SANITIZAÇÃO DE PHYSALIS
(Physalis peruviana L.)

2.1 INTRODUÇÃO

A flora microbiana de frutas consiste, principalmente, de microrganismos comumente encontrados no solo, porém o potencial de contaminação por patógenos também é elevado, uma vez que esses produtos ficam expostos a uma variedade de condições durante as fases de desenvolvimento, colheita, armazenamento e comercialização. Dentre os microrganismos encontrados em frutas e hortaliças, podem ser destacados os bolores e leveduras, coliformes totais e psicrotróficos (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

O gênero *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) pertence à família Solanaceae (LIMA et al., 2009) e se desenvolve em áreas tropicais da África, Ásia e América, incluindo a Amazônia (HSEU et al., 2011). Os frutos são arredondados e possuem coloração alaranjada, são delicados e altamente perecíveis, estando susceptível à injúrias mecânicas, deterioração fisiológica e doenças causadas por fungos. Conforme Chitarra e Chitarra (2005), o crescimento de fungos pode ser controlado pelo abaixamento da temperatura, contudo, os seus esporos não são eliminados, já que a aplicação do frio é usada como um tratamento fungistático e não fungicida. Assim, é imprescindível considerar a aplicação de técnicas adequadas de higienização e sanitização para prevenir a deterioração durante o armazenamento e transporte de *physalis*.

O ozônio (O₃) é um gás relativamente instável, parcialmente solúvel em água e apresenta meia-vida que varia de 20 a 30 min em água destilada a 20°C (KHADRE et al., 2001). Na década de 90, os Estados Unidos reconheceram o ozônio como uma substância GRAS (General Recognized as Safe) para aplicação direta em produtos alimentícios. A partir disso, houve um crescente interesse na aplicação de ozônio no processamento de alimentos (GRAHAM, 1997).

O ozônio é um agente antimicrobiano eficiente que tem grande potencial de uso na indústria de alimentos e sua aplicação durante o processamento e/ou estocagem aumenta a vida de prateleira dos produtos (SILVA et al., 2011). A inativação de microrganismos pelo ozônio é menos efetiva quando aplicada diretamente sobre a superfície do alimento do que o ozônio em meio líquido. A inativação da microbiota em alimentos por ação do ozônio depende muito da natureza e da composição da superfície dos alimentos, do tipo de contaminação microbiana, bem como o grau de associação dos microrganismos com os alimentos (KIM et al., 1999). Pérez et al. (1999) afirmam que alguns resultados contraditórios reportados sobre os efeitos do ozônio sugerem

que a eficácia deste gás deve ser avaliada individualmente para cada tipo de produto.

Segundo Lazarova et al. (1999), investimentos no processo de desinfecção por ozônio podem ser vantajosos comparado ao uso de cloro em função da remoção de um número maior de microrganismos e a rápida decomposição do O_3 que não gera subprodutos formados pela cloração como, por exemplo, os trihalometanos. Porém, o ozônio não pode ser considerado universalmente benéfico aos alimentos, pois em altas concentrações, pode promover a degradação oxidativa, alterando o sabor e a coloração do produto alimentício (KIM et al., 1999). No Brasil, entretanto, o emprego de ozônio na indústria alimentícia ainda é limitado, não havendo até o momento uma legislação específica para seu uso em alimentos (CHIATTONI et al., 2008).

Os compostos clorados têm sido utilizados como sanitizantes no processamento de alimentos por várias décadas, assim como na desinfecção de produtos e superfícies nas empresas de processamento e na redução da população microbiana da água utilizada durante as operações de higienização e embalagem (PARISH et al., 2003). Fantuzzi et al. (2004) observou redução de até 1,8 ciclos logarítmicos na população de microrganismos aeróbios mesófilos em repolho minimamente processado após a sanitização com solução de hipoclorito de sódio a 200 mg.L^{-1} por 10 minutos e estocagem sob refrigeração a 1°C e 5°C e sob abuso de temperatura (12°C). Apesar da eficiência do cloro contra bactérias e alguns vírus, a toxicidade potencial dos subprodutos da cloração torna o processo cada vez menos atrativo. Os compostos clorados têm algumas desvantagens que limitam seu uso, tanto no tratamento de água quanto na indústria de alimentos, pois a cloração pode conduzir à formação de compostos organoclorados, trihalometanos e ácidos haloacéticos, que são mutagênicos, tóxicos e carcinogênicos em água, em alimentos ou em superfícies de contato (LAZAROVA et al., 1999). Ainda assim, em virtude de sua conveniência e baixo custo, os compostos clorados continuam sendo utilizados nas indústrias processadoras de alimentos e nos serviços de alimentação (PARISH et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de ozônio e cloro aplicados na higienização de physalis sobre as características microbiológicas e parâmetros de cor da fruta.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Matéria-prima

As physalis utilizadas nos experimentos foram cultivadas e colhidas na Fazenda Coxilha Rica localizada no município de Lages, SC. Após a colheita as frutas foram acondicionadas em ambiente refrigerado até o transporte para o laboratório. As amostras foram armazenadas a 7°C e 80% de umidade relativa por 24 horas até a realização das análises. As physalis foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 e 5 (ICONTEC, 1999).

2.2.2 Quantificação de ozônio em água

Para aplicação do ozônio como sanitizante, inicialmente foi realizada a quantificação deste gás diluído em água destilada. Como o gerador de ozônio produz O₃ gasoso, foram realizados alguns testes no equipamento para que fosse possível obter as concentrações desejadas de O₃ em água. Regulou-se a vazão de entrada de oxigênio no gerador e a taxa de produção de ozônio gasoso pelo equipamento de maneira que quando diluído em água atingisse as concentrações requeridas para a higienização de frutas em água ozonizada.

A quantificação deste gás diluído em água foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Rakness et al. (2010). Neste método, uma solução estoque de índigo é preparada usando ácido fosfórico e índigo trissulfonato de potássio. Ao reagir com o índigo, o ozônio provoca o descoramento da solução. Foram preparadas duas soluções estoque de triossulfonato índigo de potássio, solução estoque primária (RI) e solução estoque secundária (RII). A solução primária foi obtida a partir da mistura de 1 L de água e 770 mg de triossulfonato índigo de potássio ($1,248 \times 10^{-3}$ M). A solução estoque secundária foi obtida pela diluição 1:10 da solução RI ($1,248 \times 10^{-4}$ M). A amostra de água ozonizada (90 mL) foi adicionada a 10 mL da solução RII para posterior leitura em espectrofotômetro (800XI, Femto) a 600 nm. A absorbância da amostra foi comparada com o “branco”, que foi preparado a partir da diluição de 10 mL de solução RII e 90 mL de água destilada ($1,248 \times 10^{-5}$ M) e a leitura do branco foi realizada a 600 nm. A Equação 2.1 foi utilizada para o cálculo do ozônio em água.

$$\text{mg/L} = \frac{100 \times \Delta \text{Abs}}{f \times V \times b} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Onde: Δ Abs é diferença entre a absorbância da amostra e absorbância do branco a 600nm; b é o tamanho da célula do espectrofotômetro (cm); V é o volume da amostra (mL); f é a constante de proporcionalidade (0,42 L.mg⁻¹.cm⁻¹). O valor da constante de proporcionalidade (f) foi determinado no trabalho original de Bader e Hoigné (1981).

2.2.3 Sanitização dos produtos

As physalis descascadas (6 kg) foram divididas em três lotes para lavagem com água destilada (controle), sanitização em ozônio e cloro, separadamente. O maior lote de physalis, com 4,2 kg, foi tratado com água ozonizada em diferentes concentrações e tempos de contato com ozônio, conforme planejamento fatorial 2² com três repetições no ponto central (Tabela 2.1). As variáveis independentes foram: concentração de ozônio (µg.mL⁻¹) e tempo de contato do produto com água ozonizada (min). Os experimentos com ozônio foram comparados às amostras tratadas com água clorada (100 µg.mL⁻¹ por 15 min), conforme estabelecido pela resolução RDC n° 216 (BRASIL, 2004), e imersão em água destilada por 15 min (controle). Todos os tratamentos foram realizados na proporção 1:2 (massa de fruta: volume de água), em triplicata. Sendo que cada tratamento foi realizado em uma amostra de 200 g de fruta. Após a higienização, as amostras dos diferentes tratamentos foram centrifugadas utilizando uma centrifuga manual higienizada, durante 1 min para retirada do excesso de água.

Tabela 2.1: Matriz do planejamento fatorial 2² para o processo de sanitização com ozônio.

Ensaio*	Valores codificados		Valores reais	
	X ₁	X ₂	Concentração (µg.mL ⁻¹)	Tempo de contato (min)
1	-1	-1	0,5	1
2	+1	-1	1,5	1
3	-1	+1	0,5	10
4	+1	+1	1,5	10
5	0	0	1,0	5,5
6	0	0	1,0	5,5
7	0	0	1,0	5,5

* Experimentos realizados em ordem aleatória; X = variável.

O sistema de higienização em água ozonizada pode ser observado na Figura 2.1.

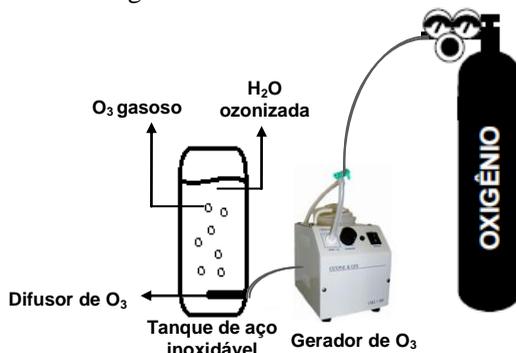


Figura 2.1: Sistema de higienização em água ozonizada.

As concentrações de ozônio em água e o tempo de contato das frutas com a água ozonizada foram definidos com base nos resultados observados em testes preliminares. As physalis higienizadas em concentrações superiores a $1,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$ de O_3 em água e tempo de contato maior que 10 min apresentaram perda parcial da epiderme da fruta.

2.2.4 Análises microbiológicas

Os frutos foram acondicionados em embalagens estéreis e armazenados a 8°C por 4 h, até o início das análises microbiológicas. Foram analisados como resposta, os coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli*, *Listeria* spp, *Salmonella* spp, contagem de psicrotróficos, bolores e leveduras para os diferentes tratamentos aplicados. As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com metodologia descrita no Compêndio de Métodos para Análises Microbiológicas de Alimentos (APHA, 1992), na central de análises do Departamento de Ciência de Alimentos da UFSC.

2.2.5 Cor

A cor das amostras foi determinada na região oposta ao pedúnculo da fruta. As medidas foram realizadas utilizando um colorímetro (Miniscan EZ, Hunterlab) operando no sistema CIELAB (L^* , a^* , b^* , C, h), utilizando sistema de iluminação D65 e ângulo de

observação de 10°. O índice “L*” mede a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco); “a*” mede da cor verde (negativo) à cor vermelha (positivo); e “b*” mede da cor azul (negativo) à cor amarela (positivo). O “C” ou croma, fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o “h” corresponde à tonalidade à cor vermelha (0°), à cor amarela (90°), à cor verde (180°) e à cor azul (360°) (KONICA MINOLTA, 1998).

2.2.6 Análise estatística

Para analisar o efeito combinado das variáveis independentes foi empregado a análise de efeitos do planejamento fatorial. A influência da concentração de ozônio e o tempo de contato da fruta com a água ozonizada sobre as variáveis dependentes foram avaliadas estatisticamente através da análise de efeitos estimados dos dados de cor e microbiologia. Os resultados de cor da physalis antes e após a higienização com hipoclorito de sódio foram avaliados estatisticamente mediante teste t de Student ao nível de 5% de significância.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Determinação da concentração de ozônio em água

Foram realizados testes com diferentes concentrações e tempos de produção de ozônio gasoso, com objetivo de alcançar as concentrações de 0,50, 1,0 e 1,50 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ de ozônio em água. A Tabela 2.2 apresenta a concentração O_3 gasoso ($\mu\text{g.mL}^{-1}$), tempo de produção de O_3 (min) e a concentração de O_3 na água ($\mu\text{g.mL}^{-1}$).

Tabela 2.2: Concentração de ozônio em água destilada.

Concentração de O_3 gasoso ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	Tempo de produção de O_3 (min)	Concentração de O_3 em água ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)*
34	3	$0,58 \pm 0,07$
34	4	$0,98 \pm 0,05$
34	6	$1,55 \pm 0,05$

*Volume de água no tanque: 25 L.

2.3.2 Contagens microbianas após sanitização dos produtos

A aplicação de métodos de sanitização em produtos vegetais implica na realização de análises microbiológicas para verificar a eficiência do método utilizado na eliminação de microrganismos.

A Tabela 2.3 apresenta o planejamento fatorial 2^2 com três repetições no ponto central para a higienização de physalis com água ozonizada. Foram analisados como resposta, coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli*, *Listeria* spp, *Salmonella* spp, contagem de psicrotróficos, bolores e leveduras para os diferentes tratamentos aplicados.

Os resultados das análises microbiológicas estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para frutas frescas. Segundo a resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001), os padrões microbiológicos sanitários para frutas frescas, "in natura", preparadas (descascadas, selecionadas ou fracionadas), sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto, determinam uma tolerância para coliformes a 45°C de 5×10^2 UFC/g e ausência de *Salmonella* sp. em 25 g. Porém esta resolução não estabelece padrões para bolores e leveduras.

A Tabela 2.4 apresenta os resultados das análises microbiológicas para as amostras higienizadas com cloro e água destilada (controle). Comparando os resultados obtidos para sanitização com ozônio (Tabela 2.3) e cloro (Tabela 2.4) observou-se que ambos os processos podem ser usados para eliminação de microrganismos. Como esperado, as frutas submetidas aos processos de sanitização com ozônio ou cloro apresentaram resultados menores para contagem de bolores e leveduras quando comparado às frutas higienizadas com água destilada (controle). Embora os resultados para o uso de cloro e ozônio sejam semelhantes, o uso de ozônio para higienização de frutas apresenta como vantagem o fato de não deixar resíduos no produto higienizado. De acordo com Kechinski (2007), agentes sanitizantes derivados de cloro produzem compostos orgânicos clorados, como os trihalometanos, que possuem um alto potencial carcinogênico.

Alguns estudos mostram a eficiência do uso de ozônio como sanitizante de frutas e hortaliças. Kim et al. (1999) apresentaram um estudo realizado com uvas em que houve redução do apodrecimento fúngico nas frutas tratadas com ozônio e armazenadas a frio.

Amaral (2010) estudou o efeito da utilização de ozônio em melão minimamente processado através da imersão das fatias de melão em água ozonizada na concentração de $1,6 \mu\text{g.mL}^{-1}/1$ min. Segundo o mesmo autor, o sanitizante avaliado não comprometeu a qualidade

físico-química dos melões minimamente processados e reduziu o crescimento microbiano das frutas submetidas ao tratamento.

Prestes (2007) avaliou o uso do ozônio na higienização de alface americana, alface crespa, rúcula e agrião, com concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ pelo tempo fixo de 1 minuto. O autor afirma que o ozônio diluído em água nas concentrações de 1 e 1,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ mostrou desempenho superior ao cloro na redução das populações de coliformes totais, bolores e leveduras.

Tabela 2.3: Planejamento fatorial 2² para o processo de sanitização de physalis com ozônio.

Ensaio	Variáveis independentes		Variáveis dependentes						
	Concentração de ozônio (µg.mL ⁻¹)	Tempo de contato (min)	Bolores e leveduras (UFC/g)	Coliformes a 35°C (UFC/g)	Coliformes a 45°C (UFC/g)	Contagem de psicotróficos a 22°C (UFC/g)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	<i>Listeria</i> spp	<i>Salmonella</i> spp
1	0,5	1	6,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	Não detectável	Não detectável
2	1,5	1	9,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	Não detectável	Não detectável
3	0,5	10	4,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	Não detectável	Não detectável
4	1,5	10	8,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	Não detectável	Não detectável
5	1,0	5	7,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	Não detectável	Não detectável
6	1,0	5	1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	Não detectável	Não detectável

Tabela 2.4: Limpeza de physalis com cloro e água destilada.

Amostra	Concentração ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	Tempo de contato (min)	Bolores e leveduras (UFC/g)	Coliformes a 35°C (UFC/g)	Coliformes a 45°C (UFC/g)	Contagem de psicrotóxicos a 22°C (UFC/g)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	<i>Listeria</i> spp	<i>Salmonella</i> spp
Sem higienização	-	-	$2,7 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	$3,0 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	Não detectável	Não detectável
Higienizada com hipoclorito de sódio	100	15	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	Não detectável	Não detectável
Higienizada com água destilada	-	15	$< 7,8 \times 10^2$	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	Não detectável	Não detectável

A Tabela 2.5 apresenta os efeitos da concentração de ozônio ($\mu\text{g.mL}^{-1}$) e tempo de contato do produto com a água ozonizada (min) e as interações destas variáveis sobre a resposta bolores e leveduras a um nível de 95% de confiança. Os resultados apresentados mostraram que as diferentes concentrações de ozônio e tempos de contato não influenciaram nas respostas: crescimento de coliformes a 35°C e 45°C, *Escherichia coli*, contagem de psicrotóxicos, *Listeria spp* e *Salmonella spp*. Porém, a resposta bolores e leveduras apresentou variação de 1×10^1 a 9×10^1 UFC/g para o processo de higienização com diferentes concentrações de ozônio.

Tabela 2.5: Efeitos estimados para a contagem de bolores e leveduras.

Resposta	Variável	Linear		Variável	Interação	
		Efeitos	p		Efeitos	p
Bolores e leveduras	O ₃	35,00	0,3899	O ₃ x Tempo	5,00	0,8906
	Tempo	-15,00	0,6866			

O tratamento estatístico mostrou que as variáveis independentes, concentração de ozônio e tempo de contato, não apresentaram efeito significativo no crescimento de bolores e leveduras de amostras de physalis higienizadas em água ozonizada.

2.3.3 Análise de cor

A Tabela 2.6 apresenta os efeitos da concentração de ozônio ($\mu\text{g.mL}^{-1}$) e tempo de contato do produto com a água ozonizada (min) e as interações destas variáveis sobre os parâmetros de cor a um nível de 95% de confiança.

Tabela 2.6: Efeitos estimados para os parâmetros de cor.

Resposta	Variável	Linear		Variável	Interação	
		Efeitos	p		Efeitos	p
L*	O ₃	2,5650	0,0303 ^a	O ₃ x	2,16	0,0417 ^a
	Tempo	-1,7350	0,0629	Tempo		
a*	O ₃	0,1200	0,8460	O ₃ x	0,6100	0,3790
	Tempo	-0,7200	0,3169	Tempo		
b*	O ₃	2,9950	0,0386 ^a	O ₃ x	2,5950	0,0505
	Tempo	-1,6350	0,1145	Tempo		
C	O ₃	2,7030	0,0749	O ₃ x	2,5755	0,0816
	Tempo	-1,7644	0,1535	Tempo		
h	O ₃	2,9482	0,0369 ^a	O ₃ x	1,6203	0,1087
	Tempo	-0,5142	0,4708	Tempo		

^a Significativos p<0,05

O tratamento estatístico dos dados permitiu a análise dos efeitos das variáveis independentes sobre os parâmetros de cor das frutas tratadas com ozônio. A variável independente concentração de ozônio apresentou efeito linear positivo sobre os parâmetros de cor L*, b* e h. Observou-se que o aumento da concentração de ozônio de 0,5 para 1,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, causou um aumento de 2,2% no valor de L*, indicando um aumento na luminosidade das frutas e conseqüentemente uma maior tendência a coloração branca. A mudança na concentração de ozônio de 0,5 para 1,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, também intensificou a coloração amarela das frutas, observado pelo um aumento de 2,9% no parâmetro b* e aumento de 6% no valor de h. Este resultado indica que concentrações de ozônio de 1,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ intensificaram a tonalidade amarela da fruta.

Vale salientar que o ozônio não pode ser considerado universalmente benéfico aos alimentos, pois em altas concentrações, pode promover a degradação oxidativa, alterando o sabor e a coloração do produto alimentício. Alguns estudos apontam que o ozônio é capaz de mudar a coloração da superfície de frutas e hortaliças como pêssegos, cenouras e brócolis (SILVA et al., 2011).

As variáveis independentes, concentração de ozônio e tempo de contato, não apresentaram efeito significativo nos parâmetros de cor (a* e C) de amostras de physalis higienizadas em água ozonizada.

As diferentes concentrações de ozônio e tempos de contato testados não apresentaram efeito significativo sobre a contagem microbiana de physalis, porém o aumento na concentração de O₃

provocou alterações na cor da fruta. Sendo assim, é possível realizar a higienização de physalis, optando por tratamentos com menor concentração de ozônio ($0,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$) e menor tempo de contato do produto com a água ozonizada (1 min).

Para avaliar a influência do cloro na coloração de physalis, foram realizados análises de cor antes e após a limpeza das frutas com hipoclorito de sódio (Tabela 2.7). Observou-se que não houve diferença significativa entre os parâmetros de cor analisados antes e após a limpeza do produto, indicando que o cloro não alterou a coloração do produto na concentração e tempo de contato avaliado neste estudo.

Tabela 2.7: Análise de cor de physalis antes e após higienização com hipoclorito de sódio.

Parâmetros de cor #	Antes da higienização com cloro	Após a higienização com cloro
L*	$20,44 \pm 0,68^a$	$20,24 \pm 0,55^a$
a*	$13,12 \pm 0,08^a$	$13,92 \pm 0,68^a$
b*	$25,53 \pm 0,43^a$	$26,10 \pm 1,23^a$
C	$28,70 \pm 0,34^a$	$29,58 \pm 1,39^a$
h°	$62,80 \pm 0,54^a$	$61,92 \pm 0,40^a$

Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); L* (0 = preto, 100 = branco); a* (+a = vermelho, -a = verde); b* (+b = amarelo, -b = azul); ângulo h° (0° = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde, 360° = azul).

O ozônio tem sido aplicado no tratamento pós-colheita de frutas e vegetais devido ao alto potencial de oxidação deste gás, capaz de oxidar contaminantes no ar e na água (PÉREZ et al., 1999). O ozônio surge como uma alternativa ao uso de compostos clorados, uma vez que baixas concentrações e curto tempo de contato com o produto são suficientes para obter eficiência semelhante a do cloro na redução da contaminação microbiológica (PRESTES, 2007). Além disso, por ser um gás instável que se decompõe rapidamente, não gera resíduos no produto para o consumidor final (KIM et al., 2003).

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para as amostras higienizadas com hipoclorito de sódio foram semelhantes aos encontrados para amostras tratadas com ozônio. Ambos os tratamentos reduziram a contagem microbiana quando comparados com o controle. Sendo assim, é possível realizar a higienização de physalis evitando tanto o crescimento microbiano, quanto as alterações de cor da fruta, optando-se por tratamentos com menor concentração de ozônio ($0,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$) e menor tempo de contato do produto com a água ozonizada (1 min).

CAPÍTULO 3:
AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO EXPERIMENTAL PARA
DETERMINAR A CONCENTRAÇÃO DE O₂ E CO₂ EM
PRODUTOS ACONDICIONADOS EM ATMOSFERA
MODIFICADA.

3.1 INTRODUÇÃO

A aplicação de atmosfera modificada para armazenamento de frutas tem como objetivo alterar o microambiente do produto armazenado e está baseada na alteração do teor de O₂, CO₂ e N₂ no interior das embalagens (LANCHERO et al., 2007), o que diminui as taxas de respiração e transpiração e retarda os processos de maturação e degradação de produtos frescos (FISCHER *et al.*, 2000). O uso de atmosferas modificadas associado ao armazenamento a baixas temperaturas favorece a conservação do produto (FISCHER et al., 2000; LANCHERO et al., 2007).

Para frutas e hortaliças, as embalagens devem conter o mínimo possível de oxigênio, com o objetivo de retardar o crescimento microbiano aeróbio e reduzir o grau de oxidação. O uso de baixa concentração de oxigênio e elevada concentração de CO₂ possibilita o aumento da vida útil desses alimentos, visto que o gás carbônico tem ação fungicida e bacteriostática. Para que o processo de atmosfera modificada seja eficiente, é necessário o monitoramento de alguns parâmetros, tais como: análise da composição gasosa no interior da embalagem, análises físico-químicas e microbiológicas e avaliação sensorial durante a vida útil do produto (SOUZA et al., 2007).

A necessidade de se mostrar a qualidade de medições químicas, através de sua comparabilidade, rastreabilidade e confiabilidade, está sendo cada vez mais reconhecida e exigida. Dados analíticos não confiáveis podem conduzir a decisões desastrosas e a prejuízos financeiros irreparáveis. Para garantir que um novo método analítico gere informações confiáveis e interpretáveis sobre a amostra, ele deve sofrer uma avaliação denominada de validação (RIBANI et al., 2004).

A calibração é um dos estágios fundamentais na análise química. A curva analítica é a ferramenta de quantificação mais frequentemente utilizada e consiste na determinação da resposta de determinado instrumento às várias concentrações da substância em estudo (ZANELLA et al., 2000; FEINBERG, 2007).

Fatores como rapidez, sensibilidade e especificidade podem contribuir na análise de gases presentes em embalagens de alimentos. Com equipamentos de quantificação de gases podem-se realizar análises com estas características que é uma alternativa aos métodos cromatográficos.

Partindo destes princípios, o objetivo do presente estudo foi avaliar a confiabilidade de resultados da análise de O₂ e CO₂ em

analisador de gases automático comparando-o a análises por cromatografia gasosa.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Matéria-prima

As physalis utilizadas nos experimentos foram cultivadas e colhidas na Fazenda Coxilha Rica localizada no município de Lages, SC. Após a colheita, as frutas foram acondicionadas em ambiente refrigerado até o transporte para o laboratório. As amostras foram armazenadas a 7°C e 80% de umidade relativa por 24 horas até a realização das análises. As physalis sem cálice foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 e 5 (ICONTEC, 1999). Posteriormente, os frutos foram higienizados por imersão em água ozonizada ($0,5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ / 1 min) e o excesso de água foi retirado por centrifugação manual.

3.2.2 Acondicionamento das amostras

Amostras de physalis (*Physalis peruviana* L.) foram acondicionadas em embalagem multicamada de polipropileno bio-orientado e polietileno de baixa densidade (BOPP/PEBD) com dimensões de 17,5 x 24 cm, espessura de 75 μm , permeabilidade ao vapor de água de 7 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{dia})$, permeabilidade ao oxigênio de 2000 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e permeabilidade ao CO_2 de 5469 $\text{cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{dia})$. Cada embalagem continha 100 g de amostra, sendo que para cada tempo de avaliação foi acondicionada uma embalagem e a concentração de O_2 e CO_2 foi determinada em triplicata em cada um dos equipamentos.

Foi injetada uma mistura gasosa de 5% O_2 , 10% CO_2 e 85% N_2 nas embalagens utilizando seladora a vácuo (Selovac, 200B). As amostras foram armazenadas em estufa refrigerada a 15°C e umidade relativa de 68% por 30 horas.

3.2.3 Análise da concentração de gases

As leituras de concentração dos gases (O_2 e CO_2) foram realizadas nos tempos de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 30 horas de armazenamento em analisador de gases (PBI Dansensor, CheckMate II) com detector de zircônio e limite de detecção de 0 a 100% de O_2 e CO_2 . O analisador de gases possui uma seringa acoplada ao próprio

equipamento, utilizando uma alíquota de 3 mL de gás das amostras. Sendo necessário somente aderir um septo de borracha adesivo no lado externo da embalagem.

A determinação da concentração de gases por cromatografia gasosa foi realizada em cromatógrafo gasoso (Cromacon, CG35) com detector de condutividade térmica, coluna PM5 (O₂ e N₂), com 1,8 m e peneira molecular 5Å e coluna Porapak-Q (CO₂), com 1,8 m; hélio foi utilizado como gás de arraste a uma vazão de 30 mL/min. A temperatura da coluna e injetor foram 65°C e do detector 220°C. O cromatógrafo foi calibrado com uma mistura de ar sintético, sendo o volume injetado de 1 mL.

A coleta das amostras de gases da embalagem para cromatografia gasosa foram realizadas aderindo um septo de borracha adesivo no lado externo da embalagem e posterior retirada dos gases com uma seringa de vidro com volume de 1 mL. As leituras dos gases foram realizadas em triplicata da mesma embalagem.

3.2.4 Análise estatística

Os resultados foram tratados determinando-se o desvio padrão, coeficiente de variação e teste de correlação de Spearman para dados não paramétricos no pacote estatístico do Statistica 8.0, considerando $p < 0,05$ como nível mínimo de significância. Os resultados foram expressos em valores absolutos da correlação (r), onde "0" indica uma total ausência de correlação linear e "1" uma relação linear perfeita.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros precisão e exatidão constituem a chave para o processo de validação. São requeridos para todos os estudos de validação de métodos, exceto para aqueles com propósito qualitativo, que se destinam apenas a acusar a presença de um analito (BRITO et al., 2003).

O erro experimental é influenciado pela precisão com que os experimentos são realizados. Assim, quanto menor o erro experimental, maior a precisão do método. O coeficiente de variação (CV), definido como a estimativa do erro experimental em porcentagem da estimativa da média, é uma das medidas estatísticas mais utilizadas pelos pesquisadores na avaliação da precisão de experimentos (COSTA et al., 2002).

A Tabela 3.1 apresenta as medidas da concentração de O₂ ao longo do tempo, realizadas em cromatógrafo gasoso e em analisador de gases, e o coeficiente de variação de cada experimento.

Tabela 3.1: Medidas da concentração de oxigênio em cromatógrafo gasoso (CG) e em analisador de gases (AG).

Tempo (h)	O ₂ (%)			
	CG	CV (%)*	AG	CV (%)*
2	4,33 ± 0,26 ^a	5,99	4,39 ± 0,01 ^a	0,23
3	4,15 ± 0,23 ^a	5,54	4,23 ± 0,01 ^a	0,25
4	3,31 ± 0,24 ^a	7,37	3,22 ± 0,01 ^a	0,18
5	3,21 ± 0,19 ^a	5,87	3,28 ± 0,01 ^a	0,18
6	3,36 ± 0,24 ^a	7,19	3,28 ± 0,01 ^a	0,30
7	2,55 ± 0,15 ^a	5,83	2,47 ± 0,06 ^a	2,23
8	3,21 ± 0,11 ^a	3,57	3,10 ± 0,01 ^a	0,19
9	2,74 ± 0,11 ^a	3,88	2,66 ± 0,01 ^a	0,38
10	2,96 ± 0,19 ^a	6,39	2,94 ± 0,07 ^a	2,26
11	3,09 ± 0,17 ^a	5,57	2,88 ± 0,01 ^a	0,20
12	2,28 ± 0,14 ^a	6,18	2,17 ± 0,01 ^a	0,46
30	2,34 ± 0,22 ^a	9,18	2,21 ± 0,01 ^a	0,45

*Coeficiente de variação: $CV = [(Desvio\ padrão/média) \times 100]$; Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

O coeficiente de variação permite expressar a variabilidade dos dados desconsiderando a influência da ordem de grandeza da variável. Assim, quanto menor for o coeficiente de variação, maior a precisão do método. Analisando a Tabela 3.1, observou-se que as leituras da concentração de O₂ em ambos os equipamentos são estatisticamente iguais ($p \geq 0,05$). Os coeficientes de variação (CV) mostraram que o analisador de gases pode ser considerado um equipamento preciso para leitura da concentração de O₂.

A Tabela 3.2 apresenta as medidas da concentração de CO₂ ao longo do tempo, realizadas em cromatógrafo gasoso e em analisador de gases, e o coeficiente de variação de cada experimento.

Tabela 3.2: Medidas da concentração de dióxido de carbono em cromatógrafo gasoso (CG) e em analisador de gases (AG).

Tempo (h)	CO ₂ (%)			
	CG	CV (%)*	AG	CV (%)*
1	8,46 ± 0,01 ^a	0,10	7,87 ± 0,06 ^b	0,73
2	9,20 ± 0,04 ^a	0,43	9,17 ± 0,06 ^a	0,63
3	9,46 ± 0,02 ^b	0,23	9,57 ± 0,06 ^a	0,60
4	11,94 ± 0,10 ^a	0,87	11,60 ± 0,10 ^b	0,86
5	12,03 ± 0,08 ^a	0,70	11,80 ± 0,01 ^b	0,08
6	11,55 ± 0,09 ^a	0,81	11,37 ± 0,06 ^b	0,51
7	13,43 ± 0,06 ^a	0,41	13,33 ± 0,06 ^a	0,43
8	13,02 ± 0,05 ^a	0,41	12,67 ± 0,06 ^b	0,46
9	13,69 ± 0,23 ^a	1,67	13,13 ± 0,06 ^b	0,44
10	13,03 ± 0,04 ^a	0,34	12,63 ± 0,06 ^b	0,46
11	15,39 ± 0,04 ^a	0,24	15,13 ± 0,06 ^b	0,38
12	14,46 ± 0,08 ^a	0,53	14,40 ± 0,01 ^a	0,07
30	14,40 ± 0,08 ^a	0,56	14,23 ± 0,06 ^b	0,41

* Coeficiente de variação: $CV = [(Desvio\ padrão/média) \times 100]$; Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$);

A Tabela 3.2 mostra que as leituras da concentração de CO₂, utilizando cromatógrafo gasoso e analisador de gases, apresentaram diferença significativa para a maioria dos experimentos ($p \leq 0,05$). Este resultado se deve à baixa variabilidade dos dados e está diretamente relacionado à precisão de ambos os métodos para leituras de dióxido de carbono. Avaliando os coeficientes de variação (CV) dos experimentos, observou-se que o analisador de gases também pode ser considerado um equipamento preciso e com boa reprodutibilidade para leitura da concentração de CO₂. De acordo com Brito et al. (2003), a precisão do método analítico é o parâmetro que avalia a proximidade entre as várias medidas efetuadas na mesma amostra e é usualmente expressa como coeficiente de variação.

A exatidão pode ser estabelecida mediante comparação entre os valores obtidos pelo método proposto com os valores obtidos para as mesmas amostras com o método de referência (BRITO et al., 2003). A Figura 3.1 apresenta a relação entre a concentração de O₂ medido em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.

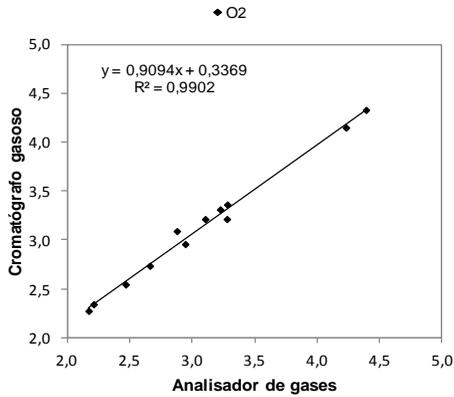


Figura 3.1: Relação entre a concentração de O₂ medido em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.

Os dados obtidos para concentração de O₂ em analisador de gases apresentaram uma relação linear com a concentração de O₂ obtida em cromatógrafo gasoso, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,99 (Figura 3.1). O coeficiente de determinação indica o grau de ajuste do conjunto de dados a equação da reta. Valores de r iguais ou superiores a 0,99 e 0,90, são recomendados, respectivamente, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003) e pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO, 2003).

A Figura 3.2 apresenta a relação entre a concentração de CO₂ medido em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.

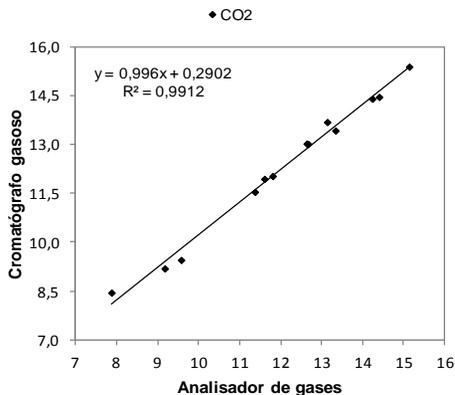


Figura 3.2: Relação entre a concentração de CO₂ medido em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.

Os dados obtidos para de CO₂ em analisador de gases apresentaram uma relação linear com a concentração de CO₂ obtida em cromatógrafo gasoso, com coeficiente de determinação (R²) igual a 0,99 (Figura 3.2). Este resultado indica um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo linear (equação da reta).

Mediante a comparação entre os valores obtidos pelos dois métodos, o analisador de gases apresentou boa exatidão para determinação de O₂ e CO₂ nas condições testadas neste trabalho. Porém, o coeficiente angular da equação da reta da Figura 3.1 indica que para a análise de O₂ os resultados obtidos por cromatografia foram maiores que os obtidos em analisador de gases. Este resultado mostra que o analisador de gases é um método mais exato para a análise de CO₂ do que para análise de O₂.

A Tabela 3.3 apresenta a correlação de Sperman para análises de O₂ e CO₂ em cromatógrafo e analisador de gases.

De acordo com Brito et al. (2003), considera-se uma correlação fortíssima quando o coeficiente de correlação varia entre $0,91 < r < 0,99$. Analisando os valores da Tabela 3.3, observou-se que os dados experimentais apresentaram fortíssima correlação, indicando que o analisador de gases pode ser considerado um método exato, assim como a metodologia de referência (cromatografia gasosa).

Tabela 3.3: Correlações de Sperman para análises de O₂ e CO₂ em cromatógrafo gasoso e analisador de gases.

Parâmetros	Correlação
O ₂	0,986014
CO ₂	0,989011

A validação é essencial para definir se métodos desenvolvidos estão adequados aos objetivos a que se destinam, a fim de se obter resultados confiáveis que possam ser satisfatoriamente interpretados (BRITO et al., 2003). Baseado nos resultados deste trabalho, a validação demonstrou que o equipamento analisador de gases é adequado para o seu propósito, possibilitando o conhecimento das limitações e da confiabilidade nas medidas realizadas nas análises.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos no presente estudo permite concluir que o analisador de gases é uma ferramenta confiável quando comparada com a cromatografia gasosa. Sua utilização mostra ser eficaz e aplicável perfeitamente na rotina do laboratório como uma ferramenta ágil, segura e de baixo custo para a realização de análises de O₂ e CO₂ em embalagens para alimentos.

CAPÍTULO 4:
AVALIAÇÃO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS PARA
ARMAZENAMENTO DE PHYSALIS (*Physalis peruviana* L.)
EM ATMOSFERA MODIFICADA

4.1 INTRODUÇÃO

As embalagens empregadas para as frutas e hortaliças frescas e minimamente processadas visam criar uma barreira que possa retardar a perda do *flavor* desejável e do vapor de água, enquanto restringe a troca de CO₂ e O₂, modificando a atmosfera em que o produto se encontra (FONSECA et al., 2002). O conhecimento das taxas gasosas no interior das embalagens, que acondicionam vegetais intactos e minimamente processados, é de grande importância para a manutenção da vida pós-colheita dos mesmos (PADULA, 2006).

O mercado brasileiro de embalagens com atmosfera modificada tem crescido significativamente nos últimos anos tanto em variedade, quanto em diversidade de produtos embalados com essa tecnologia. Os avanços mundialmente observados no desenvolvimento das embalagens flexíveis para o acondicionamento de alimentos, muito tem contribuído para aumentar o interesse por esse mercado (JUNQUEIRA e LUENGO, 1999).

Considerando que frutas e hortaliças são produtos que respiram, é importante considerar a interação entre o material da embalagem com o produto. As modificações da atmosfera no interior da embalagem evoluem de acordo com a taxa respiratória do tecido e com as características de difusão dos gases através da embalagem (JACOBSSON et al., 2004). Se a permeabilidade (para O₂ e CO₂) do filme da embalagem é adaptada para a respiração do produto, uma atmosfera de equilíbrio irá se estabelecer na embalagem, aumentando a vida de prateleira do mesmo (SANDHYA, 2010).

Alguns trabalhos mostram a importância do uso de embalagens de diferentes polímeros para minimizar as taxas respiratórias de frutas e hortaliças (JACOBSSON et al., 2004; BARBOSA, 2007; LANCHERO et al., 2007). De acordo com Mahajan et al. (2007), uma embalagem inadequada pode reduzir a vida útil do produto e até mesmo induzir a anaerobiose, com possível crescimento de patógenos. O controle da difusão de CO₂ e O₂ através da embalagem é essencial para manter a atmosfera dentro do produto, sem causar desenvolvimento de odores desagradáveis ou danos fisiológicos nas condições ideais de armazenamento. Um dos maiores desafios no uso de atmosfera modificada é o desenvolvimento de um sistema que possibilite a manutenção da atmosfera de equilíbrio, com boa relação entre a respiração do produto e a permeabilidade da embalagem (EXAMA et al., 1993).

A taxa de permeabilidade ao vapor de água de embalagens para atmosfera modificada deve permitir que o produto seja mantido a um ambiente com elevada umidade, usualmente superior a 95%. Contudo, a embalagem deve ser selecionada de forma que a umidade relativa no seu interior seja elevada, mas com taxa de transmissão ao vapor d'água suficiente para evitar a condensação da água no interior da embalagem, o que pode afetar de forma negativa a qualidade do produto, criando um ambiente propício para o crescimento de fungos causadores de deterioração (KADER et al., 1989).

Numerosos tipos de polímeros podem ser utilizados na confecção de embalagens, estes podem ser simples ou coextrusados com outros polímeros, possibilitando a obtenção de materiais com diferentes propriedades de barreira e mecânicas (JUNQUEIRA e LUENGO, 1999).

Desta forma, o objetivo do trabalho foi definir a embalagem que preservasse as características de physalis durante seu armazenamento sob atmosfera modificada, associado ao grau de maturação da fruta.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Matéria-prima

As physalis utilizadas nos experimentos foram cultivadas e colhidas na Fazenda Coxilha Rica localizada no município de Lages, SC. Após a colheita as frutas foram acondicionadas em ambiente refrigerado até o transporte para o laboratório. As amostras foram armazenadas a 7°C e 80% de umidade relativa por 24 horas até a realização das análises. As physalis sem cálice foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 (ICONTEC, 1999). Posteriormente, os frutos foram higienizados por imersão em água ozonizada ($0,5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ / 1 min) e o excesso de água foi retirado por centrifugação manual.

Com o objetivo de verificar qual o grau de maturação é mais adequado ao uso de atmosfera modificada, realizaram-se experimentos usando physalis em grau de maturação 1 (coloração esverdeada) e grau de maturação 4 (coloração alaranjada) (ICONTEC, 1999).

4.2.2 Avaliação das embalagens

Foram testados quatro tipos de embalagens flexíveis (Tabela 4.1) para determinar qual seria a mais apropriada para a matéria-prima armazenada, baseado nas características de permeabilidade do material

da embalagem. Amostras de 100 g de physalis foram acondicionadas nas embalagens testadas utilizando seladora a vácuo (200B, Selovac) com injeções de ar atmosférico e atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂). Os testes foram realizados em temperaturas de 15°C e 25°C. Para determinação da melhor embalagem foi analisado o tempo para atingir o equilíbrio e a concentração de gases no equilíbrio. A concentração gasosa no equilíbrio foi determinada mediante a leitura de três pontos consecutivos sem variação das concentrações de gases (O₂, CO₂, N₂) utilizando analisador de gases (PBI Dansensor, CheckMate II).

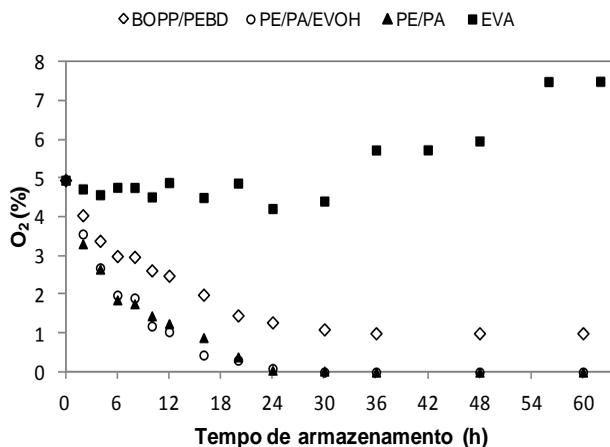
Tabela 4.1: Especificações das embalagens testadas.

Embalagens	Espessura (μm)	Dimensões (mm)	Permeabilidade [#]		
			O ₂ (cm ³ /m ² .dia)	CO ₂ (cm ³ /m ² .dia)	Vapor de água (g/m ² .dia)
BOPP/PEBD ¹	75	175 x 240	2000*	5469**	7
PE/PA ²	90	175 x 240	< 65	-	< 5
PE/PA/EVOH ³	90	175 x 240	< 3	-	< 5
EVA ⁴	56	175 x 240	4500	-	45

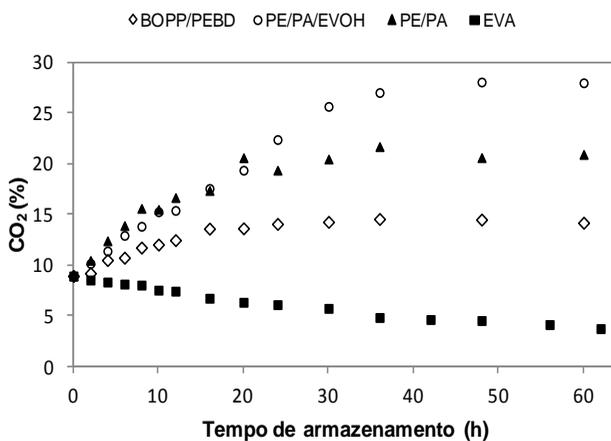
¹BOPP/PEBD - polipropileno biorientado e polietileno de baixa densidade (Lamine); ²PE/PA - embalagem extrusada em 7 camadas à base de polietileno e copolímero de poliamida (Parnaplast); ³PE/PA/EVOH - embalagem extrusada em 7 camadas à base de polietileno, copolímero de poliamida e copolímero de etileno álcool vinílico (Parnaplast); ⁴EVA - copolímero de etileno e acetato de vinila (Cryovac). [#]Dados fornecidos pelos fabricantes. *Permeabilidade a 25°C; **Permeabilidade a 22°C.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As embalagens são constituídas de filmes poliméricos de diferentes permeabilidades ao oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água para estender a vida de prateleira de frutas e hortaliças. Neste estudo, foram testados quatro tipos de embalagens (BOPP/PEBD, PE/PA/EVOH, PE/PA e EVA) para determinar qual a mais adequada para o armazenamento de physalis em atmosfera modificada (Figura 4.1). As physalis (grau de maturação 4) foram armazenadas a 25°C por 60 h em embalagens contendo 5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂.



(a)



(b)

Figura 4.1: Evolução da concentração de O_2 (a) e CO_2 (b) durante o acondicionamento de physalis em embalagens de BOPP/PEBD, PE/PA/EVOH, PE/PA e EVA sob atmosfera modificada de 5% O_2 , 10% CO_2 , 85% N_2 por 60 horas a 25°C.

Para as amostras de physalis armazenadas em embalagem de EVA houve um aumento na concentração de O_2 de 4,96% para 7,50% e uma redução na concentração de CO_2 de 8,90% para 3,70% após 60 h a

25°C, conforme mostrado na Figura 4.1. Este resultado é contrário ao princípio da estocagem em atmosfera modificada, onde se espera que ocorra uma pequena redução dos níveis de oxigênio e aumento na concentração de dióxido de carbono, devido à respiração do fruto e à permeabilidade da embalagem aos gases. Os resultados obtidos para embalagem de EVA (Figura 4.1) mostraram que este material é muito permeável ao O₂ e pouco permeável ao CO₂, indicando que esta embalagem é inadequada para armazenamento de physalis em atmosfera modificada a 25°C por apresentar baixa barreira ao oxigênio e conseqüentemente, ocasionar o aumento da taxa respiratória do produto.

A embalagem de PE/PA/EVOH não apresentou bons resultados para armazenamento de physalis em atmosfera modificada, pois a concentração de O₂ reduziu para zero após 25 h de armazenamento a 25°C. Esta condição pode levar à respiração anaeróbica, favorecendo o aparecimento de compostos “*off flavor*” devido ao acúmulo de etanol e acetaldeído nas amostras, prejudicando a qualidade do produto armazenado. Quanto à concentração de CO₂, observou-se um aumento de 10% para 28% após 60 h de armazenamento a 25°C. Segundo Kader (1986), o dióxido de carbono em altas concentrações pode causar injúrias nos produtos vegetais. Além disso, a embalagem de PE/PA/EVOH apresentou barreira elevada à umidade, sendo observada condensação excessiva de água no interior da mesma durante o período de armazenamento.

A concentração de O₂ nas embalagens de PE/PA reduziu para 0% após 30 h de armazenamento a 25°C. Esta condição pode levar a respiração anaeróbica, afetando os aspectos sensoriais da fruta e reduzindo sua conservação. Quanto à concentração de CO₂, observou-se um aumento de 10% para 20% após 60 h de armazenamento a 25°C. Além disso, houve condensação de água dentro da embalagem de PE/PA, o que pode favorecer ao aumento no crescimento microbiano.

Para amostras acondicionadas em embalagem de BOPP/PEBD a concentração gasosa apresentou a menor alteração durante o período de armazenamento, indicando um equilíbrio entre a permeabilidade do filme e a taxa respiratória do fruto. As concentrações de O₂ e CO₂ se mantiveram em níveis que reduziram a respiração da fruta, porém sem atingir o processo de anaerobiose. Segundo Ares et al. (2006), a embalagem ideal é aquela que possibilita concentração de O₂ suficientemente baixa para retardar a respiração, porém, esta redução na concentração de O₂ e o aumento na concentração de CO₂ não devem exceder um determinado limiar crítico, visto que a falta de oxigênio leva

à respiração anaeróbica acompanhada por mau cheiro, devido à produção de substâncias voláteis, como o etanol e o acetaldeído.

Comparando os resultados obtidos para os quatro diferentes tipos de embalagens, observou-se que a embalagem de BOPP/PEBD é adequada para o armazenamento de physalis em atmosfera modificada. Este polímero está presente em filmes e películas para embalagens de diferentes usos, tendo a sua maior aplicação na indústria de alimentos. Quando é empregado na embalagem final do produto, o polipropileno pode ser combinado com outros polímeros, ou com lâminas de alumínio para aumentar a sua resistência mecânica e a permeabilidade a gases (CARVALHO, 2008).

Alguns trabalhos descrevem a utilização desta embalagem para armazenamento de frutas e hortaliças. Barbosa (2007) avaliou diferentes embalagens para conservação de cenoura minimamente processada e obteve excelentes resultados para o armazenamento em embalagem de BOPP/PEBD. Segundo o autor, este material proporcionou bom equilíbrio entre o produto e a embalagem quanto aos gases e umidade. Os filmes laminados à base de polipropileno biorientado e polietileno de baixa densidade (BOPP/PEBD) também foram utilizados por Fagundes (2009) em trabalho desenvolvido com maçã minimamente processada armazenada em atmosfera controlada associada a baixas temperaturas.

Verifica-se, portanto que o sucesso da aplicação da tecnologia de acondicionamento em embalagens com atmosfera modificada está associado à natureza e qualidade inicial do produto, especificidade da mistura gasosa em relação ao produto, controle de temperatura e propriedades de barreira da embalagem (OLIVEIRA, 2006).

A Figura 4.2 apresenta a concentração de gases (O_2 e CO_2) de amostras de physalis (grau de maturação 4) acondicionados em embalagens de BOPP/PEBD em atmosfera de 5% O_2 , 10% CO_2 e 85% N_2 durante 50 h a 15°C e 25°C.

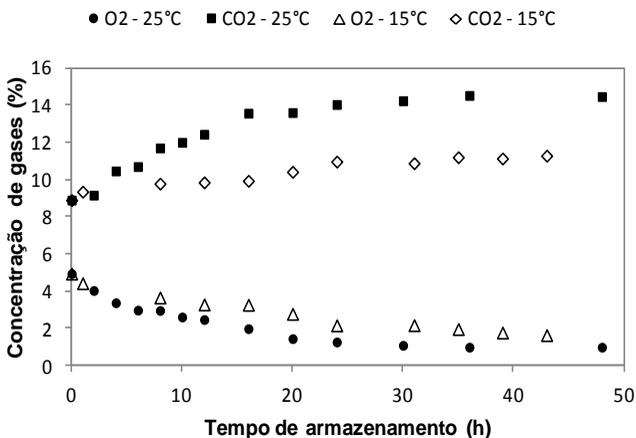


Figura 4.2: Evolução da concentração de O₂ e CO₂ durante o armazenamento de physalis em embalagem de BOPP/PEBD com 5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂ a 15°C e 25°C.

As amostras armazenadas a 15°C apresentaram menor consumo de O₂ e menor produção de CO₂ quando comparadas às amostras armazenadas a 25°C. As amostras armazenadas a 25°C apresentaram um aumento na concentração de CO₂ após 10 h de estocagem, indicando possível aumento na taxa respiratória das amostras. Geralmente, amostras armazenadas em temperaturas superiores apresentam maiores taxas respiratórias, pois o calor aumenta o metabolismo do fruto.

A maioria das reações físicas, bioquímicas, microbiológicas e fisiológicas que contribuem para a deterioração de produtos vegetais, são diretamente influenciadas pela temperatura. Processos metabólicos, incluindo transpiração, respiração e amadurecimento são particularmente dependentes da temperatura. Geralmente, as taxas de reações biológicas aumentam 2 a 3 vezes para cada 10°C de aumento na temperatura (BEAUDRY et al., 1992;. EXAMA et al., 1993).

A Figura 4.3 apresenta a concentração de gases (O₂ e CO₂) de amostras de physalis (grau de maturação 4) acondicionados em embalagem de BOPP/PEBD a 25°C sob duas composições gasosas: ar e atmosfera de 5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂.

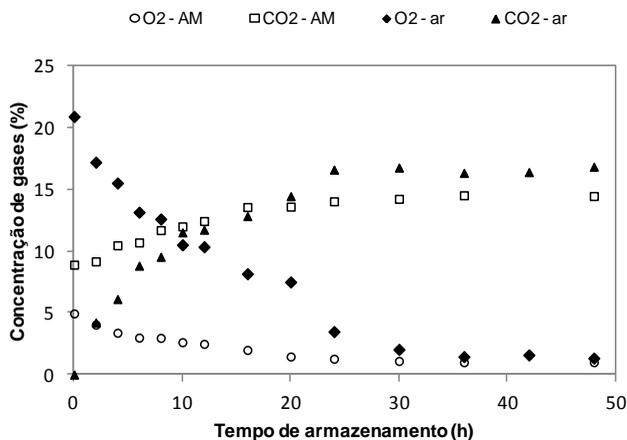


Figura 4.3: Evolução da concentração de O₂ e CO₂ durante o armazenamento de physalis em embalagem de BOPP/PEBD a 25°C em ar e em atmosfera modificada.

Avaliando os resultados obtidos, verificou-se um declínio da concentração de O₂ e aumento do CO₂ das amostras armazenadas em embalagens contendo ar atmosférico. As amostras armazenadas em atmosfera modificada apresentaram redução de O₂ e aumento do CO₂. O comportamento dos gases deve-se à taxa respiratória do produto juntamente com a permeabilidade da embalagem. Quanto maior o consumo de O₂ e produção de CO₂ maior a taxa respiratória do fruto. Houve maior consumo de O₂ para as amostras armazenadas com ar atmosférico, provavelmente pela maior disponibilidade de O₂ dentro da embalagem. Segundo Kader (1986) a diminuição do teor de O₂ disponível para frutas e vegetais reduz a taxa respiratória destes produtos.

A Figura 4.4 apresenta as concentrações de gases das physalis em dois graus de maturação, 1 (coloração esverdeada) e 4 (coloração alaranjada) (ICONTEC, 1999).

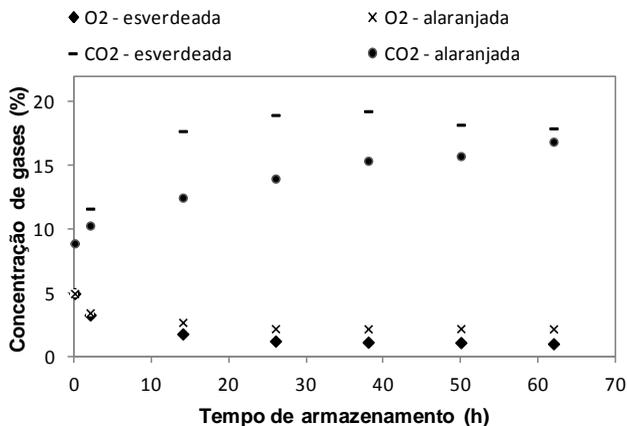


Figura 4.4: Evolução da concentração de O₂ e CO₂ de physalis em dois graus de maturação diferentes armazenadas em embalagem de BOPP/PEBD com 5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂ a 15°C.

Os frutos esverdeados (grau de maturação 1) apresentaram maior produção de CO₂ que as physalis alaranjadas (grau de maturação 4). As embalagens com amostras de physalis com grau de maturação 1 alcançaram concentrações de 1% de O₂ em 60 h de armazenamento, esta concentração pode levar o produto à anaerobiose e conseqüentemente à deterioração. Além disso, estes frutos não apresentaram evolução no desenvolvimento da cor durante o período avaliado. O armazenamento antes do grau de maturação adequado impede a formação das características sensoriais, tais como cor, sabor e produção de compostos voláteis.

As embalagens de physalis com grau de maturação 4 apresentaram menor consumo de O₂ e menor produção de CO₂ durante o armazenamento por 62 h. Esta concentração gasosa pode reduzir a taxa respiratória e evitar que o produto entre em anaerobiose.

Com base nos resultados, verificou-se que as physalis com grau de maturação 4 apresentaram melhor comportamento quanto a atmosfera gasosa durante o armazenamento por 62 h. Possivelmente, o uso de atmosfera modificada no armazenamento de frutos esverdeados afeta o processo de maturação dos produtos.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para os quatro diferentes tipos de embalagens permitiram concluir que a embalagem de BOPP/PEBD foi adequada para o armazenamento de physalis em atmosfera modificada. Este material proporcionou bom equilíbrio entre o produto e a embalagem quanto aos gases e umidade. As concentrações de O_2 e CO_2 se mantiveram em níveis que reduziram a respiração da fruta, porém sem atingir o processo de anaerobiose.

O armazenamento das frutas esverdeadas (grau de maturação 1) sob atmosfera modificada, afetou o processo de maturação dos produtos e impediu o desenvolvimento das características sensoriais, tais como cor, sabor e aroma característicos da physalis.

CAPÍTULO 5:
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA
REMOÇÃO DO CÁLICE NA CONSERVAÇÃO DE
PHYSALIS (*Physalis peruviana* L.) ARMAZENADA EM
CESTAS PLÁSTICAS.

5.1 INTRODUÇÃO

O gênero *Physalis* contém níveis elevados de compostos nutricionais e antioxidantes, com a polpa contendo vitaminas A, B e C, carotenos, fósforo e ferro. Durante a maturação o fruto, que se encontra dentro de um cálice, muda a coloração de verde para alaranjado, devido à hidrólise da clorofila e acúmulo de carotenoides (VALDENEGRO et al., 2012).

Segundo Alvarado et al. (2004) o cálice presente nos frutos do gênero *Physalis* tem a finalidade de proteger a fruta do ataque de insetos, pássaros, patógenos e condições ambientais adversas durante o cultivo. De acordo com Bolzan et al. (2011), o cálice também é responsável por prolongar a vida pós-colheita de *physalis* dois terços a mais que em frutos sem cálice, por diminuir a intensidade respiratória, reduzir a perda de peso e também reduzir as perdas da coloração devido à desnaturação da clorofila, carotenoides e das antocianinas.

Por outro lado, a comercialização de frutos com cálice impede a observação de alguns critérios de qualidade, como coloração, brilho, grau de maturação, consistência, tamanho, ausência de danos por enfermidades ou ataque de insetos, podridões e rachaduras na fruta. Além disso, o cálice pode apresentar manchas por umidade e fungos o que prejudica a qualidade microbiológica e a aparência do produto. Outra desvantagem da comercialização da fruta com cálice é a necessidade de realizar a secagem do mesmo após a colheita do fruto. Esta secagem normalmente é efetuada em secadores com circulação forçada de ar sob temperaturas de aproximadamente 24°C ou por exposição das frutas à luz solar. Ambos os processos podem contribuir para o aumento da taxa respiratória e consequentemente diminuição da vida de prateleira da fruta. Ávila et al. (2006) afirmam que os cálices dos frutos do gênero *Physalis* devem ser secos mediante ar forçado a temperaturas entre 18°C e 24°C por 36 horas ou com ar impulsionado por ventiladores a 25°C durante 10 horas para cálices verdes e 6 horas para cálices amarelos. Os mesmos autores verificaram que a secagem do cálice a 24°C causou um aumento no pico climatérico das frutas.

Ao mesmo tempo, países importadores como os Estados Unidos exigem que a *physalis* seja comercializada sem cálice e sem a cera natural (ALVARADO et al., 2004; CEDEÑO e MONTENEGRO, 2004), para que haja uma desinfecção dos frutos antes da comercialização, devido a barreiras sanitárias em alguns países (LIMA et al., 2009). A comercialização de *physalis* sem cálice é feita pela Colombia, Estados Unidos e por países da Europa e tem grande apelo

comercial, pois permite que o consumidor observe as características de qualidade da fruta.

Segundo Lancho et al. (2007), o conhecimento das alterações físico-químicas durante o período pós-colheita é fundamental para o desenvolvimento de um tratamento adequado para garantir a qualidade e prolongar a conservação da fruta. Bolzan et al. (2011) avaliaram o armazenamento refrigerado de physalis e os melhores resultados foram obtidos para os frutos armazenados a 2°C e UR 90% com cálice por até 90 dias e sem cálice por até 58 dias. Alvarado et al. (2004) estudaram o armazenamento de physalis com e sem cálice a 1,5°C e UR entre 68-88% durante 34 dias. Os autores observaram que o pico climatérico foi prematuro para os frutos armazenados sem cálice, porém não foram encontradas diferenças significativas nos parâmetros físico-químicos analisados para os frutos armazenados com e sem cálice. Novoa et al. (2006) concluíram em seu estudo que frutos do gênero *Physalis* podem ser armazenados com cálice a 12°C e UR de 85% por até 30 dias. Ávila et al. (2006) afirmaram que as características físico-químicas de physalis com cálice armazenadas a 18°C e UR de 75% foram ótimas até o 20º dia de estocagem. A partir deste momento, os frutos com cálice apresentaram problemas fitossanitários (*Botrytis cinérea*).

Considerando que existe muita divergência sobre as condições ideais de armazenamento da fruta, este estudo teve como objetivo avaliar as alterações físico-químicas de physalis com e sem cálice, armazenadas em cestas plásticas a 5°C, 10°C e 15°C por um período de 40 dias.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Matéria-prima

As physalis utilizadas nos experimentos foram cultivadas e colhidas na Fazenda Coxilha Rica localizada no município de Lages, SC. Após a colheita as frutas foram acondicionadas em ambiente refrigerado até o transporte para o laboratório. As amostras foram armazenadas a 7°C e 80% de umidade relativa por 24 horas até a realização das análises. As physalis foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 e 5 (ICONTEC, 1999). Posteriormente, os frutos foram higienizados por imersão em água ozonizada (0,5 µg.mL⁻¹/ 1 min) e o excesso de água foi retirado por centrifugação manual.

5.2.2 Armazenamento dos frutos

Para simular as condições comerciais de estocagem (controle), amostras de 50 g de *Physalis* com e sem cálice (Figura 5.1) foram acondicionadas em embalagens rígidas de polietileno de alta densidade (90 mm de diâmetro e 65 mm de altura) em estufas refrigeradas a 5°C (UR 58%), 10°C (UR 64%) e 15°C (UR 79%). As análises físico-químicas (perda de massa fresca, pH, sólidos solúveis totais, textura e cor) foram realizadas em triplicata no dia inicial, 3°, 6°, 9°, 12°, 15°, 20°, 25°, 30° e 40° dia de armazenamento.



Figura 5.1: Frutos do gênero *Physalis* armazenados com e sem cálice em embalagens rígidas de polietileno de alta densidade (PEAD) abertas.

5.2.3 Análises físico-químicas

5.2.3.1 Perda de massa fresca

A perda de massa fresca (PMF) de amostras não destrutivas foi determinada por gravimetria utilizando uma balança (AY 220, Shimadzu) com precisão de 0,0001 g. Três cestas de cada tratamento, sendo cada uma com 50 g de fruta foram avaliadas ao longo dos 40 dias. As perdas ao longo do período de armazenamento foram calculadas pela Equação 5.1, conforme Pereira et al. (2005).

$$\% \text{ PMF} = 1 - \frac{M_n}{M_o} \times 100 \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Onde: PMF é a perda de massa fresca (%); M_o é a massa das amostras no tempo inicial de armazenamento e M_n a massa para os dias posteriores de análise.

5.2.3.2 pH

A determinação do pH foi realizada de acordo com AOAC (2002). O suco dos produtos foi obtido por compressão da polpa da fruta até a obtenção de 30 mL de suco e o pH foi determinado utilizando-se um pHmetro digital (Q400MT, Quimis).

5.2.3.3 Sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis totais das amostras foi determinado no suco dos produtos utilizando-se um refratômetro digital (AR 200, Reichert Analytical Instruments), que fornece medidas diretas em °Brix, com resolução de 0,1°Brix.

5.2.3.4 Cor

A cor das amostras foi determinada na região oposta ao pedúnculo da fruta. As medidas foram realizadas por meio da utilização de um colorímetro (Miniscan EZ, Hunterlab) operando no sistema CIELAB (L^* , a^* , b^* , C, h), utilizando sistema de iluminação D65 e ângulo de observação de 10°. O índice " L^* " mede a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco); a coordenada " a^* " mede da cor verde (negativo) à cor vermelha (positivo); e a coordenada " b^* " mede da cor azul (negativo) à cor amarela (positivo). O " C " ou croma, fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o " h " corresponde à tonalidade à cor vermelha (0°), à cor amarela (90°), à cor verde (180°) e à cor azul (360°) (KONICA MINOLTA, 1998).

5.2.3.5 Textura

A avaliação instrumental da textura foi realizada por meio de um analisador de textura digital (TAXT2i, Stable Micro System), com célula de carga de 50 kg. Para realização do ensaio de perfuração foi utilizado uma sonda de 2 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 3,3 mm/s, 3 mm/s e 5 mm/s, respectivamente. A profundidade de perfuração foi de 5,0 mm e o tempo de amostragem de 30 s. O ensaio de perfuração foi realizado na região equatorial do fruto. O ensaio de compressão foi realizado utilizando-se uma sonda cilíndrica de alumínio com 45 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 1 mm/s, 2 mm/s e 5 mm/s, respectivamente, a deformação utilizada foi de 30% do produto. O ensaio de compressão

foi realizado no sentido do eixo do fruto, após a remoção do pedúnculo. A deformação (%) foi calculada pela razão entre a deformação absoluta (mm) e o comprimento inicial da amostra (mm), conforme mostrado na Equação 5.2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Onde: ΔH é a variação absoluta da dimensão do corpo devido à aplicação da força (mm); H_0 é a dimensão inicial do corpo (mm).

Para o ensaio de relaxação foram utilizados os mesmos parâmetros do teste de compressão, porém, com deformação de 10% do produto e tempo de amostragem de 30s. O decaimento da força com o tempo foi monitorado com leitura realizada a cada 0,1 s. Os resultados do teste de relaxação (força em relação ao tempo) foram ajustados pelo modelo empírico de Peleg (1980), dado pela Equação 5.3.

$$\frac{F(t)}{F_0} = 1 - \frac{c_1 t}{c_2 + t} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Onde: $F(t)$ é a força registrada em um tempo t , F_0 é a força inicial máxima, c_1 e c_2 são constantes do modelo. A razão de relaxação foi calculada pela Equação 5.4.

$$R.R = \frac{F(t)}{F_0} \quad (\text{Eq. 5.4})$$

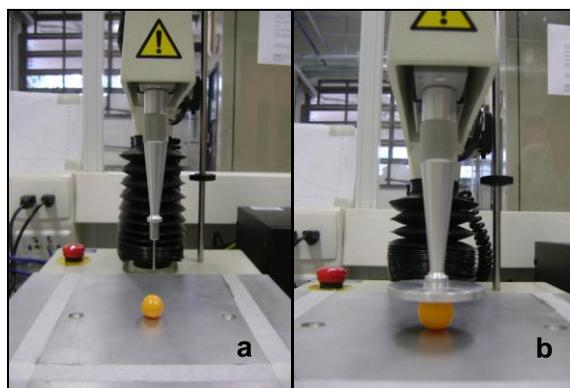


Figura 5.2: Análise de textura: (a) sonda utilizada no ensaio de perfuração; (b) sonda utilizada no ensaio de compressão e relaxação.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Perda de massa fresca

A Figura 5.3 apresenta os resultados de perda de massa fresca para amostras de physalis com cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

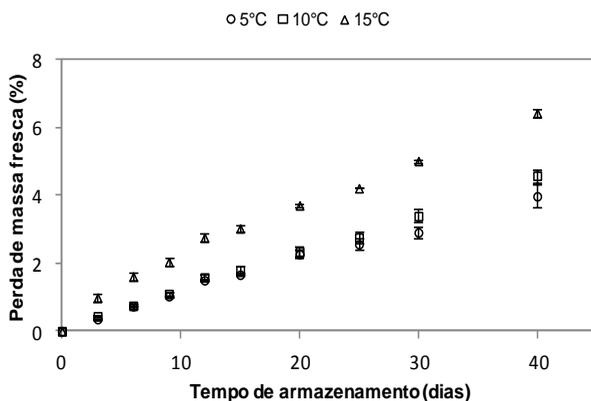


Figura 5.3: Perda de massa fresca de physalis com cálice armazenada em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

As physalis armazenadas com cálice apresentaram perdas de massa fresca de 4,0%, 4,6% e 6,5% após 40 dias de armazenamento a 5°C, 10°C e 15°C, respectivamente. A Figura 5.3 mostra que a perda de massa dos frutos com cálice foi mais acentuada a 15°C, sendo que esta diferença pode ser observada desde o 3º dia de armazenamento. Para amostras armazenadas a 5°C e 10°C, a perda de massa foi inferior a 5% ao longo de todo o período de armazenamento. Segundo Kang e Lee (1998), a perda de massa de 5% em produtos frescos causa o murchamento (amolecimento) e a perda do frescor do produto.

A Figura 5.4 apresenta os resultados de perda de massa fresca para amostras de physalis sem cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

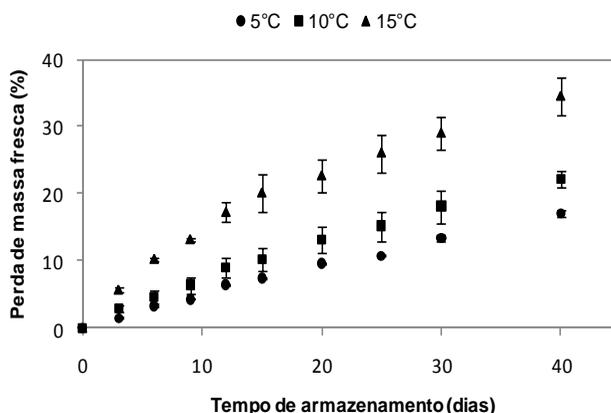


Figura 5.4: Perda de massa fresca de physalis sem cálice armazenada em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

As physalis armazenadas sem cálice apresentaram perdas de massa fresca de 17,0%, 22,2% e 34,5% após 40 dias de armazenamento a 5°C, 10°C e 15°C, respectivamente. A Figura 5.4 mostra que a perda de massa dos frutos sem cálice foi mais acentuada a 10°C e a 15°C, sendo que esta perda foi mais evidente a partir do 20º dia para amostras armazenadas a 10°C e a partir do 3º dia para as amostras armazenadas a 15°C. Para as frutas armazenadas a 5°C observou-se que perda de massa foi superior a 5% desde o 12º dia de armazenamento. A temperatura de armazenamento influenciou a perda de massa dos frutos, sendo mais intensa para as amostras estocadas a 15°C em ambos os tratamentos (com e sem cálice). Resultado semelhante foi descrito por Bolzan et al. (2011), que obtiveram a menor perda de peso para os frutos armazenados a 2°C ao longo de 90 dias.

Comparando os resultados de perda de massa fresca para os frutos com e sem cálice (Figura 5.3 e 5.4), observou-se que as physalis armazenadas com cálice apresentaram menor perda de massa para as três temperaturas avaliadas. Segundo Barbosa (2007), a perda de massa fresca é um parâmetro fundamental a ser avaliado, pois quando excessiva, pode resultar em perdas quantitativas e comprometer a aparência do produto, levando à sua rejeição pelo consumidor. De fato, a perda de massa das physalis sem cálice afetou a qualidade visual do produto devido ao murchamento da fruta durante o armazenamento. A menor perda de massa apresentada para as frutas com cálice pode ser

explicada pelo fato do cálice e a cera que protegem naturalmente o fruto, evitarem a perda de água em excesso para o ambiente. Resultados descritos por Ávila et al. (2006) indicaram perda de massa de 9% a 12% para physalis com cálice armazenada a 18°C após 20 dias, dependendo do grau de maturação das frutas. Segundo o autor, as physalis armazenadas com cálice a temperatura ambiente (18°C) apresentaram perda de massa superior ao limite de 5% após 20 dias de armazenamento. Alvarado et al. (2004) avaliou as alterações nas características físico-químicas de physalis com e sem cálice armazenadas a 1,5°C durante 34 dias e observou valores de perdas de massa fresca inferiores a 5% para os tratamentos com e sem cálice. Segundo o autor, não houve diferença estatística nos resultados de perda de massa entre os tratamentos avaliados.

5.3.2 pH

A Tabela 5.1 apresenta os valores de pH para amostras de physalis com cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

Tabela 5.1: Valores de pH de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

Tempo (dias)	pH*		
	5°C	10°C	15°C
0	3,28 ± 0,03 ^{Ea}	3,28 ± 0,06 ^{Da}	3,28 ± 0,06 ^{Fa}
3	3,17 ± 0,01 ^{Fb}	3,19 ± 0,02 ^{Eb}	3,32 ± 0,01 ^{Fa}
6	3,29 ± 0,02 ^{Eb}	3,29 ± 0,01 ^{Db}	3,34 ± 0,02 ^{EFa}
9	3,37 ± 0,01 ^{Da}	3,38 ± 0,01 ^{Ca}	3,40 ± 0,01 ^{DEa}
12	3,46 ± 0,02 ^{BCab}	3,47 ± 0,02 ^{Ba}	3,42 ± 0,01 ^{Db}
15	3,40 ± 0,01 ^{CDc}	3,50 ± 0,01 ^{Bb}	3,55 ± 0,01 ^{Ca}
20	3,41 ± 0,01 ^{CDc}	3,46 ± 0,02 ^{Bb}	3,57 ± 0,01 ^{Ca}
25	3,41 ± 0,02 ^{CDc}	3,45 ± 0,01 ^{BCb}	3,70 ± 0,01 ^{Ba}
30	3,50 ± 0,02 ^{ABc}	3,66 ± 0,01 ^{Ab}	3,72 ± 0,02 ^{Ba}
40	3,53 ± 0,02 ^{Ac}	3,72 ± 0,01 ^{Ab}	4,07 ± 0,01 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Os resultados mostraram aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de pH das amostras com cálice ao longo do período de armazenamento para as três temperaturas. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de pH entre as diferentes temperaturas avaliadas. A maior variação no pH foi observada para as amostras armazenadas a 15°C quando comparadas as amostras armazenadas a 5°C e 10°C. De acordo com Carnelossi et al. (2005) as reações metabólicas que ocorrem durante o amadurecimento podem ser minimizadas através do abaixamento da temperatura, estima-se que estas reações são reduzidas de duas a três vezes a cada redução de 10°C.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), frutas se tornam menos ácidas com o decorrer do tempo, devido ao consumo de ácidos orgânicos como substrato na respiração ou de sua conversão em açúcares durante o processo de maturação. Assim, o pH das frutas aumenta com a redução da acidez, podendo ser utilizado como indicativo dessa variação. Arango et al. (2010) observaram variação de pH de 3,39 para 3,57 em *Physalis* fresca armazenadas a 4°C por 15 dias sob condições atmosféricas em embalagens plásticas de polietileno e poliamida. Ávila et al. (2006) avaliaram o pH de *Physalis* e obtiveram valores entre 3,6 e 4,4 para frutos com diferentes graus de maturação.

A Tabela 5.2 apresenta os valores de pH para amostras de *Physalis* sem cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

Tabela 5.2: Valores de pH de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

Tempo (dias)	pH*		
	5°C	10°C	15°C
0	3,28 ± 0,03 ^{Ea}	3,28 ± 0,03 ^{Ea}	3,28 ± 0,03 ^{Fa}
3	3,19 ± 0,01 ^{Fb}	3,20 ± 0,02 ^{Fab}	3,24 ± 0,03 ^{Fa}
6	3,32 ± 0,01 ^{Ea}	3,28 ± 0,01 ^{Eb}	3,34 ± 0,01 ^{Ea}
9	3,46 ± 0,02 ^{Bca}	3,34 ± 0,01 ^{Db}	3,47 ± 0,01 ^{Da}
12	3,39 ± 0,01 ^{Db}	3,40 ± 0,01 ^{Cb}	3,46 ± 0,03 ^{Da}
15	3,46 ± 0,01 ^{BCc}	3,49 ± 0,02 ^{Bb}	3,54 ± 0,01 ^{Ca}
20	3,45 ± 0,01 ^{CDb}	3,48 ± 0,01 ^{Bb}	3,54 ± 0,02 ^{Ca}
25	3,50 ± 0,02 ^{ABb}	3,50 ± 0,01 ^{Bb}	3,71 ± 0,01 ^{Ba}
30	3,53 ± 0,02 ^{Ab}	3,54 ± 0,01 ^{Ab}	3,75 ± 0,01 ^{Ba}
40	3,54 ± 0,03 ^{Ab}	3,56 ± 0,01 ^{Ab}	3,99 ± 0,02 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

A Tabela 5.2 mostra um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de pH das amostras de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento para as três temperaturas. As amostras armazenadas a 15°C apresentaram maior variação no valor de pH do que as amostras armazenadas a 5°C e 10°C. Não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as temperaturas de 5°C e 10°C para os valores de pH ao final do período de armazenamento das amostras sem cálice.

Comparando os resultados de pH apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2, observou-se que para os dois tratamentos houve aumento mais acentuado do pH para as amostras armazenadas a 15°C. Os valores de pH para physalis com e sem cálice não apresentaram diferença significativa ($p \geq 0,05$) quando avaliadas nas mesmas temperaturas (dados não mostrados). Resultados semelhantes foram encontrados por Alvarado et al. (2004), que avaliaram as características físico-químicas de physalis e observaram que os valores de pH das amostras com e sem cálice armazenadas a 1,5°C por 34 dias não apresentaram diferença significativa. O autor afirma que houve um aumento significativo nos valores de pH de physalis com o decorrer do tempo, entretanto o comportamento das frutas com e sem cálice foram similares. Lancho et al. (2007) estudaram o comportamento de physalis durante o período pós-colheita e observaram que os frutos com cálice apresentaram valor

de pH superior aos frutos sem cálice até a 2^o semana de armazenamento, entretanto ao final de 4 semanas não houve diferença entre os valores de pH das frutas com e sem cálice armazenadas a 7°C.

5.3.3 Sólidos solúveis totais

A Tabela 5.3 apresenta os valores de sólidos solúveis totais (SST) para amostras de physalis com cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

Tabela 5.3: Sólidos solúveis totais (SST) de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

Tempo (dias)	SST (°Brix)*		
	5°C	10°C	15°C
0	14,4 ± 0,1 ^{Aa}	14,4 ± 0,1 ^{Ba}	14,4 ± 0,1 ^{Ba}
3	14,4 ± 0,1 ^{Aa}	14,0 ± 0,1 ^{Db}	13,7 ± 0,0 ^{Dc}
6	13,8 ± 0,1 ^{BCb}	13,5 ± 0,0 ^{Ec}	14,0 ± 0,0 ^{Ca}
9	13,7 ± 0,1 ^{CDa}	13,0 ± 0,1 ^{Fb}	13,8 ± 0,1 ^{CDa}
12	13,8 ± 0,1 ^{BCb}	13,4 ± 0,1 ^{Ec}	14,5 ± 0,1 ^{Ba}
15	13,5 ± 0,1 ^{Dc}	13,9 ± 0,1 ^{Db}	14,3 ± 0,0 ^{Ba}
20	12,9 ± 0,1 ^{Ec}	13,6 ± 0,1 ^{Eb}	14,4 ± 0,0 ^{Ba}
25	13,6 ± 0,1 ^{CDc}	14,1 ± 0,2 ^{CDb}	14,7 ± 0,1 ^{Aa}
30	13,8 ± 0,1 ^{BCb}	14,3 ± 0,0 ^{BCa}	14,4 ± 0,1 ^{Ba}
40	14,0 ± 0,2 ^{Bc}	14,6 ± 0,1 ^{Ab}	14,9 ± 0,1 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Analisando a Tabela 5.3, verificou-se uma pequena redução no teor de sólidos solúveis totais de physalis armazenadas com cálice a 5°C ao longo dos dias. Arango et al. (2010) observaram variação no conteúdo de SST de 14,27 para 13,48°Brix em physalis armazenadas a 4°C por 15 dias sob condições atmosféricas em embalagens plásticas de polietileno e poliamida. De acordo com Alvarado et al. (2004) o uso de baixas temperaturas pode reduzir o metabolismo das frutas e com isso provocar a redução da síntese de açúcares. E assim, os açúcares existentes na fruta passam a ser utilizados em outros processos.

Para as amostras armazenadas a 10°C e 15°C houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de SST ao final dos 40 dias de armazenamento. Porém, foi observada uma redução no teor de SST do 1º ao 9º dia de avaliação. Este declínio no teor de SST pode estar associado ao aumento na taxa respiratória da fruta, visto que parte dos açúcares são utilizados no processo de respiração, embora muitas vezes a síntese de açúcares seja maior do que o gasto no processo respiratório (ALVARADO et al., 2004).

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) no teor de SST entre as amostras nas três temperaturas avaliadas, sendo que as frutas armazenadas a 5°C apresentaram o menor teor de SST e as amostras submetidas à temperatura de 15°C apresentaram o maior teor de SST após 40 dias. Este resultado indica que a temperatura apresentou influência sobre o teor SST da fruta, devido, muito provavelmente, ao maior grau de maturação da fruta nessa condição de armazenamento. Segundo Fischer e Martínez (1999), o conteúdo de sólidos solúveis totais está constituído por 80 a 95% de açúcares. A quantificação dos SST está associada aos açúcares dissolvidos no suco celular. O aumento do conteúdo de açúcares se deve à hidrólise de amido e/ou síntese de sacarose e oxidação de ácidos consumidos na respiração (ALVARADO et al., 2004; LANCHERO et al., 2007).

Em estudo apresentado por Novoa et al. (2006), o teor de sólidos solúveis totais de physalis com cálice aumentou de 11,6 para 13,5°Brix após 30 dias de armazenamento a 12°C. Os valores de sólidos solúveis totais da physalis com cálice foram semelhantes aos reportados por Lanchero et al. (2007).

A Tabela 5.4 apresenta os valores de sólidos solúveis totais (SST) para amostras de physalis sem cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

Tabela 5.4: Sólidos solúveis totais (SST) de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

Tempo (dias)	SST (°Brix)*		
	5°C	10°C	15°C
0	14,3 ± 0,0 ^{Ga}	14,3 ± 0,0 ^{Fa}	14,3 ± 0,0 ^{Fa}
3	14,8 ± 0,1 ^{EFa}	14,6 ± 0,1 ^{Eb}	14,8 ± 0,1 ^{Ea}
6	14,1 ± 0,0 ^{Hb}	14,0 ± 0,1 ^{Gb}	14,5 ± 0,1 ^{Fa}
9	14,7 ± 0,1 ^{Fc}	15,3 ± 0,1 ^{Da}	15,2 ± 0,1 ^{Db}
12	14,9 ± 0,1 ^{Eb}	15,7 ± 0,1 ^{Ca}	15,0 ± 0,1 ^{Eb}
15	15,2 ± 0,1 ^{Da}	15,2 ± 0,1 ^{Da}	15,2 ± 0,0 ^{Da}
20	15,4 ± 0,1 ^{Cb}	16,1 ± 0,1 ^{Ba}	15,2 ± 0,1 ^{Db}
25	15,3 ± 0,1 ^{CDc}	16,4 ± 0,0 ^{Aa}	15,7 ± 0,1 ^{Cb}
30	15,6 ± 0,1 ^{Bb}	16,1 ± 0,1 ^{Ba}	15,9 ± 0,1 ^{Ba}
40	16,0 ± 0,1 ^{Ab}	16,3 ± 0,2 ^{ABb}	16,7 ± 0,1 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

A Tabela 5.4 mostra que houve aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de sólidos solúveis totais de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento para as três temperaturas. As amostras armazenadas a 15°C apresentaram maior variação no conteúdo de SST do que as amostras armazenadas a 5°C e 10°C. Não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as temperaturas de 5°C e 10°C para os valores de SST ao final do período de armazenamento das amostras sem cálice. À medida que os frutos amadurecem, os teores de sólidos solúveis totais aumentam devido a processos de hidrólise do amido em açúcares mais simples (ALVARADO et al., 2004).

Comparando os resultados de SST apresentados nas Tabelas 5.3 e 5.4, observou-se que para os dois tratamentos houve aumento mais intenso no teor de SST para as amostras estocadas a temperaturas mais elevadas, possivelmente devido às reações metabólicas que ocorrem de forma mais acelerada em temperaturas maiores (CARNELOSSI et al., 2005). Foi possível constatar que amostras armazenadas sem o cálice apresentaram valores de SST superiores ($p \leq 0,05$) aos obtidos para as amostras armazenadas com cálice nas mesmas temperaturas (dados não mostrados). Isto indica que a remoção do cálice da fruta propiciou maior perda de água, concentrando os sólidos solúveis presentes nas amostras. Resultados semelhantes foram encontrados por Alvarado et al. (2004),

que avaliaram as características físico-químicas de physalis e observaram que os valores de SST para physalis com cálice variaram de 14,5 para 15°Brix e para as amostras sem cálice houve aumento de 13,8 para 15°Brix após 34 dias de armazenamento a 1,5°C. Sendo assim, neste estudo, a preservação do cálice da physalis retardou o processo de maturação da fruta.

O aumento no teor de açúcares das physalis armazenadas sem cálice está diretamente ligado ao aumento do pH das frutas submetidas ao mesmo tratamento, visto que durante o processo de amadurecimento, os ácidos orgânicos presentes são utilizados na síntese de açúcares, o que explica o aumento no teor de SST e consequentemente redução da acidez da fruta.

5.3.4 Cor

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C , h) para physalis com e sem cálice, respectivamente, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

Os resultados da Tabela 5.5 mostram redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de L^* ao longo do período de armazenamento para as amostras de physalis armazenadas com cálice nas três temperaturas avaliadas. Uma diminuição no parâmetro luminosidade (L^*) indica que as frutas tornaram-se mais escuras após 40 dias de estocagem, sendo que a maior alteração ocorreu nas amostras armazenadas a 15°C e a menor alteração ocorreu nas amostras a 5°C. Este resultado demonstra que a temperatura de armazenamento influenciou no parâmetro luminosidade (L^*) das frutas armazenadas com cálice.

Para a coordenada a^* , que mede a variação da cor verde à cor vermelha, houve alteração significativa ao longo dos dias de armazenamento ($p \leq 0,05$), indicando um leve aumento na tendência a coloração vermelha das frutas armazenadas com cálice a 5°C, 10°C e 15°C. Porém, as diferentes temperaturas avaliadas não apresentaram efeito significativo ($p \geq 0,05$) sobre a coordenada a^* das amostras armazenadas com cálice.

Para a coordenada b^* , os valores apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo do armazenamento, demonstrando o aumento da coloração amarela para as amostras de physalis armazenadas com cálice nas três temperaturas avaliadas. A maior alteração na cor amarela foi observada para as amostras armazenadas com cálice a 10°C e 15°C e a menor alteração ocorreu nas amostras a

5°C. Este resultado indica que as alterações na intensidade da cor amarela de *Physalis* armazenada com cálice podem ser reduzidas sob condições de estocagem a baixa temperatura.

O parâmetro C ou croma, que fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor das amostras, apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias de armazenamento, indicando um aumento na intensidade da cor das *Physalis* armazenadas com cálice nas diferentes temperaturas. A maior alteração na intensidade da cor foi observada para as amostras armazenadas com cálice a 10°C e 15°C e a menor alteração ocorreu nas amostras a 5°C. Este resultado também foi observado para as coordenadas L*, a* e b*.

O parâmetro h ou ângulo *hue*, que corresponde à tonalidade da amostra, não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) para as *Physalis* armazenadas com cálice ao longo do período de armazenamento. Com base neste parâmetro, é possível afirmar que as amostras mantiveram tonalidade amarela durante todo o período de armazenamento sob diferentes temperaturas.

Arango et al. (2010) avaliaram as características de cor de frutos do gênero *Physalis* armazenadas sem cálice a 4°C por 15 dias em três regiões diferentes da fruta, pedúnculo, ápice e zona equatorial, utilizando um espectrocolorímetro (SP64, X-RITE) e sistema CIELAB. Os autores observaram que em todas as regiões analisadas houve diferença significativa ao longo do tempo para as coordenadas L*, a*, b* e as medidas realizadas na região peduncular foram diferentes das medidas realizadas na zona equatorial e no ápice da fruta. Este comportamento foi atribuído pelos autores, a menor concentração de carotenoides na região do pedúnculo e as mudanças fisiológicas durante o processo de maturação do fruto.

Lima et al. (2009) avaliaram a cor da epiderme dos frutos de *Physalis* em função da coloração do cálice no momento da colheita, usando colorímetro (CR300, Minolta) e sistema CIELAB. Os autores obtiveram valor de L* igual a 67, valor de a* próximo de 8, b* igual a 38,5 e h de aproximadamente 75° para fase de coloração de cálice amarelo-amarronzado.

Restrepo et al. (2009) avaliaram a cor de *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) frescas em sistema CIELAB e observaram valores de L* igual a 71, a* igual a 15 e b* de 62.

Gutierrez et al. (2008), que avaliaram o ângulo *hue* de *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) armazenadas a 20°C por 8 dias utilizando um colorímetro (CR300, Minolta) e sistema CIELAB, mostraram uma

redução nos valores de h de 95° para 80° , indicando uma tendência da amostra à tonalidade vermelha com o decorrer do tempo.

Cabe salientar que as diferenças dos resultados apresentados para análise de cor de physalis pode ser explicada pelo uso de equipamentos e sistemas de determinação de cor distintos, bem como diferenças da própria fruta causadas pelo clima durante o plantio, solo e época de colheita.

Tabela 5.5: Análise de cor de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

T (°C)	Cor	Dias de armazenamento									
		0	3	6	9	12	15	20	25	30	40
5°C	L*	26,68±0,71 ^{Aa}	21,34±1,22 ^{Ba}	19,86±0,75 ^{Bcb}	18,80±0,94 ^{BCDa}	18,31±1,40 ^{CDa}	17,87±0,78 ^{CDa}	16,62±0,50 ^{Da}	16,73±0,67 ^{Da}	16,71±1,28 ^{Da}	16,30±0,88 ^{Da}
	a*	12,03±0,73 ^{Ba}	12,73±0,60 ^{ABa}	12,54±0,55 ^{ABa}	12,74±0,63 ^{ABa}	12,89±0,77 ^{ABa}	13,01±0,46 ^{ABa}	13,29±0,56 ^{ABa}	13,68±0,58 ^{ABa}	13,97±0,47 ^{Aa}	14,11±0,84 ^{Aa}
	b*	24,95±0,46 ^{Ea}	24,80±0,68 ^{Ea}	25,02±0,51 ^{DEa}	24,97±0,84 ^{DEa}	25,96±1,06 ^{CDEa}	26,16±0,35 ^{BCDEa}	26,89±0,18 ^{BCDa}	27,54±1,20 ^{BCa}	28,03±0,27 ^{ABb}	29,94±0,14 ^{Ab}
	C	27,71±0,10 ^{Da}	27,89±0,46 ^{Da}	27,99±0,37 ^{Db}	28,04±0,79 ^{Db}	28,98±1,21 ^{CDa}	29,22±0,28 ^{CDb}	30,00±0,13 ^{BCb}	30,75±1,26 ^{BCa}	31,32±0,32 ^{ABb}	33,10±0,30 ^{Ab}
	h°	64,26±1,76 ^{Aa}	62,82±1,60 ^{Aa}	63,37±1,35 ^{Aa}	62,96±1,42 ^{Aa}	63,60±1,03 ^{Aa}	63,55±0,99 ^{Aa}	63,70±1,10 ^{Aa}	63,58±0,81 ^{Ab}	63,52±0,80 ^{Aa}	64,78±1,37 ^{Aa}
10°C	L*	26,68±0,71 ^{Aa}	23,13±1,20 ^{BCa}	23,48±2,23 ^{ABa}	20,48±0,84 ^{BCDa}	20,05±0,99 ^{CDEa}	18,62±1,06 ^{DEFa}	17,65±0,86 ^{DEFGa}	16,82±1,34 ^{EFGa}	15,88±0,29 ^{FGa}	14,49±0,52 ^{Gb}
	a*	12,03±0,73 ^{Ba}	12,51±0,54 ^{ABa}	12,72±0,64 ^{ABa}	13,17±0,26 ^{ABa}	13,24±0,46 ^{ABa}	13,68±0,95 ^{ABa}	13,94±0,45 ^{Aa}	14,35±0,53 ^{Aa}	14,25±1,06 ^{Aa}	14,29±0,55 ^{Aa}
	b*	24,95±0,46 ^{Ea}	25,23±1,08 ^{Ea}	25,93±0,48 ^{DEa}	26,45±0,60 ^{CDEa}	26,91±0,51 ^{CDEa}	27,96±0,86 ^{BCDab}	27,71±1,30 ^{BCDa}	28,61±1,24 ^{BCa}	29,98±0,34 ^{ABa}	31,96±0,76 ^{Aa}
	C	27,71±0,10 ^{Ea}	28,17±1,20 ^{Ea}	28,89±0,28 ^{DEab}	29,55±0,42 ^{DEab}	29,99±0,29 ^{CDEa}	31,14±0,68 ^{BCDa}	31,02±1,28 ^{BCDab}	32,01±1,31 ^{BCa}	33,20±0,74 ^{ABab}	35,01±0,47 ^{Aa}
	h°	64,26±1,76 ^{Aa}	63,62±0,05 ^{Aa}	63,88±1,48 ^{Aa}	63,52±0,96 ^{Aa}	63,79±1,19 ^{Aa}	63,91±2,01 ^{Aa}	63,27±0,91 ^{Aa}	63,36±0,56 ^{Ab}	64,61±1,44 ^{Aa}	65,90±1,33 ^{Aa}
15°C	L*	26,68±0,71 ^{Aa}	21,92±0,24 ^{Ba}	19,74±0,67 ^{Cb}	18,58±0,48 ^{CDa}	17,44±0,96 ^{DEa}	16,55±0,94 ^{DEFa}	16,15±0,53 ^{EFa}	15,72±0,36 ^{EFa}	14,65±1,13 ^{Fa}	12,30±0,50 ^{Gc}
	a*	12,03±0,73 ^{Ba}	12,97±0,05 ^{ABa}	13,44±0,87 ^{ABa}	13,41±0,60 ^{ABa}	13,73±0,76 ^{ABa}	13,99±0,77 ^{Aa}	14,17±0,52 ^{Aa}	14,01±0,51 ^{Aa}	14,11±0,46 ^{Aa}	14,45±0,46 ^{Aa}
	b*	24,95±0,46 ^{Da}	25,68±0,98 ^{Da}	26,32±1,45 ^{Da}	27,16±1,44 ^{CDa}	27,32±1,50 ^{CDa}	28,16±1,01 ^{BCDb}	29,81±1,64 ^{ABCa}	30,11±0,65 ^{ABCa}	31,24±1,26 ^{ABa}	32,07±0,80 ^{Aa}
	C	27,71±0,10 ^{Fa}	28,77±0,85 ^{EFa}	29,58±0,94 ^{EFa}	30,31±1,05 ^{DEFa}	30,59±1,29 ^{CDEa}	31,45±0,88 ^{BCDEa}	33,01±1,55 ^{ABCDa}	33,21±0,80 ^{ABCa}	34,29±1,13 ^{ABa}	35,18±0,66 ^{Aa}
	h°	64,26±1,76 ^{Aa}	63,18±0,95 ^{Aa}	62,90±2,71 ^{Aa}	63,67±2,18 ^{Aa}	63,28±2,00 ^{Aa}	63,56±1,68 ^{Aa}	64,55±1,30 ^{Aa}	65,06±0,33 ^{Aa}	65,67±1,22 ^{Aa}	65,73±1,05 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas colunas (para o mesmo parâmetro) indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Tabela 5.6: Análise de cor de physalis sem cálice ao longo do período de armazenamento em embalagens rígidas sob diferentes temperaturas.

T (°C)	Cor	Dias de armazenamento									
		0	3	6	9	12	15	20	25	30	40
5°C	L*	25,58±1,92 ^{Aa}	21,44±1,26 ^{Ba}	20,68±1,31 ^{Ba}	18,19±0,70 ^{BCa}	18,09±1,82 ^{Ba}	16,08±0,24 ^{CDa}	16,53±0,84 ^{CDa}	15,25±1,35 ^{CDa}	14,96±1,11 ^{CDa}	13,87±1,31 ^{Da}
	a*	11,59±0,96 ^{Ba}	11,46±1,12 ^{Ba}	11,81±0,68 ^{Ba}	11,65±0,66 ^{Ba}	12,09±0,38 ^{ABa}	12,01±0,73 ^{ABa}	12,33±0,84 ^{ABb}	13,47±0,85 ^{ABa}	13,15±0,77 ^{ABa}	14,08±0,36 ^{Aa}
	b*	25,19±2,07 ^{Da}	25,71±0,82 ^{Da}	25,24±1,31 ^{Da}	25,98±1,49 ^{CDa}	25,93±0,98 ^{CDa}	26,68±0,50 ^{CDa}	27,10±2,55 ^{BCDa}	30,03±1,26 ^{ABCa}	31,25±1,44 ^{ABa}	32,33±1,32 ^{Aa}
	C	27,75±1,76 ^{Ca}	28,15±1,21 ^{Ca}	27,88±1,07 ^{Ca}	28,48±1,46 ^{Ca}	28,61±0,84 ^{Ca}	29,27±0,75 ^{BCa}	29,78±2,64 ^{BCa}	32,92±1,02 ^{ABa}	33,92±1,06 ^{Aa}	35,27±1,36 ^{Aa}
	h°	65,20±2,99 ^{Aa}	66,02±1,44 ^{Aa}	64,88±2,10 ^{Aa}	65,83±1,47 ^{Aa}	64,97±1,26 ^{Aa}	65,78±0,90 ^{Aa}	65,50±0,89 ^{Aa}	65,82±1,97 ^{Aa}	67,13±2,10 ^{Aa}	66,47±0,33 ^{Aa}
10°C	L*	25,58±1,92 ^{Aa}	21,38±1,47 ^{Ba}	19,12±0,43 ^{BCa}	16,53±0,64 ^{CDa}	13,86±0,88 ^{DEb}	13,37±0,50 ^{Eb}	12,90±0,51 ^{Eb}	11,59±0,53 ^{EFb}	12,60±0,46 ^{Eb}	9,81±0,86 ^{Fb}
	a*	11,59±0,96 ^{BCDEa}	10,99±0,81 ^{DEa}	10,56±0,47 ^{Ea}	11,82±0,89 ^{BCDEa}	11,42±0,98 ^{CDEa}	12,63±0,43 ^{ABCDa}	13,12±0,08 ^{ABCab}	13,51±0,42 ^{ABa}	13,09±0,62 ^{ABCa}	14,47±0,43 ^{Aa}
	b*	25,19±2,07 ^{Ea}	25,11±0,06 ^{Ea}	26,03±1,47 ^{DEa}	26,38±1,43 ^{DEa}	27,34±0,94 ^{CDEa}	27,81±0,83 ^{CDEa}	28,97±1,03 ^{BCDa}	30,66±1,41 ^{ABCa}	32,17±0,43 ^{ABa}	33,24±0,55 ^{Aa}
	C	27,75±1,76 ^{Ea}	27,42±0,31 ^{Ea}	28,09±1,50 ^{Ea}	28,91±1,67 ^{DEa}	29,64±0,69 ^{DEa}	30,55±0,87 ^{CDEa}	31,80±0,92 ^{BCDa}	33,51±1,33 ^{ABCa}	34,73±0,18 ^{ABa}	36,25±0,62 ^{Aa}
	h°	65,20±2,99 ^{Aa}	66,37±1,56 ^{Aa}	67,90±0,75 ^{Aa}	65,88±0,46 ^{Aa}	67,32±2,26 ^{Aa}	65,57±0,61 ^{Aa}	65,62±0,86 ^{Aa}	66,21±1,06 ^{Aa}	67,85 ±1,21 ^{Aa}	66,48±0,52 ^{Aa}
15°C	L*	25,58±1,92 ^{Aa}	23,76±2,47 ^{Aa}	18,95±1,92 ^{Ba}	16,26±1,27 ^{Ba}	12,15±0,89 ^{Cb}	11,65±1,11 ^{Cb}	11,89±0,57 ^{Cb}	10,06±0,58 ^{Cb}	9,36±0,92 ^{Cc}	9,17±0,73 ^{Cb}
	a*	11,59±0,96 ^{BCDa}	10,43±0,17 ^{Da}	11,24±0,34 ^{CDa}	11,65±0,85 ^{BCDa}	11,40±0,91 ^{CDa}	12,86±0,90 ^{ABCa}	13,58±0,15 ^{ABa}	14,19±0,35 ^{Aa}	14,36±1,09 ^{Aa}	14,65±0,59 ^{Aa}
	b*	25,19±2,07 ^{Ea}	25,92±0,98 ^{DEa}	26,90±1,70 ^{DEa}	27,58±1,18 ^{DEa}	28,09±1,00 ^{CDEa}	28,23±0,67 ^{CDEa}	29,31±1,74 ^{BCDa}	31,28±0,42 ^{ABCa}	32,22±0,35 ^{ABa}	33,92±1,17 ^{Aa}
	C	27,75±1,76 ^{Ea}	27,94±0,93 ^{Ea}	29,16±1,50 ^{DEa}	29,94±1,41 ^{DEa}	30,33±1,12 ^{DEa}	31,03±0,84 ^{CDEa}	32,31±1,56 ^{BCDa}	34,35±0,34 ^{ABCa}	35,29±0,16 ^{ABa}	36,95±1,30 ^{Aa}
	h°	65,20±2,99 ^{Aa}	68,07±0,69 ^{Aa}	67,28±1,70 ^{Aa}	67,12±0,70 ^{Aa}	67,92±1,42 ^{Aa}	65,52±1,39 ^{Aa}	65,09±1,38 ^{Aa}	65,60±0,72 ^{Aa}	65,99±1,84 ^{Aa}	66,65±0,21 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas colunas (para o mesmo parâmetro) indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Houve redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de L^* ao longo do período de armazenamento para as amostras de physalis armazenadas sem cálice nas três temperaturas avaliadas, indicando que as frutas tornaram-se mais escuras após 40 dias de estocagem (Tabela 5.6). As maiores alterações ocorreram nas amostras armazenadas a 10°C e 15°C e a menor alteração ocorreu na amostra a 5°C .

Para as coordenadas a^* e b^* , houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias para as frutas armazenadas sem cálice a 5°C , 10°C e 15°C , indicando aumento na coloração vermelha e amarela, respectivamente. Porém, as diferentes temperaturas avaliadas não apresentaram efeito significativo ($p \geq 0,05$) sobre as coordenadas a^* e b^* das amostras armazenadas sem cálice.

Comportamento semelhante foi observado para o parâmetro C, que apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias, porém não foi afetado pelas diferentes temperaturas avaliadas.

O parâmetro h não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) para as physalis armazenadas sem cálice ao longo do período de armazenamento. Com base neste parâmetro, as amostras mantiveram a coloração amarela durante todo o período de armazenamento sob diferentes temperaturas.

De forma geral, analisando os resultados dos parâmetros de cor para as physalis armazenadas com e sem cálice (Tabelas 5.5 e 5.6), observou-se que as amostras sem cálice mantiveram coloração amarela e escurecimento mais intensos quando comparadas as amostras armazenadas com cálice nas mesmas temperaturas.

5.3.5 Textura

5.3.5.1 Força de perfuração

De acordo com Puente et al. (2011), a firmeza é a resistência de um material à deformação ou penetração, onde cada material é caracterizado por uma deformação em resposta a diferentes níveis de força ou pressão. A firmeza serve como parâmetro para determinar a maturação de uma fruta, permitindo estabelecer os níveis ideais de consumo e transporte dos produtos e, além disso, é um bom indicador da vida útil e grau de amolecimento de frutas frescas (VELASQUEZ et al., 2007).

A Figura 5.5 apresenta a firmeza, expressa pela força de perfuração das amostras de physalis armazenadas com cálice,

acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias. É importante salientar que os cálices das frutas foram mantidos durante todo o período de armazenamento, mas foram retiradas antes da realização dos testes de textura (perfuração, compressão e relaxação).

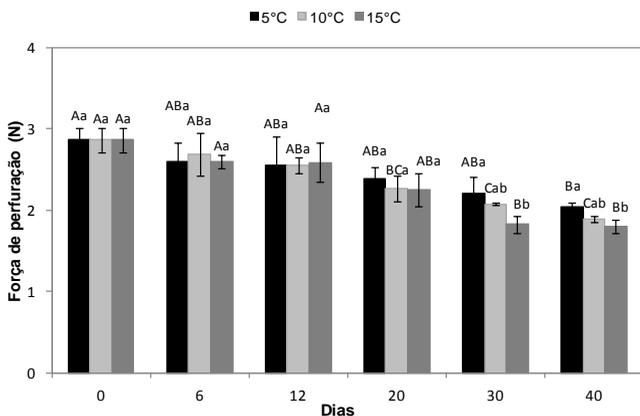


Figura 5.5: Força de perfuração (N) de physalis com cálice ao longo do período de armazenamento.

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de mesma cor indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

A Figura 5.5 mostra redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de força de perfuração ao longo do período de armazenamento para as physalis com cálice armazenadas nas três temperaturas avaliadas. A redução nos valores de força de perfuração indica uma diminuição da resistência da camada externa das frutas ao longo dos dias, possivelmente devido ao seu amadurecimento. Não foi observado efeito significativo ($p \geq 0,05$) da temperatura nos valores de força de perfuração das amostras armazenadas com cálice até o 20º dia de armazenamento. Porém, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para as amostras com cálice armazenadas a 5°C e 15°C após o 30º dia de estocagem.

A diminuição da força de perfuração da epiderme da physalis está associada à perda da firmeza das estruturas celulares devido à atividade de enzimas (pectinases) que hidrolisam os compostos da parede celular do fruto (ARANGO et al., 2010). Segundo Lancho et al. (2007), o uso de baixas temperaturas de armazenamento reduz a

atividade das enzimas responsáveis pela degradação da parede celular. Lima et al. (2009) avaliaram a firmeza dos frutos de *Physalis* em função da coloração do cálice no momento da colheita e obtiveram valor de firmeza de 8 N para a fase de coloração de cálice amarelo-amarronzado, utilizando uma sonda de 2 mm. Velasquez et al. (2007), também observaram redução da força de firmeza dos frutos de *Physalis* após o período pós-colheita e associou este resultado ao processo de amadurecimento e amolecimento da fruta.

A Figura 5.6 apresenta a força de perfuração para amostras de *Physalis* sem cálice, acondicionadas em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

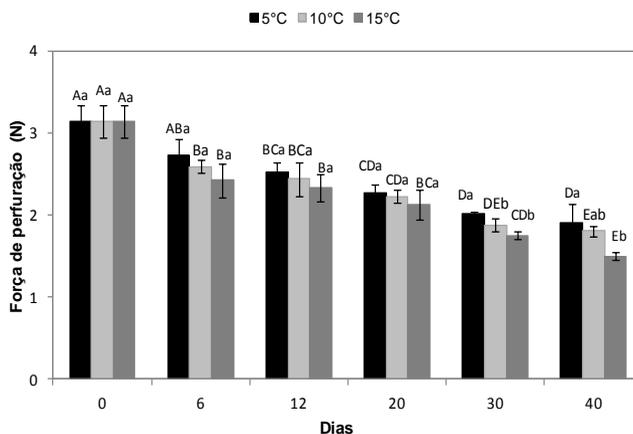


Figura 5.6: Força de perfuração (N) de *Physalis* sem cálice ao longo do período de armazenamento.

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de mesma cor indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

A Figura 5.6 mostra redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de força de perfuração ao longo do período de armazenamento para as amostras de *Physalis* armazenadas sem cálice nas três temperaturas. Não houve efeito significativo ($p \geq 0,05$) da temperatura nos valores de força de perfuração das amostras armazenadas sem cálice até o 20º dia de armazenamento. Porém, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para as frutas armazenadas sem cálice a 5°C e 15°C a partir de 30 dias de estocagem.

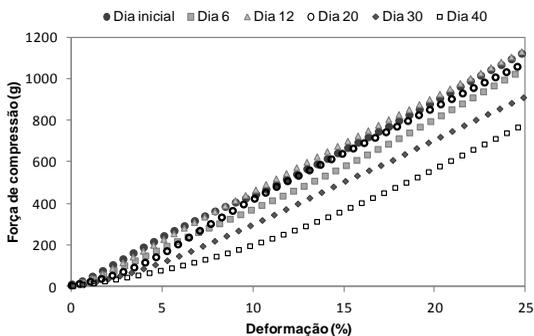
Resultados apresentados por Trincherro et al. (1999) mostraram dados de firmeza de 3,42 N para a physalis colhida com grau de maturação amarelo-alaranjado. Gutierrez et al. (2008) estudaram as alterações na firmeza de physalis em diferentes graus de maturação armazenadas a 20°C por 8 dias e observaram uma redução da firmeza de 4,0 N para 3,1 N na fruta controle ao longo dos dias.

Comparando os resultados de força de perfuração de physalis armazenadas com e sem cálice (Figuras 5.5 e 5.6), observou-se que as amostras sem cálice apresentaram maior amolecimento da estrutura do fruto quando comparadas as amostras armazenadas com cálice nas mesmas temperaturas. Este resultado mostra que o cálice manteve a firmeza da estrutura celular da fruta durante o tempo de armazenamento avaliado neste estudo. Os maiores valores de força de perfuração obtidos para as physalis armazenadas com cálice podem ser devido à força necessária para penetrar na epiderme e também para perfurar a cera que envolve naturalmente a fruta (PUENTE et al., 2011). Considerando que os produtos armazenados com cálice não passaram por nenhum processo de higienização, a cera presente no fruto permanece sobre a epiderme do mesmo até o final do período de armazenamento. Ao contrário do produto sem cálice, que é submetido a um processo de higienização, e que possivelmente remove parte desta cobertura do produto.

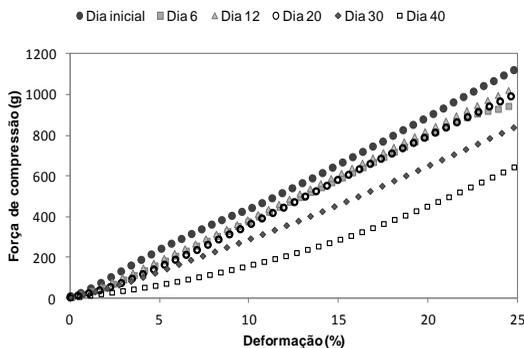
Lanchero et al. (2007) avaliaram a firmeza de physalis armazenadas com e sem cálice a 7°C por 4 semanas e observaram que ambas as frutas apresentaram redução da firmeza ao final do período de armazenamento, apresentando valores iguais de firmeza para as frutas com e sem cálice após os 30 dias.

5.3.5.2 Força de compressão

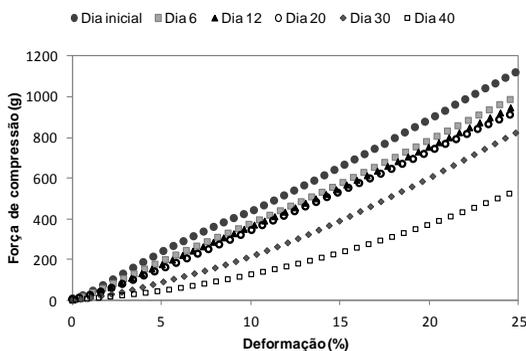
A Figura 5.7 apresenta a força de compressão para amostras de physalis acondicionadas com cálice em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.7: Força de compressão (g) de physalis com cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.

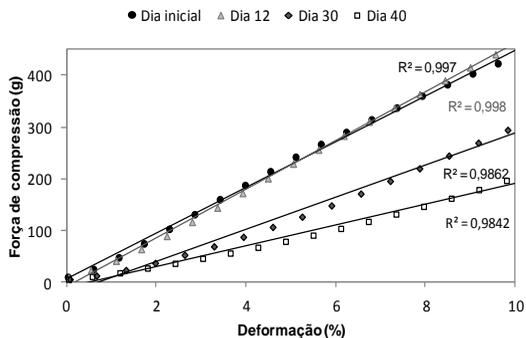
Observou-se uma redução nos valores de força de compressão do 1° ao 40° dia de armazenamento para as amostras de physalis armazenadas com cálice nas três temperaturas estudadas (Figura 5.7). Verificou-se que a redução na força de compressão das amostras foi mais intensa para os frutos armazenados a 10°C e 15°C. As physalis apresentaram, no dia inicial, força de compressão de 1120 g e após 40 dias, esta força reduziu para 795 g (redução de 29,0%), 645 g (redução de 42,4%) e 551 g (redução de 50,8%) quando armazenadas a 5°C (Figura 5.7a), 10°C (Figura 5.7b) e 15°C (Figura 5.7c), respectivamente.

Castro e Blair (2010) observaram uma redução da força de compressão para physalis de aproximadamente 1900 g para 1000 g após 35 dias.

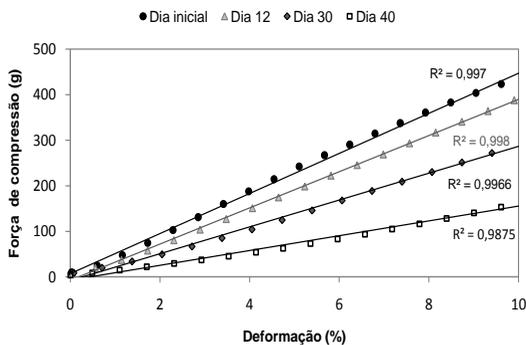
Os frutos são considerados materiais viscoelásticos, que exibem em conjunto propriedades de fluxo viscoso e sólido elástico. Considera-se que fatores como a pressão de turgor da parede celular, rigidez, fibras e água, tempo, temperatura e dimensões geométricas determinam o comportamento de uma fruta ou hortaliça (VELASQUEZ et al., 2007). Conforme Velásquez e Saraz (2008), durante o processo de maturação as células perdem umidade devido à transpiração diminuindo a pressão de turgor e debilitando a estrutura e consistência da fruta.

As deformações utilizadas no teste de compressão são grandes e, portanto, fora da região viscoelástica linear para o tecido de frutas (ERRINGTON et al., 1997). Sendo assim, os gráficos de compressão foram ampliados até deformações próximas de 10% para que fosse possível averiguar a linearidade dos dados nesta faixa de deformação. A Figura 5.8 apresenta uma ampliação dos dados de força de compressão com 10% de deformação para amostras de physalis mostradas na Figura 5.7.

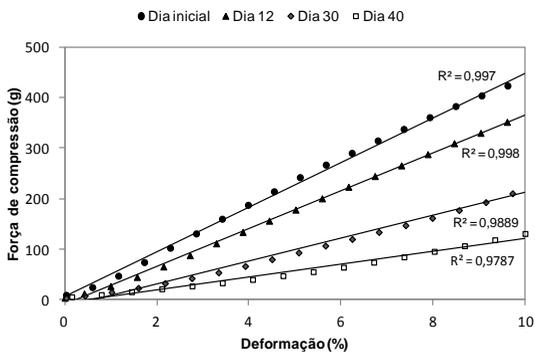
Analisando os resultados, observou-se que os dados apresentaram comportamento linear no início dos testes para as amostras de physalis com cálice armazenadas nas três temperaturas (Figura 5.8). A linearidade dos dados no início do teste de compressão denota o comportamento elástico da fruta (PUENTE et al., 2011).



(a)



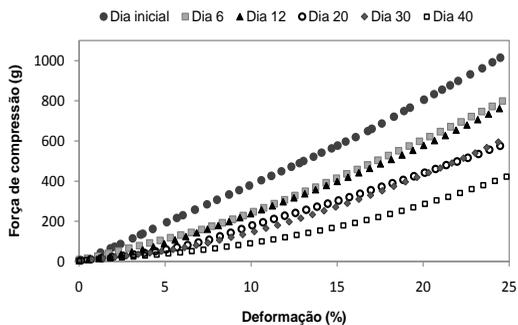
(b)



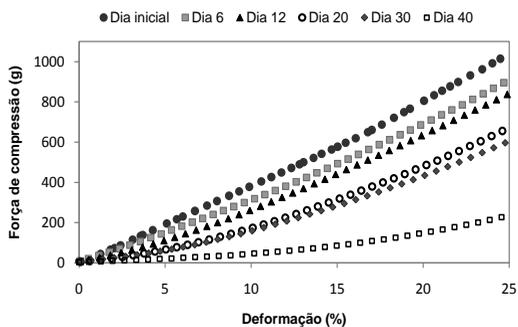
(c)

Figura 5.8: Força de compressão (g) de physalis com cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C, com 10% de deformação.

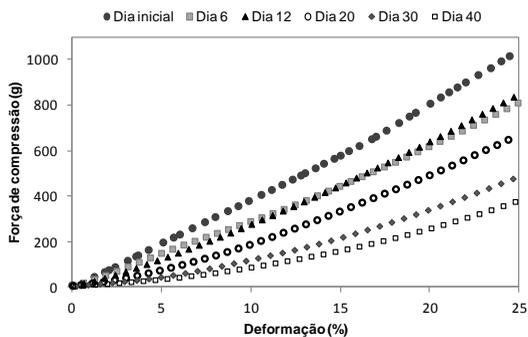
A Figura 5.9 apresenta a força de compressão de physalis armazenadas sem cálice em embalagens rígidas (PEAD) por 40 dias.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.9: Força de compressão de physalis sem cálice: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.

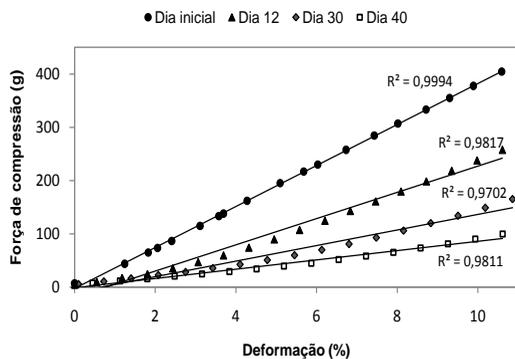
Observou-se uma redução nos valores de força de compressão para as amostras sem cálice em todo o período de armazenamento e nas três temperaturas estudadas (Figura 5.9). As amostras apresentaram, no dia inicial, força de compressão de 1015 g e após 40 dias, reduziu para 422 g (redução de 58,4%), 240 g (redução de 76,3%) e 376 g (redução de 62,9%) quando armazenadas a 5°C (Figura 5.9a), 10°C (Figura 5.9b) e 15°C (Figura 5.9c), respectivamente. Após 40 dias, o menor valor para a força de compressão foi obtido para as amostras a 10°C. Isto pode estar associado às variações do próprio fruto e não necessariamente ao tratamento que este foi submetido, visto que os ensaios de textura são testes destrutivos e para cada dia de análise foi retirado uma amostra diferente, contudo representativa do lote armazenado em cada temperatura.

Velasquez et al. (2007) avaliaram a força de compressão unidirecional de *physalis* e observaram que resistência mecânica do fruto diminuiu com o tempo de pós-colheita, indicando que a fruta madura esta mais susceptível ao dano mecânico.

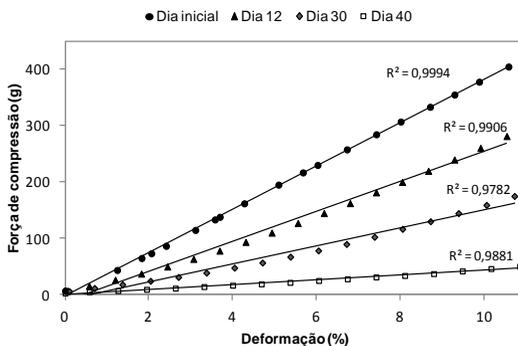
As Figuras 5.7 e 5.9 mostram que as forças de compressão das amostras armazenadas sem cálice foram menores do que as amostras armazenadas com cálice nas mesmas temperaturas. É possível que a cera presente sobre a epiderme do fruto armazenado com cálice diminua a perda de água do produto para o ambiente, reduzindo o murchamento (amolecimento) da fruta, preservando sua firmeza.

A Figura 5.10 apresenta uma ampliação dos dados de força de compressão com 10% de deformação para amostras de *physalis* mostradas na Figura 5.9. Os gráficos de compressão foram ampliados até deformações próximas de 10% para que fosse possível averiguar a linearidade dos dados nesta faixa de deformação.

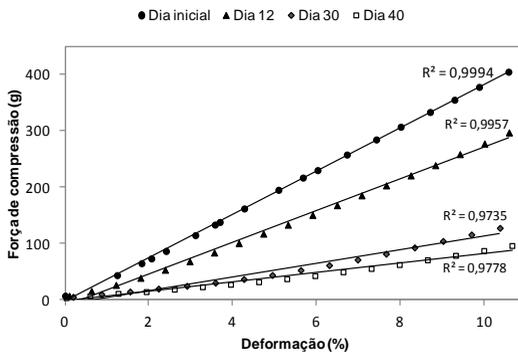
Analisando os resultados, observou-se um comportamento linear no início dos testes para as amostras de *physalis* sem cálice armazenadas nas três temperaturas estudadas (Figura 5.10). A linearidade dos dados no início do teste de compressão denota o comportamento elástico da fruta conforme Puente et al. (2011).



(a)



(b)



(c)

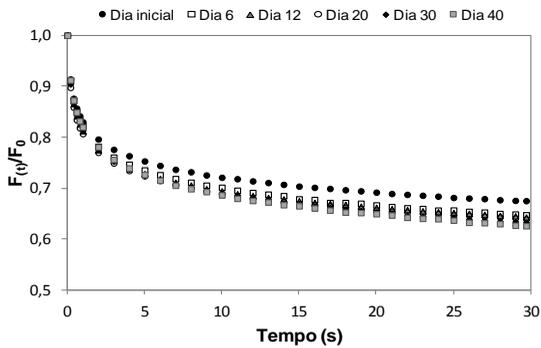
Figura 5.10: Força de compressão de physalis sem cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C, com 10% de deformação.

5.3.5.3 Ensaio de relaxação

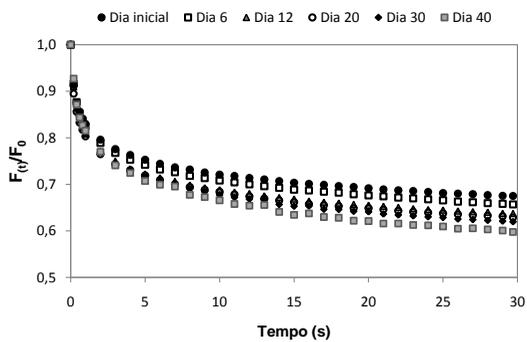
As propriedades viscoelásticas de alimentos sólidos têm sido frequentemente demonstradas através de curvas de relaxação (PELEG, 1980). Em um teste de relaxação, a amostra é submetida a uma determinada deformação, que é mantida constante, enquanto a tensão requerida para manter esta deformação é medida em função do tempo. Os materiais viscoelásticos tendem a relaxar gradualmente, e se obtém uma tensão final, que depende da estrutura molecular do material que está sendo testado. Em sólidos viscoelásticos, a tensão decai até um valor de equilíbrio maior que zero (PAES et al., 2008).

No caso de alimentos, é importante que a deformação aplicada, no teste de relaxação, seja suficientemente pequena para minimizar a ocorrência de alterações estruturais no material (CUNHA, 2002). O ensaio de relaxação das amostras foi realizado após o ensaio de compressão uniaxial, onde se verificou que a deformação de até 10% do produto estava na faixa de comportamento linear da curva de força de compressão *versus* deformação. Isso mostra que nesta faixa de deformação o produto apresenta comportamento elástico, e possivelmente não ocorrem alterações estruturais no material analisado. A Figura 5.11 apresenta a curva de relaxação das *physalis* armazenada com cálice em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.

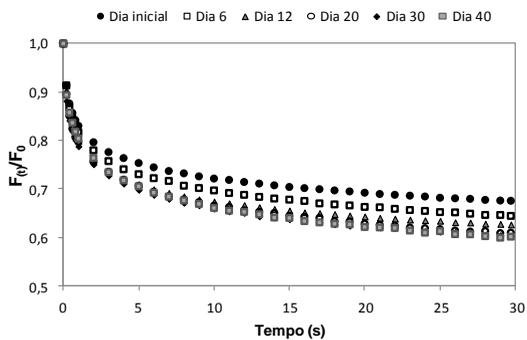
Houve redução acentuada da força de relaxação nos primeiros segundos de ensaio para todos os dias, conforme apresentado na Figura 5.11. Segundo Peleg (1980) a força que mantém o material deformado decai com o tempo, com maior intensidade no início do ensaio, sendo um comportamento típico de materiais considerados viscoelásticos.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.11: Razão de relaxação de physalis com cálice armazenada: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.

Os valores de razão de relaxação da physalis com cálice armazenada a 5°C, 10°C e 15°C ao longo do armazenamento e os parâmetros do ajuste do modelo de Peleg (1980) encontram-se na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Força máxima, razão de relaxação (F_t/F_0 , após 30s de teste) e parâmetros do modelo empírico de Peleg (1980) para physalis com cálice armazenada sob diferentes temperaturas por 40 dias.

Tempo	Força máxima (g)	Razão de relaxação*	1-c1	c1/c2** (s ⁻¹)	R ²
Dia inicial	382,33	0,67	0,6754	0,6582	0,95
Dia 40 (5°C)	188,09	0,62	0,6236	0,6777	0,95
Dia 40 (10°C)	148,40	0,60	0,5934	0,7153	0,96
Dia 40 (15°C)	101,88	0,60	0,5964	0,8749	0,95

* Após 30s de ensaio; ** Ajuste dos onze primeiros dados.

O valor de força máxima (força no início da relaxação) para a physalis no dia inicial foi de 382,33 g e para o 40º dia de armazenamento houve uma redução no valor da força para todas as temperaturas testadas (Tabela 5.7). Este resultado mostra que a força máxima da physalis reduziu com o decorrer do tempo de armazenamento e com o aumento da temperatura, visto que as menores forças de relaxação foram obtidas para as amostras a 15°C após 40 dias.

Os parâmetros 1-c1 e c1/c2 fornecem informações sobre as características viscoelásticas da physalis. O parâmetro 1-c1 é um indicativo do grau de solidez da fruta. O material é considerado um sólido elástico quando 1-c1 tende a 1, ou seja, a amostra não relaxa. Quando 1-c1 tende a zero, a amostra aproxima-se das características de um material viscoso (líquido). De acordo com os resultados da Tabela 5.7, o grau de solidez da physalis reduziu com o período de armazenamento e esta redução foi maior para as amostras estocadas a 10°C e 15°C.

A redução do grau de solidez da physalis está de acordo com os valores obtidos para a razão de relaxação, visto que quanto menor o valor da razão de relaxação, maior é a relaxação da estrutura da amostra. Este resultado indica que aumentou a natureza viscosa das frutas estudadas, diminuindo a sua elasticidade após 40 dias de armazenamento.

A razão c1/c2 é a derivada do modelo de Peleg (1980) no tempo igual a zero, representando a taxa inicial de decaimento da força

(relaxação). Quando a mesma tende a zero, o material relaxa devagar. Analisando os valores de $c1/c2$ da Tabela 5.7, observou-se que a taxa inicial de decaimento da força foi menor no primeiro dia de análise. Após 40 dias de estocagem houve um aumento da taxa de decaimento da força, o que indica um aumento na velocidade de relaxação da amostra com o decorrer do tempo. É importante salientar que a velocidade de relaxação foi maior para as amostras que foram submetidas a temperaturas de 10°C e 15°C. O valor da razão $c1/c2$ é fortemente dependente do ajuste do modelo para os instantes iniciais. Mesmo obtendo-se altos coeficientes de correlação no ajuste com todos os dados experimentais, observou-se que o modelo não descreveu satisfatoriamente o comportamento dos dados de relaxação no início do teste (Figura 5.12), subestimando a taxa inicial de decaimento da força $c1/c2$ (aproximação) no 1º e no 40º dia de armazenamento a 5°C, 10°C e 15°C.

O modelo proposto por Peleg (1980) descreveu os pontos experimentais com coeficiente de correlação igual ou maior que 0,95 para todos os dias analisados. É importante salientar que para a determinação do índice de solidez $(1-c1)$, o ajuste do modelo foi realizado considerando todos os dados experimentais.

A Figura 5.12 apresenta o ajuste do modelo de Peleg (1980) aos dados experimentais de relaxação mecânica de *physalis* armazenadas com cálice em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias e uma aproximação dos dados durante o primeiro segundo de teste, para ilustrar a falta de ajuste e o conseqüente erro na avaliação da derivada (taxa de relaxação inicial).

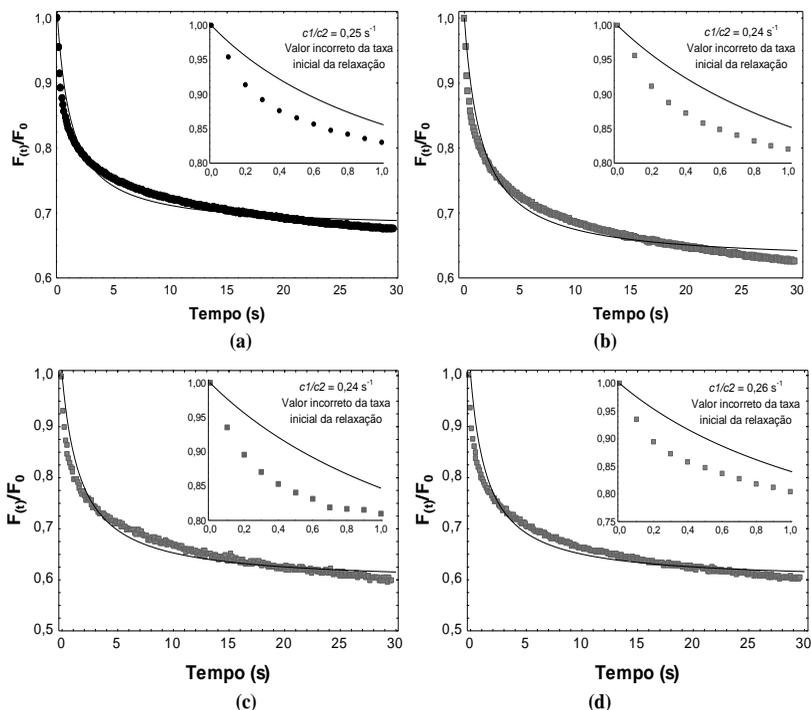


Figura 5.12: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos dados experimentais de relaxação mecânica de physalis com cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (●, ■) dados experimentais e (–) modelo.

Para se obter uma estimativa precisa da taxa inicial de decaimento (c_1/c_2), os dados foram ajustados utilizando os onze primeiros pontos experimentais das curvas de relaxação, adimensionalmente através da razão $F(t)/F_0$ versus o tempo, como sugerem Müller et al. (2009). A Figura 5.13 representa o ajuste com os onze primeiros pontos experimentais utilizados na determinação da taxa para amostras de physalis.

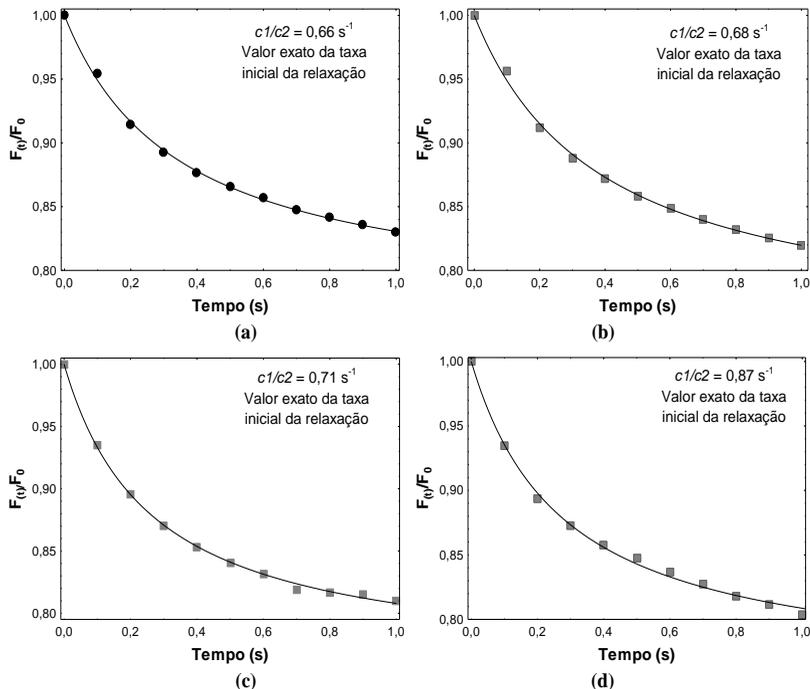
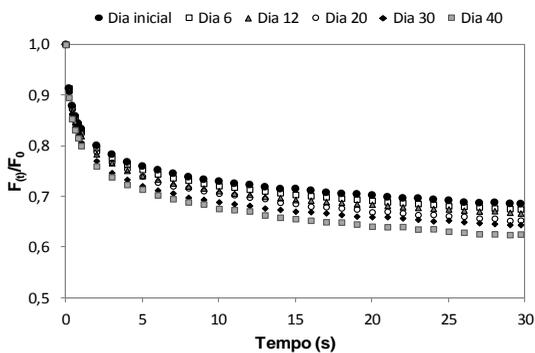


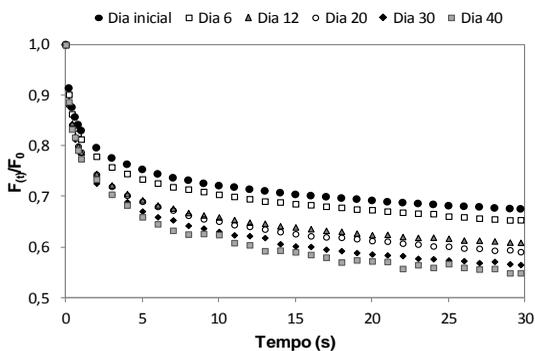
Figura 5.13: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos onze primeiros dados experimentais de relaxação mecânica de uma amostra de physalis com cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (●, ■) dados experimentais e (---) modelo.

O modelo de Peleg (1980) apresentou um bom ajuste aos onze primeiros dados experimentais de relaxação mecânica de physalis com cálice, possibilitando o cálculo do valor exato da taxa inicial de relaxação para cada temperatura (Figura 5.13).

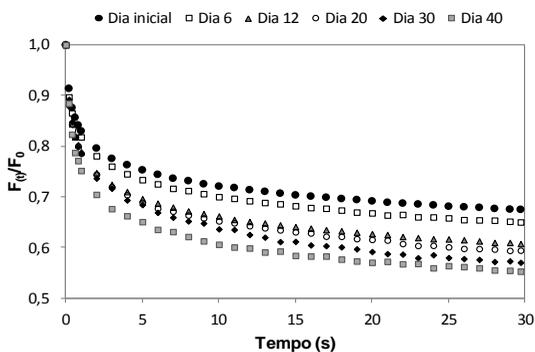
A Figura 5.14 apresenta a curva de relaxação de physalis armazenada sem cálice em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.14: Razão de relaxação de physalis sem cálice: (a) 5°C, (b) 10°C e (c) 15°C.

Houve redução acentuada da força de relaxação nos primeiros segundos de ensaio para todos os dias analisados (Figura 5.14). Segundo Peleg (1980) a força que mantém o material deformado decai com o tempo, com maior intensidade no início do ensaio, sendo um comportamento típico de materiais considerados viscoelásticos.

Os valores de razão de relaxação da physalis sem cálice armazenada a 5°C, 10°C e 15°C ao longo dos dias e os parâmetros do ajuste do modelo de Peleg (1980) encontram-se na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Força máxima, razão de relaxação (F/F_0 , após 30s de teste) e parâmetros do modelo empírico de Peleg (1980) para physalis sem cálice armazenada sob diferentes temperaturas por 40 dias.

Tempo	Força máxima (g)	Razão de relaxação*	1-c1	c1/c2** (s ⁻¹)	R ²
Dia inicial	373,99	0,68	0,6865	0,6967	0,94
Dia 40 (5°C)	137,72	0,62	0,6249	0,7499	0,94
Dia 40 (10°C)	101,88	0,55	0,5542	0,8483	0,95
Dia 40 (15°C)	56,64	0,55	0,5454	0,8615	0,95

* Após 30s de ensaio; ** Ajuste dos onze primeiros dados.

O valor de força máxima (força no início da relaxação) para a physalis no dia inicial foi de 373,99 g e para o 40º dia de armazenamento, observou-se uma redução no valor da força de relaxação para todas as temperaturas testadas (Tabela 5.8). Este resultado mostra que a força máxima da physalis reduziu com o decorrer do tempo de armazenamento e em função do aumento da temperatura, visto que as menores forças de relaxação foram obtidas para as amostras a 15°C após 40 dias.

De acordo com os resultados da Tabela 5.8, o grau de solidez (parâmetro 1-c1) da amostra reduziu com o período de armazenamento e esta redução foi maior para as amostras estocadas sob temperaturas mais elevadas. A redução do grau de solidez da physalis está de acordo com os valores obtidos para a razão de relaxação, visto que quanto menor o valor da razão de relaxação, maior é a relaxação da estrutura da amostra. Este resultado indica que aumentou a natureza viscosa das frutas estudadas, diminuindo a sua elasticidade após 40 dias de armazenamento.

Analisando os valores de c1/c2 da Tabela 5.8, observou-se que a taxa inicial de decaimento da força foi menor no primeiro dia de

análise. Após 40 dias de estocagem houve um aumento da taxa de decaimento da força, o que indica um aumento na velocidade de relaxação da amostra com o decorrer do tempo. É importante salientar que a velocidade de relaxação foi maior para as amostras que foram submetidas a temperaturas de 10°C e 15°C. O modelo proposto por Peleg (1980) descreveu os pontos experimentais com coeficiente de correlação igual ou maior que 0,94 para todos os dias analisados. Porém, mesmo obtendo-se altos coeficientes de correlação no ajuste com todos os dados experimentais, observou-se que o modelo não descreveu satisfatoriamente o comportamento dos dados de relaxação no início do teste (Figura 5.15), subestimando a taxa inicial de decaimento da força $c1/c2$ (aproximação) no 1° e no 40° dia de armazenamento a 5°C, 10°C e 15°C.

A Figura 5.15 apresenta o ajuste do modelo de Peleg (1980) aos dados experimentais de relaxação mecânica de physalis armazenadas sem cálice em embalagens rígidas (PEAD) em estufas refrigeradas a 5°C, 10°C e 15°C durante 40 dias e uma aproximação dos dados durante o primeiro segundo de teste, para ilustrar a falta de ajuste e o consequente erro na avaliação da derivada (taxa de relaxação inicial).

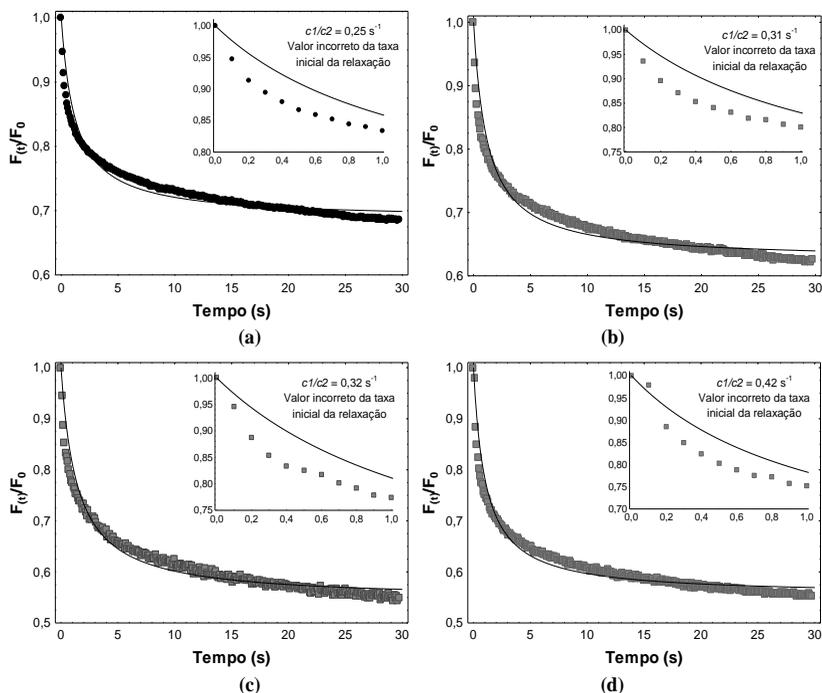


Figura 5.15: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos dados experimentais de relaxação mecânica de physalis sem cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (●, ■) dados experimentais e (—) modelo.

Para se obter uma estimativa precisa da taxa inicial de decaimento (c_1/c_2), os dados foram ajustados utilizando os onze primeiros pontos experimentais das curvas de relaxação, adimensionalmente através da razão $F(t)/F_0$ versus o tempo, como sugerem Müller et al. (2009). A Figura 5.16 representa o ajuste com os onze primeiros pontos experimentais utilizados na determinação da taxa para amostras de physalis.

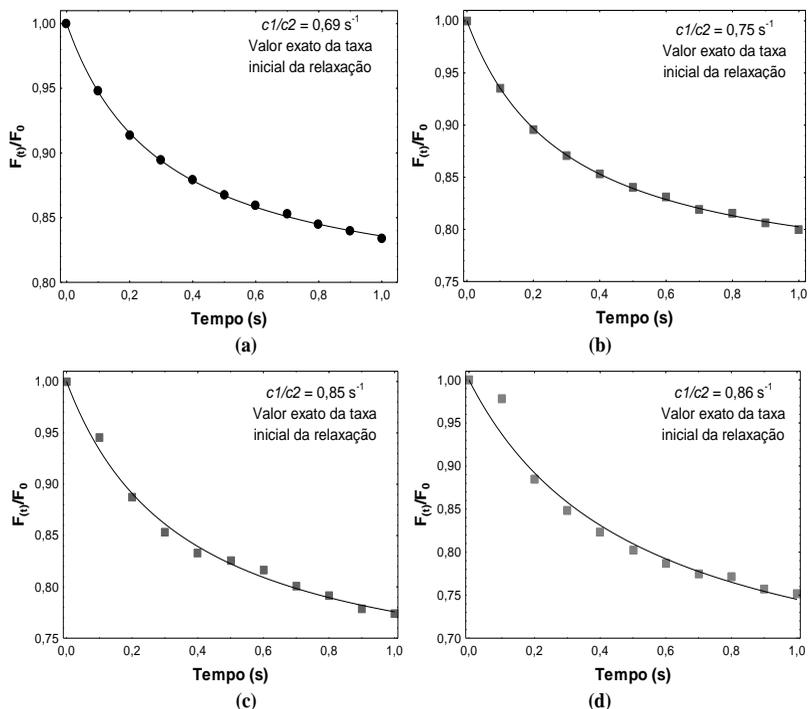


Figura 5.16: Ajuste do modelo de Peleg (1980) aos onze primeiros dados experimentais de relaxação mecânica de uma amostra de physalis sem cálice (a) no primeiro dia de análise, (b) armazenada a 5°C por 40 dias, (c) armazenada a 10°C por 40 dias e (d) armazenada a 15°C por 40 dias, sendo (■) dados experimentais e (—) modelo.

O modelo de Peleg (1980) apresentou um bom ajuste aos onze primeiros dados experimentais de relaxação mecânica de physalis sem cálice, possibilitando o cálculo do valor exato da taxa inicial de relaxação para cada temperatura (Figura 5.16).

Comparando os dados do ensaio de relaxação para as amostras de physalis armazenadas com e sem cálice (Tabelas 5.7 e 5.8), observou-se que houve uma redução mais intensa da força máxima para as amostras armazenadas sem cálice para cada temperatura avaliada.

Com base nos resultados obtidos para as physalis armazenadas em embalagens rígidas com e sem cálice, observou-se que as amostras armazenadas sem cálice apresentaram maiores alterações nos parâmetros físico-químicos avaliados. Sendo assim, para garantir a qualidade da fruta sem cálice durante o período pós-colheita é necessário a aplicação de técnicas de conservação, visando aumentar o período de comercialização do produto quando pronto para consumo. Deste modo, justifica-se o interesse em desenvolver uma técnica de conservação apropriada para physalis, visto que se trata de um produto de alto valor, que poderá ser oferecido ao mercado consumidor, previamente descascado, selecionado, higienizado e embalado, e que além de oferecer praticidade, poderá satisfazer as exigências do consumidor em matéria de qualidade.

Segundo Cedeño e Montenegro (2004), países importadores como os Estados Unidos exigem que a physalis seja comercializada sem cálice. Os mesmos autores destacam a importância de aplicar diferentes sistemas de armazenamento para a physalis sem cálice, a fim de aumentar sua vida útil.

A comercialização de physalis sem cálice é feita pela Colômbia, Estados Unidos e por países da Europa e tem grande apelo comercial, visto que o consumidor pode observar as características de qualidade da fruta, como coloração, brilho, grau de maturação, consistência, tamanho, ausência de danos por enfermidades ou ataque de insetos, podridões e rachaduras. A presença do cálice no fruto impede a observação destes critérios de qualidade, além disso, o cálice pode apresentar manchas por umidade e fungos o que prejudica a qualidade microbiológica e o aspecto visual do produto. Outra desvantagem da comercialização da fruta com cálice é a necessidade da realização de uma secagem do cálice após a colheita do fruto (Figura 5.17). Esta secagem normalmente é efetuada em secadores com circulação forçada de ar sob temperaturas de aproximadamente 24°C ou por exposição das frutas à luz solar. Ambos os processos podem contribuir para o aumento da taxa respiratória e consequentemente diminuição da vida de prateleira da fruta.

Ávila et al. (2006) afirmam que os cálices das physalis devem ser secas mediante ar forçado a temperaturas entre 18°C e 24°C por 36 horas ou com ar impulsionado por ventiladores a 25°C durante 10 horas para cálices verdes e 6 horas para cálices amarelos. Os autores verificaram que a secagem do cálice a 24°C causou um aumento no pico climatérico das frutas.



Figura 5.17: Aparência do cálice da physalis (a) na colheita, e (b) após a secagem.

Fonte: A autora (2013).

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos para as physalis armazenadas em embalagens rígidas com e sem cálice, observou-se que as amostras armazenadas sem cálice apresentaram maiores alterações nos parâmetros físico-químicos avaliados. Sendo assim, para garantir a qualidade da fruta sem cálice durante o período pós-colheita é necessário à aplicação de técnicas de conservação, visando aumentar o período de comercialização do produto pronto para consumo. Deste modo, justifica-se o interesse em desenvolver uma técnica de conservação apropriada para physalis, visto que se trata de um produto de alto valor, que poderá ser oferecido ao mercado consumidor, previamente descascado, selecionado, higienizado e embalado, e que além de oferecer praticidade, poderá satisfazer as exigências do consumidor em matéria de qualidade.

CAPÍTULO 6:
APLICAÇÃO DE DIFERENTES ATMOSFERAS
MODIFICADAS PARA AUMENTO DA VIDA ÚTIL DE
PHYSALIS (*Physalis peruviana* L.).

6.1 INTRODUÇÃO

Na atmosfera modificada, a mistura de gases presentes inicialmente na embalagem sofre modificações em sua composição devido ao balanço entre o consumo de O_2 e a liberação de CO_2 , ambas decorrentes do processo respiratório dos frutos e da permeabilidade do filme polimérico a estes gases (FONSECA, et al., 2002). Alterações no balanço de gases, como por exemplo, diminuição da concentração de O_2 para valores inferiores a 8% e/ou aumento na concentração de CO_2 para valores superiores a 1%, podem diminuir a atividade respiratória e retardar o amadurecimento da fruta (FURLONG, 2000; SANDHYA, 2010).

A escolha da mistura gasosa é influenciada por fatores como a sensibilidade do produto ao O_2 e CO_2 e microbiota capaz de crescer no produto (CHURCH e PARSON, 1995). Os três principais gases usados em embalagem com atmosfera modificada são O_2 , CO_2 , e N_2 . Utilizados isoladamente ou em combinação, esses gases são comumente aplicados para reduzir as alterações fisiológicas durante o armazenamento (SANDHYA, 2010).

O oxigênio promove vários tipos de reações de deterioração em alimentos, incluindo a oxidação das gorduras, reações de escurecimento e oxidação de pigmentos. A maioria das bactérias e fungos necessita de oxigênio para o crescimento. Portanto, para aumentar a vida útil dos alimentos, a atmosfera da embalagem deve conter uma baixa concentração de oxigênio (FURLONG, 2000; SANDHYA, 2010). Entretanto, a falta de oxigênio pode desencadear o processo de respiração anaeróbica, com desenvolvimento de odores e sabores estranhos no fruto (FURLONG, 2000).

O dióxido de carbono em sistemas de atmosfera modificada atua na redução do crescimento microbiano, pois provoca uma alteração da membrana celular do microrganismo, prejudicando absorção de nutrientes e inibindo reações enzimáticas (FARBER, 1991). O CO_2 também retarda os efeitos prejudiciais do etileno em frutas e hortaliças frescas, tais como a perda de firmeza e a incidência de desordens fisiológicas (KADER, 1986).

O nitrogênio é um gás quimicamente inerte e por esse motivo é usado para substituir o O_2 , retardando a rancidez oxidativa e inibindo o crescimento de microrganismos aeróbios em embalagens com atmosfera modificada (CHURCH, 1994).

Esta etapa do trabalho teve como objetivo estudar atmosferas modificadas com diferentes composições gasosas associadas a

temperaturas de 5°C e 10°C a fim de verificar o efeito destes gases no armazenamento de physalis. O efeito da aplicação de diferentes atmosferas modificadas foi avaliado mediante alterações nos parâmetros físico-químicos e taxa respiratória da fruta em cada condição estudada.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Matéria-prima

As physalis foram cultivadas e colhidas na Fazenda Coxilha Rica localizada no município de Lages, SC. Após a colheita as frutas foram acondicionadas em ambiente refrigerado até o transporte para o laboratório. As physalis foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 e 5 (ICONTEC, 1999). Posteriormente, foram higienizadas em água ozonizada 0,5 µg.mL⁻¹ por 1 min e o excesso de água foi retirado por centrifugação manual.

6.2.2 Armazenamento em atmosfera modificada

Foram utilizadas nos tratamentos, 100 g de physalis acondicionadas em embalagem de polipropileno biorientado e polietileno de baixa densidade (BOPP/PEBD). As diferentes composições gasosas (Tabela 6.1) foram injetadas nas embalagens utilizando seladora a vácuo (200B, Selovac), com pressão de 1,1 bar e tempo de injeção de 12 segundos. As amostras seladas foram armazenadas em estufas refrigeradas a 5°C e 10°C durante 40 e 30 dias, respectivamente. As diferentes concentrações de gases foram definidas baseadas em trabalhos disponíveis na literatura para a conservação de physalis (MEJÍA, 1997; LANCHERO et al., 2007).

Tabela 6.1: Experimentos em diferentes atmosferas e temperaturas.

Grupo	Tratamento*	Temperatura (°C)	Atmosfera modificada
1	1	5	Ar atmosférico
	2		0% CO ₂ / 5% O ₂ / 95% N ₂
	3		5% CO ₂ / 5% O ₂ / 90% N ₂
	4		10% CO ₂ / 5% O ₂ / 85% N ₂
2	5	10	Ar atmosférico
	6		0% CO ₂ / 5% O ₂ / 95% N ₂
	7		5% CO ₂ / 5% O ₂ / 90% N ₂
	8		10% CO ₂ / 5% O ₂ / 85% N ₂

* Experimentos realizados em ordem aleatória.

6.2.3 Determinação de O₂ e CO₂

A concentração de gases (O₂ e CO₂) ao longo do armazenamento foi realizada em triplicata de leitura e duplicata de embalagem mediante leitura em analisador de gases mostrado na Figura 6.1 (PBI Dansensor, CheckMate II). As leituras foram realizadas a cada 2 horas nas primeiras 12 horas, a cada 4 horas das 12-24 horas, a cada 6 horas das 24-36 horas, a cada 8 horas das 36-48 horas, a cada 12 horas das 48-72 horas e a cada 24 horas até o equilíbrio.

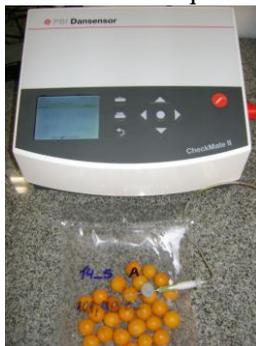


Figura 6.1: Analisador de gases (CheckMate II, PBI Dansensor) para determinação da concentração de O₂ e CO₂.

6.2.4 Taxa respiratória

A taxa respiratória de physalis foi definida pelo consumo de oxigênio e produção de gás carbônico no interior da embalagem. A expressão é dada pela diferença de concentração, massa do produto e volume livre da embalagem (TORRIERI et al., 2009). O modelo para determinar as taxas de respiração de vegetais em sistemas permeáveis, está descrito pelas Equações 6.1 e 6.2, conforme Torrieri et al. (2009) e Lee et al. (1996).

$$r_{O_2} = -\frac{V_L}{100W} \frac{d[O_2]}{dt} + \frac{S P_{O_2} (0,21 - [O_2]/100) p}{W L} \quad (\text{Eq.6.1})$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_L}{100W} \frac{d[CO_2]}{dt} + \frac{S P_{CO_2} ([CO_2]/100) p}{W L} \quad (\text{Eq.6.2})$$

Onde: r_{O_2} é a taxa respiratória em função do consumo de O_2 , expressa em $mL.kg^{-1}.h^{-1}$; r_{CO_2} é a taxa respiratória em função da produção de CO_2 , expressa em $mL.kg^{-1}.h^{-1}$; $[O_2]$ e $[CO_2]$ são as concentrações de oxigênio e de dióxido de carbono, respectivamente, expressas em %; L é a espessura do filme (mm); S é a área da embalagem (m^2); p é a pressão atmosférica (atm); PO_2 e PCO_2 são a permeabilidade do filme para O_2 e CO_2 ($mL.m^{-2}.h^{-1}.atm^{-1}$), respectivamente; t é o tempo (h); V_L é o volume livre da embalagem (mL) e W é a massa de produto acondicionado na embalagem (kg). O volume livre da embalagem (V_L) foi determinado pela diferença entre o volume total da embalagem e o volume ocupado por 100 g de amostra. O volume total da embalagem foi determinado em recipiente de volume conhecido contendo sementes de painço, o volume ocupado por cada embalagem neste recipiente foi medido através do deslocamento das sementes para uma proveta graduada conforme descrito em Moraes et al. (2010). O volume ocupado por 100 g de amostra que estavam no interior da embalagem também foi determinado por deslocamento de sementes. O volume livre da embalagem foi 630 mL.

A função regressão foi usada para ajuste de dados de concentração de gás versus o tempo, e a taxa de respiração foi determinada pela primeira derivada da função regressão (CAMERON et al., 1989; DASH et al., 2007). Essa função de dois parâmetros não exponencial semelhante ao modelo Peleg (1988) para curvas de sorção de umidade, que foi usada para ajustar a concentração de gás, a qualquer temperatura, dependente do tempo de armazenagem decorrido. Um modelo similar foi aplicado para dados de respiração de banana (BHANDE et al., 2008). Os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos utilizando-se as Equações 6.3 e 6.4

$$[O_2] = 0,21 - \frac{t}{(at + b)} \quad (\text{Eq.6.3})$$

$$[CO_2] = \frac{t}{(at + b)} \quad (\text{Eq.6.4})$$

A primeira derivada da função regressão (Equação 6.5 e 6.6) foi usada para determinar a taxa de variação da concentração do gás.

$$\frac{dO_2}{dt} = -\frac{b}{(at + b)^2} \quad (\text{Eq. 6.5})$$

$$\frac{dCO_2}{dt} = \frac{b}{(at + b)^2} \quad (\text{Eq. 6.6})$$

Substituindo as Equações 6.5 e 6.6 nas Equações 6.1 e 6.2 obteve-se a taxa de respiração da fruta com o tempo, por meio de um programa desenvolvido no software Matlab (Mathworks Inc., USA).

6.2.5 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas (perda de massa fresca, pH, sólidos solúveis totais, textura e cor) foram realizadas em triplicata no dia inicial, 6°, 12°, 20°, 30°, 40° dia de armazenamento.

6.2.5.1 Perda de massa fresca

A perda de massa fresca (PMF) de amostras não destrutivas foi determinada por gravimetria com auxílio de balança analítica (AY 220, Shimadzu) com precisão de 0,0001 g. As perdas ao longo do período de armazenamento foram calculadas pela Equação 6.7, conforme Pereira et al. (2005).

$$\% \text{ PMF} = 1 - \frac{M_n}{M_o} \times 100 \quad (\text{Eq. 6.7})$$

Onde: PMF é a perda de massa fresca (%); M_o é a massa das amostras no tempo inicial de armazenamento e M_n a massa para os dias posteriores de análise.

6.2.5.2 pH

A determinação do pH foi realizada de acordo com AOAC (2002). O suco dos produtos foi obtido por compressão da polpa da fruta até a obtenção de 30 mL de suco e o pH foi determinado utilizando-se um pHmetro digital (Q400MT, Quimis).

6.2.5.3 Sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis totais das amostras foi determinado no suco dos produtos utilizando-se um refratômetro digital (AR 200, Reichert Analytical Instruments), que fornece medidas diretas em °Brix, com resolução de 0,1°Brix.

6.2.5.4 Cor

A cor das amostras foi determinada na região oposta ao pedúnculo da fruta. As medidas foram realizadas por meio da utilização de um colorímetro (Miniscan EZ, Hunterlab) operando no sistema CIELAB (L*, a*, b*, C, h), utilizando sistema de iluminação D65 e ângulo de observação de 10°. Sendo que, o índice “L*” mede a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco); “a*” mede da cor verde (negativo) à cor vermelha (positivo); e “b*” mede da cor azul (negativo) à cor amarela (positivo). O “C” ou croma, fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o “h” corresponde à tonalidade à cor vermelha (0°), à cor amarela (90°), à cor verde (180°) e à cor azul (360°) (KONICA MINOLTA, 1998).

6.2.5.5 Textura

A avaliação instrumental da textura foi realizada por meio de um analisador de textura digital (TAXT2i, Stable Micro System), com célula de carga de 50 kg. Para realização do ensaio de perfuração foi utilizado uma sonda de 2 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 3,3 mm/s, 3 mm/s e 5 mm/s, respectivamente. A profundidade de perfuração foi de 5,0 mm e o tempo de amostragem de 30 s. O ensaio de perfuração foi realizado na região equatorial do fruto. O ensaio de compressão foi realizado utilizando-se uma sonda cilíndrica de alumínio com 45 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 1 mm/s, 2 mm/s e 5 mm/s, respectivamente, a deformação utilizada foi de 30% do produto. O ensaio de compressão foi realizado no sentido do eixo do fruto, após a remoção do pedúnculo. A deformação (%) foi calculada pela razão entre a deformação absoluta (mm) e o comprimento inicial da amostra (mm), conforme mostrado na Equação 6.8.

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 6.8})$$

Onde: ΔH é a variação absoluta da dimensão do corpo devido à aplicação da força (mm); H_0 é a dimensão inicial do corpo (mm).

6.2.6 Análise estatística

Os resultados foram avaliados mediante a análise de variância (ANOVA) com o software Statistica 6.0 (Statsoft Inc., EUA), e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 pH

A Tabela 6.2 apresenta os valores de pH de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias em diferentes atmosferas modificadas.

Tabela 6.2: Valores de pH de physalis armazenada a 5°C por 40 dias sob atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O₂ e 95% N₂, T3: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T4: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Tempo (dias)*	pH			
	T1	T2	T3	T4
0	3,42 ± 0,01 ^E	3,49 ± 0,01 ^E	3,73 ± 0,01 ^E	3,42 ± 0,01 ^C
6	3,60 ± 0,01 ^D	3,55 ± 0,01 ^D	3,78 ± 0,01 ^C	3,44 ± 0,01 ^C
12	3,63 ± 0,02 ^D	3,53 ± 0,01 ^D	3,74 ± 0,01 ^{DE}	3,56 ± 0,03 ^B
20	3,78 ± 0,01 ^C	3,59 ± 0,01 ^C	3,77 ± 0,02 ^{CD}	3,54 ± 0,01 ^B
30	3,84 ± 0,01 ^B	3,62 ± 0,01 ^B	3,82 ± 0,01 ^B	3,61 ± 0,02 ^A
40	3,94 ± 0,01 ^A	3,66 ± 0,01 ^A	4,01 ± 0,01 ^A	3,65 ± 0,01 ^A

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Os resultados mostraram um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de pH das amostras ao longo do período de armazenamento para as diferentes atmosferas avaliadas. A maior variação nos valores de pH foi observada para as amostras armazenadas em embalagens contendo ar (controle, T1). As amostras armazenadas sob atmosfera modificada (T2, T3 e T4) apresentaram menores variações de pH ao longo do tempo quando comparadas a amostra controle. Entre os tratamentos com

atmosfera modificada, as alterações nos valores de pH foram muito próximas.

O uso de 5% de O₂ na composição gasosa, para as amostras acondicionadas sob atmosfera modificada reduziu a concentração de O₂ disponível no *headspace* das embalagens. Esta concentração de O₂ diminui as taxas de respiração e conseqüentemente retarda os processos de maturação do fruto. Considerando que o aumento nos valores de pH ocorre pela diminuição da concentração de ácidos orgânicos, e que estes, por sua vez, diminuem em decorrência de sua utilização como substrato na respiração, pode-se explicar a menor variação de pH dos frutos em atmosfera modificada.

A Tabela 6.3 apresenta os valores de pH de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias sob diferentes atmosferas modificadas.

Tabela 6.3: Valores de pH de physalis armazenada a 10°C por 30 dias sob atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O₂ e 95% N₂, T7: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T8: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Tempo (dias)*	pH			
	T5	T6	T7	T8
0	3,47 ± 0,04 ^D	3,42 ± 0,01 ^D	3,60 ± 0,01 ^C	3,59 ± 0,01 ^D
6	3,64 ± 0,01 ^C	3,65 ± 0,02 ^C	3,67 ± 0,06 ^C	3,68 ± 0,01 ^C
12	3,72 ± 0,01 ^C	3,74 ± 0,01 ^B	3,89 ± 0,01 ^B	3,70 ± 0,01 ^C
20	3,92 ± 0,02 ^B	3,77 ± 0,01 ^B	3,90 ± 0,01 ^B	3,81 ± 0,02 ^B
30	4,06 ± 0,06 ^A	3,94 ± 0,05 ^A	4,00 ± 0,02 ^A	3,89 ± 0,01 ^A

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Houve aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de pH das amostras ao longo do período de armazenamento para os diferentes tratamentos avaliados. Sendo que a maior variação nos valores de pH foram observadas para as amostras armazenadas em embalagens contendo ar (T5) e sob atmosfera modificada de 5% O₂ e 95% N₂ (T6). As amostras armazenadas sob atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ (T8) tiveram a menor variação de pH ao longo do tempo.

Dados semelhantes foram descritos por Licodiedoff (2012) que obteve valores de pH de 3,64 para frutos de physalis no início da maturação e pH de 3,88 para frutos no final do processo de maturação.

Lanchero et al. (2007) avaliaram o uso de diferentes embalagens e atmosferas modificadas para o armazenamento de physalis

(grau de maturação 4) e obtiveram valores máximos de pH de 4,9 para os frutos armazenados sem embalagem e pH de 4,73 para os frutos em embalagem de BOPP/PE após 3 semanas. Quanto ao uso das diferentes atmosferas modificadas (ar, mistura comercial, 10% O₂/5% CO₂ e 5% O₂/5% CO₂), os autores não encontraram diferenças significativas para os valores de pH.

Analisando os dados de pH obtidos a 5°C e 10°C (Tabelas 6.2 e 6.3), observou-se que as amostras submetidas ao tratamento com atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ apresentaram menores alterações nos valores de pH para as ambas temperaturas estudadas. No entanto, a variação de pH com o tempo foi menor para as physalis armazenadas a 5°C.

6.3.2 Sólidos solúveis totais

A Tabela 6.4 apresenta os valores de sólidos solúveis totais (SST) de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias em diferentes atmosferas modificadas.

Tabela 6.4: SST de physalis armazenada a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O₂ e 95% N₂, T3: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T4: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Tempo (dias)*	SST (°Brix)			
	T1	T2	T3	T4
0	13,17 ± 0,06 ^D	14,43 ± 0,06 ^C	13,30 ± 0,17 ^{BC}	14,00 ± 0,10 ^{AB}
6	13,29 ± 0,01 ^C	14,20 ± 0,01 ^D	13,25 ± 0,13 ^C	14,03 ± 0,06 ^{AB}
12	13,47 ± 0,06 ^B	14,57 ± 0,06 ^{BC}	13,47 ± 0,12 ^{ABC}	13,80 ± 0,10 ^{BC}
20	13,49 ± 0,01 ^B	14,70 ± 0,10 ^B	13,61 ± 0,07 ^{AB}	13,67 ± 0,12 ^C
30	13,59 ± 0,01 ^A	14,97 ± 0,06 ^A	13,58 ± 0,12 ^{ABC}	14,03 ± 0,06 ^{AB}
40	13,59 ± 0,01 ^A	14,93 ± 0,06 ^A	13,70 ± 0,10 ^A	14,17 ± 0,12 ^A

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de SST das frutas ao longo do tempo para os tratamentos 1, 2 e 3. O teor de sólidos solúveis totais das amostras submetidas ao tratamento 4 não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre o primeiro e o último dia de armazenamento. Os demais tratamentos com atmosfera modificada (T2 e T3) apresentaram variações no teor de SST próximas às alterações observadas para a amostra controle (T1). Este resultado

indica que o uso de atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) associada à temperatura de 5°C reduziu a taxa respiratória dos frutos, retardando os processos metabólicos que alteram parâmetros físico-químicos como pH e SST.

Os valores de sólidos solúveis totais para *physalis* foram semelhantes aos reportados por Lanchero et al. (2007), porém os autores não observaram diferenças significativas quanto ao uso de atmosferas modificadas. Os autores verificaram que houve diferença significativa entre as amostras armazenadas com e sem embalagens.

A Tabela 6.5 apresenta os valores de sólidos solúveis totais (SST) de *physalis* armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em diferentes atmosferas modificadas.

Tabela 6.5: SST de *physalis* armazenada a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O₂ e 95% N₂, T7: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T8: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Tempo (dias)*	SST (°Brix)			
	T5	T6	T7	T8
0	13,23 ± 0,06 ^D	12,43 ± 0,06 ^D	14,56 ± 0,03 ^B	12,63 ± 0,06 ^C
6	13,73 ± 0,32 ^C	12,68 ± 0,03 ^C	14,07 ± 0,06 ^C	12,58 ± 0,03 ^C
12	13,87 ± 0,12 ^C	13,47 ± 0,06 ^A	13,90 ± 0,30 ^C	12,65 ± 0,08 ^C
20	14,40 ± 0,20 ^B	13,25 ± 0,05 ^B	14,87 ± 0,06 ^{AB}	13,04 ± 0,12 ^B
30	15,10 ± 0,10 ^A	13,50 ± 0,13 ^A	15,18 ± 0,02 ^A	13,27 ± 0,06 ^A

*Letras maiúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Para todos os tratamentos realizados a 10°C houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos teores de SST das frutas ao longo do tempo. A alteração mais intensa para este parâmetro foi obtida no tratamento controle (T5) que variou de 13,2 para 15,1°Brix. Os tratamentos 7 e 8 apresentaram as menores variações no conteúdo de sólidos solúveis ao longo dos 30 dias de armazenamento.

Em estudo apresentado por Novoa et al. (2006), o teor de sólidos solúveis totais de *physalis* aumentou de 11,6 para 13,5°Brix após 30 dias de armazenamento a 12°C.

Verificou-se que o conteúdo de sólidos aumentou de forma mais intensa nos tratamentos a 10°C (Tabelas 6.4 e 6.5), indicando o efeito da temperatura no processo de maturação das frutas mesmo sob condições de atmosfera modificada. De acordo com Alvarado et al.

(2004) o uso de baixas temperaturas pode reduzir o metabolismo das frutas e com isso provocar a redução da síntese de açúcares. Outra hipótese para o aumento no teor de SST seria a maior perda de água sofrida pelas frutas armazenadas a 10°C, o que provoca um aumento na concentração de açúcares no suco da fruta.

De acordo com Carnelossi et al. (2005) as reações metabólicas que ocorrem durante o amadurecimento podem ser minimizadas através do abaixamento da temperatura, estima-se que estas reações são reduzidas de duas a três vezes a cada redução de 10°C.

6.3.3 Cor

A Tabela 6.6 apresenta os parâmetros de cor para *physalis* armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias em diferentes atmosferas modificadas.

Houve redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de L^* ao longo do tempo para todos os tratamentos a 5°C, indicando que os frutos tornaram-se mais escuros após 40 dias de estocagem.

Para as coordenadas a^* e b^* , houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias para os frutos dos tratamentos 1, 2 e 3, indicando aumento na coloração alaranjada. As amostras submetidas ao tratamento 4 não apresentaram diferença significativa ($p \geq 0,05$) para estes parâmetros.

Comportamento semelhante foi observado para o parâmetro C, que apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias para as amostras submetidas a todos os tratamentos (1, 2 e 3), exceto para os frutos em atmosfera de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ (tratamento 4).

As menores alterações para os parâmetros a^* , b^* e C foram observadas para as amostras do tratamento 4. Este resultado indica que o uso de atmosfera contendo 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ diminuiu as taxas respiratórias e a síntese de etileno que está diretamente relacionada com o início do amadurecimento, pois ele controla o início da mudança na cor nos frutos (AWAD, 1993). De acordo com Jiang et al. (1999), o etileno atua na degradação das clorofilas que conferem coloração verde aos frutos imaturos, tornando-os alaranjados ao longo do armazenamento.

O parâmetro h não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) para as amostras dos tratamentos 1, 2 e 4 ao longo do armazenamento. Com base neste parâmetro, as amostras mantiveram a coloração amarela durante todo o período de armazenamento em diferentes composições de

atmosferas. Entretanto, as amostras do tratamento 3 apresentaram um leve aumento nos valores de h com o tempo. As oscilações apresentadas nos valores deste parâmetro podem ser atribuídas a variações da própria matéria-prima.

Licodiedoff (2012) avaliou a cor dos frutos de *physalis* e observou redução da luminosidade (L) do início ao final da maturação, aumento nos valores do parâmetro a^* , variando da cor verde para amarelo e não observou variações significativas entre as amostras para início e final de maturação para o parâmetro b^* .

Tabela 6.6: Cor de physalis armazenada a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O₂ e 95% N₂, T3: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T4: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Amostra	Cor	Tempo de armazenamento (dias)					
		0	6	12	20	30	40
T1	L	26,25±1,71 ^A	23,27±0,06 ^{AB}	21,26±1,04 ^{BC}	18,67±1,04 ^{CD}	17,33±1,37 ^D	17,58±0,87 ^D
	a*	12,16±0,66 ^B	11,58±0,68 ^{AB}	12,06±0,49 ^{AB}	12,15±1,08 ^{AB}	13,78±0,37 ^{AB}	14,13±1,27 ^A
	b*	22,19±0,92 ^C	21,53±0,95 ^C	22,64±1,09 ^{BC}	24,51±0,39 ^{ABC}	25,80±0,67 ^{AB}	27,07±2,51 ^A
	C	25,32±0,57 ^C	24,45±0,98 ^C	25,66±0,76 ^{BC}	27,37±0,81 ^{ABC}	29,25±0,72 ^{AB}	30,54±2,74 ^A
	h	61,24±2,23 ^A	61,72±1,50 ^A	61,93±2,06 ^A	63,66±1,71 ^A	61,89±0,45 ^A	62,43±1,23 ^A
T2	L	37,13±0,64 ^A	35,68±2,11 ^A	35,15±2,65 ^A	32,96±1,68 ^{AB}	28,65±1,89 ^{BC}	25,56±2,17 ^C
	a*	16,85±1,39 ^B	18,85±1,65 ^{AB}	19,99±0,58 ^{AB}	19,03±0,40 ^{AB}	20,66±0,93 ^A	20,26±1,47 ^A
	b*	24,95±0,27 ^C	26,59±0,95 ^{BC}	26,86±0,59 ^{BC}	28,77±0,98 ^{AB}	29,68±1,92 ^A	30,16±0,57 ^A
	C	30,12±0,87 ^C	32,62±0,99 ^{BC}	33,49±0,64 ^{AB}	34,49±1,03 ^{AB}	36,17±2,00 ^A	36,34±1,20 ^A
	h	56,00±2,13 ^A	54,68±2,86 ^A	53,34±0,90 ^A	56,51±0,43 ^A	55,13±1,21 ^A	56,14±1,62 ^A
T3	L	30,42±0,87 ^A	29,83±0,33 ^A	27,08±1,26 ^B	27,43±0,73 ^B	22,73±0,34 ^C	21,19±0,89 ^C
	a*	13,45±0,73 ^C	13,78±0,14 ^{BC}	14,05±0,62 ^{ABC}	14,96±0,48 ^{ABC}	15,09±0,89 ^{AB}	15,63±0,33 ^A
	b*	20,83±0,31 ^B	20,22±0,85 ^B	23,40±0,83 ^A	24,21±1,55 ^A	24,19±0,39 ^A	25,71±0,67 ^A
	C	24,80±0,62 ^{CD}	24,48±0,72 ^D	27,29±1,00 ^{BC}	28,46±1,57 ^{AB}	28,52±0,41 ^{AB}	30,09±0,69 ^A
	h	57,17±1,14 ^{AB}	55,70±1,11 ^B	59,03±0,60 ^A	58,27±0,81 ^{AB}	58,05±1,76 ^{AB}	58,70±0,55 ^A
T4	L	25,91±2,27 ^A	22,34±1,26 ^{AB}	22,40±0,59 ^{AB}	19,72±1,45 ^{BC}	17,75±1,05 ^C	16,11±0,30 ^C
	a*	13,08±0,64 ^A	13,34±0,98 ^A	13,84±0,56 ^A	13,51±0,51 ^A	14,27±0,58 ^A	14,46±0,49 ^A
	b*	26,38±1,91 ^A	26,52±2,28 ^A	27,00±1,58 ^A	27,12±1,89 ^A	28,18±1,01 ^A	30,63±2,59 ^A
	C	29,45±1,95 ^A	29,72±1,86 ^A	30,36±1,20 ^A	30,30±1,83 ^A	31,59±1,13 ^A	33,87±2,50 ^A
	h	63,61±0,96 ^A	63,19±3,22 ^A	62,81±2,21 ^A	63,48±1,31 ^A	63,15±0,52 ^A	64,67±1,41 ^A

*Letras maiúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$);

A Tabela 6.7 apresenta os parâmetros de cor para *physalis* armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em diferentes atmosferas modificadas.

Observou-se um escurecimento das amostras de *physalis* armazenadas a 10°C após 30 dias para todas as atmosferas modificadas avaliadas, o que justifica a redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de L^* ao longo do tempo em todos os tratamentos.

Além do escurecimento, as amostras apresentaram tendência a coloração amarela mais intensa, explicada pelo aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores do parâmetro b^* ao longo dos dias para os frutos de todos os tratamentos (5, 6, 7 e 8). Isto ocorre durante a maturação devido à degradação de pigmentos como as clorofilas e a síntese de novos pigmentos responsáveis pela cor típica de cada produto, neste caso, a alteração da cor ocorre pelo acúmulo de carotenoides no fruto.

Para o parâmetro C , houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias para as amostras submetidas a todos os tratamentos (5, 6 e 8), para os frutos em atmosfera de 5% CO_2 , 5% O_2 e 90% N_2 (tratamento 7) não ocorreu variação significativa ($p \geq 0,05$) deste parâmetro.

A coordenada a^* e o parâmetro h não apresentaram diferença significativa ($p \geq 0,05$) ao longo do armazenamento para as amostras tratadas com as diferentes misturas gasosas.

Baseado nos dados apresentados, conclui-se que o uso de diferentes atmosferas modificadas associadas a baixas temperaturas apresentou influência nas variações dos parâmetros de cor. O uso de temperatura mais elevada (10°C) afetou a coloração dos frutos, impedindo que fosse observado algum efeito provocado pelo uso de diferentes misturas gasosas.

Tabela 6.7: Cor de physalis armazenada a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O₂ e 95% N₂, T7: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T8: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Amostra	Cor	Tempo de armazenamento (dias)				
		0	6	12	20	30
T5	L	29,56±1,88 ^A	28,08±1,53 ^A	26,29±0,38 ^{AB}	24,01±1,01 ^{BC}	22,68±1,15 ^C
	a*	15,30±0,84 ^A	15,82±0,70 ^A	17,10±1,15 ^A	17,22±1,34 ^A	17,89±0,66 ^A
	b*	23,26±1,29 ^C	25,19±1,72 ^{ABC}	24,22±1,41 ^{BC}	27,08±1,14 ^{AB}	28,13±1,44 ^A
	C	27,85±1,26 ^B	29,75±1,71 ^{AB}	29,66±1,55 ^{AB}	32,12±0,48 ^A	33,34±1,51 ^A
	h	56,64±1,84 ^A	57,84±1,40 ^A	54,77±1,83 ^A	57,54±3,02 ^A	57,52±0,84 ^A
T6	L	28,67±1,04 ^A	24,93±1,57 ^B	21,77±0,43 ^B	18,38±1,00 ^C	18,11±1,54 ^C
	a*	12,15±1,25 ^A	12,99±0,45 ^A	13,25±0,26 ^A	13,77±0,90 ^A	13,74±0,48 ^A
	b*	20,18±1,25 ^B	22,19±0,92 ^{AB}	21,69±1,74 ^{AB}	23,85±1,79 ^{AB}	24,18±1,25 ^A
	C	23,60±0,41 ^B	25,72±0,97 ^{AB}	25,44±1,37 ^{AB}	27,54±1,96 ^A	27,82±1,16 ^A
	h	58,89±4,19 ^A	59,64±0,72 ^A	58,50±2,47 ^A	59,99±0,77 ^A	60,38±1,38 ^A
T7	L	27,26±1,83 ^A	26,58±1,10 ^A	25,52±1,93 ^A	23,51±1,39 ^{AB}	20,66±0,61 ^B
	a*	14,51±1,03 ^A	13,37±0,93 ^A	15,15±1,11 ^A	15,00±0,61 ^A	15,29±1,19 ^A
	b*	28,05±1,99 ^B	28,85±1,49 ^{AB}	30,39±1,71 ^{AB}	30,41±1,09 ^{AB}	32,45±1,22 ^A
	C	31,58±2,14 ^A	31,80±1,58 ^A	33,96±2,02 ^A	33,91±1,18 ^A	35,88±1,49 ^A
	h	62,63±1,19 ^A	65,14±1,40 ^A	63,52±0,44 ^A	63,74±0,65 ^A	64,78±1,30 ^A
T8	L	34,47±2,06 ^A	31,31±1,37 ^A	30,68±1,43 ^{AB}	27,28±0,84 ^{BC}	25,50±1,37 ^C
	a*	16,84±0,79 ^A	17,56±1,16 ^A	18,57±1,17 ^A	18,96±1,27 ^A	19,10±0,87 ^A
	b*	24,61±0,55 ^C	26,86±0,61 ^{BC}	28,98±0,79 ^{AB}	28,18±0,96 ^{AB}	30,38±1,47 ^A
	C	29,83±0,48 ^C	32,10±0,83 ^{BC}	34,44±0,17 ^{AB}	33,97±1,47 ^{AB}	35,89±1,55 ^A
	h	55,63±1,59 ^A	56,85±1,79 ^A	57,34±2,33 ^A	56,09±1,02 ^A	57,83±1,18 ^A

*Letras maiúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

6.3.4 Perda de massa fresca

A Figura 6.2 apresenta os valores de perda de massa fresca para physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias em diferentes atmosferas modificadas.

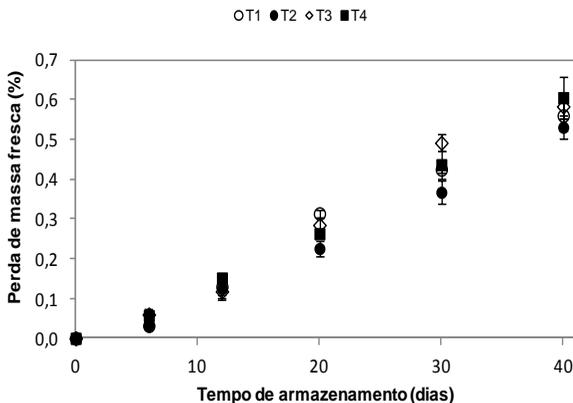


Figura 6.2: Perda de massa fresca de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias sob atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O₂ e 95% N₂, T3: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T4: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Após 40 dias de armazenamento a 5°C, as frutas apresentaram valores de perda de massa de 0,56%, 0,53%, 0,58% e 0,60% para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os tratamentos avaliados.

Resultados semelhantes foram descritos por Lanchero et al. (2007) que avaliaram três tipos de embalagens e diferentes misturas gasosas para physalis armazenadas sem cálice a 7°C por 30 dias. Os autores encontraram perdas de massa de 0,74% para physalis armazenada em embalagem de poliolefina, 0,32% para embalagem multicamada de polietileno e polipropileno biorientado e 0,37% para embalagem de polietileno e polietileno tereftalato. Quanto às diferentes misturas gasosas testadas (5% CO₂/5% O₂; 5% CO₂/10% O₂; ar sintético e mistura comercial Mapax-314), os autores não observaram diferença na perda de massa das amostras.

As amostras armazenadas sob atmosfera modificada, neste trabalho, apresentaram perda de massa fresca menor que 1%, indicando

que uso de embalagem combinado com a atmosfera modificada pode proteger o produto e reduzir a taxa respiratória evitando a perda de umidade durante o armazenamento.

A Figura 6.3 apresenta os valores de perda de massa fresca para physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em diferentes atmosferas modificadas.

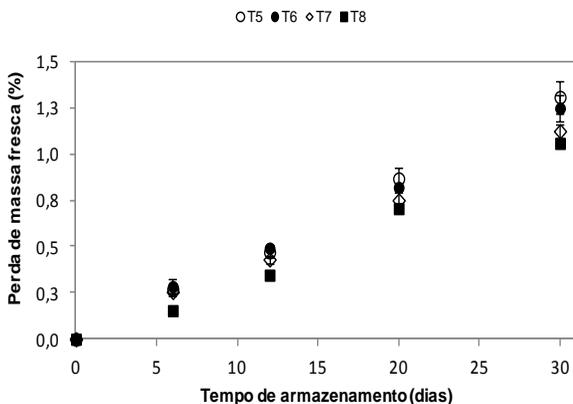


Figura 6.3: Perda de massa fresca de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O₂ e 95% N₂, T7: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T8: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

Após 30 dias de armazenamento a 10°C, as frutas apresentaram valores de perda de massa de 1,31%, 1,24%, 1,12% e 1,06% para os tratamentos T5, T6, T7 e T8, respectivamente. Observando os resultados, verificou-se que as atmosferas avaliadas não apresentaram efeito sobre a perda de massa fresca das frutas.

De acordo com Kang e Lee (1998), 5% de perda de massa é o limite para a comercialização de produtos frescos, valores superiores a este comprometem o frescor do produto e causam alterações sensoriais importantes, como amolecimento da estrutura do fruto. Desta forma, verificou-se que as physalis acondicionadas a 10°C em embalagens de BOPP/PEBD em diferentes atmosferas modificadas apresentaram resultados para este parâmetro que estão dentro dos limites aceitáveis descritos na literatura.

Baseado nos dados obtidos para perda de massa fresca de physalis armazenadas a 5°C e 10°C (Figuras 6.2 e 6.3), pode-se afirmar

que não foram observadas diferenças nos valores de perda de peso para as frutas submetidas às diferentes atmosferas gasosas, porém o uso de temperatura mais baixa ocasionou menores perdas de peso para todos os tratamentos.

Barbosa et al. (2011b) avaliando a influência da temperatura em cenouras verificou um claro efeito da temperatura nos processos relacionados à perda de água, via transpiração e processo respiratório.

A perda de umidade é uma característica fundamental para manutenção da qualidade do produto, visto que uma perda de massa excessiva pode alterar a aparência do mesmo, levando a sua rejeição pelo consumidor.

6.3.5 Textura

A Figura 6.4 apresenta a firmeza da pele dos frutos expressa pela força de perfuração das amostras armazenadas em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias sob diferentes atmosferas.

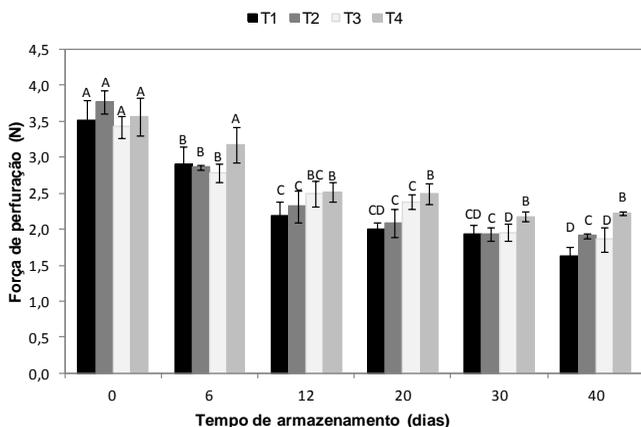


Figura 6.4: Força de perfuração de physalis armazenada a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O₂ e 95% N₂, T3: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T4: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de mesma cor indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

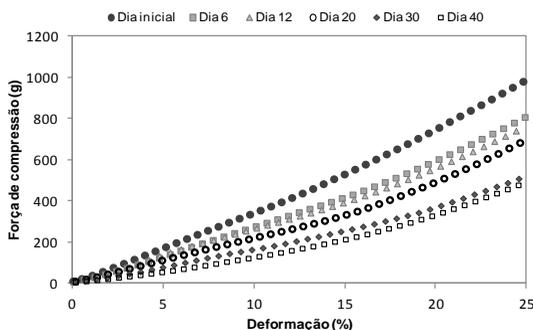
Os resultados mostraram uma redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de força de perfuração das amostras ao longo do armazenamento para as diferentes atmosferas avaliadas. A maior variação nos valores de força de perfuração foi observada para as

amostras controle (T1) e para as amostras em atmosfera de 5% O₂ e 95% N₂ (T2), seguido das amostras em atmosfera de 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂ (T3). As amostras do tratamento 4 (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) apresentaram a menor variação dos dados de força de perfuração ao longo do tempo.

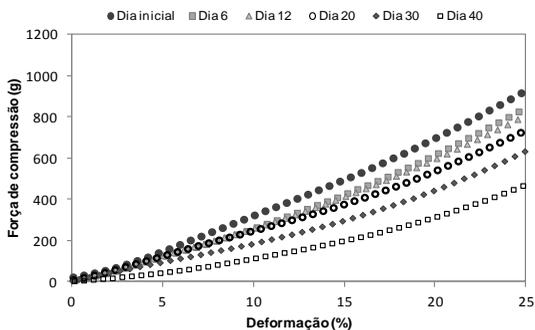
À medida que o processo de maturação se desenvolve, há redução da firmeza dos frutos devido a formação de ácido pectínico, ácido pectínico e pectinas a partir da hidrólise enzimática da protopectina que se encontra na lamela média das células vegetais (GAVA, 1984). Acredita-se que o uso de atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) reduziu as atividades metabólicas dos frutos, diminuindo a atividade de enzimas como a pectinesterase, responsável pela hidrólise da protopectina em substâncias pectínicas que favorecem a perda de rigidez da parede celular de produtos vegetais.

Bolzan et al. (2011) também observaram perda da firmeza da polpa de *physalis* armazenada a 2°C e 10°C por 90 dias.

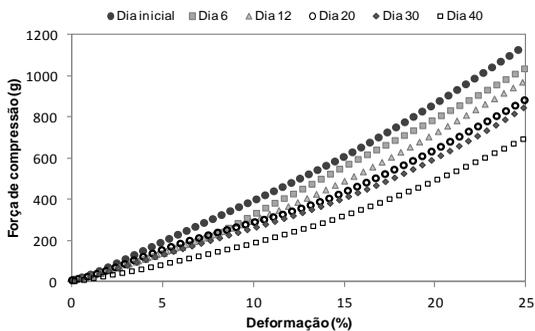
A Figura 6.5 apresenta a força de compressão obtida para *physalis* armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias sob diferentes atmosferas.



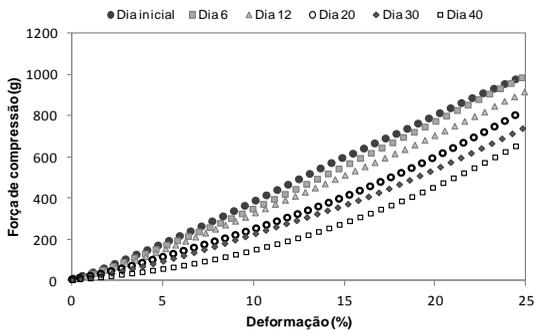
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.5: Força de compressão de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 40 dias em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O₂ e 95% N₂; (c) 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂; (d) 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂.

A força de compressão reduziu ao longo do tempo de armazenamento para todas as amostras. As amostras controle (T1) apresentaram redução na força de compressão de 1006,8 g para 499,8 g (redução de 50,4%). As amostras submetidas ao tratamento 2 apresentaram alteração de 915 g para 485,9 g (redução de 46,9%). As amostras do T3 variaram de 1153,8 g para 718 g (redução de 37,8%) e as amostras do tratamento 4 tiveram diminuição da força de compressão de 999,4 g para 681,8 g (redução de 31,8%).

Velasquez et al. (2007) observaram redução na força de compressão da *physalis* com o tempo de pós-colheita.

Comparando os dados obtidos para os frutos armazenados em atmosfera modificada e o tratamento controle, pode-se afirmar que o uso de atmosfera modificada contendo CO₂ na mistura gasosa em concentrações de 5% (T3) e 10% (T4) reduziu a respiração dos frutos e conseqüentemente os processos metabólicos que alteram a firmeza da *physalis*. Segundo Salunkhe et al. (1991), durante o amadurecimento de frutas, a despolimerização ou encurtamento do comprimento da cadeia da protopectina ocorre com um aumento das atividades da pectinesterase e poligalacturonase. Baixas concentrações de oxigênio e altas concentrações de dióxido de carbono reduzem as atividades destas enzimas e permite a retenção da firmeza de vegetais durante o armazenamento.

A Figura 6.6 apresenta a força de perfuração de *physalis* armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em diferentes atmosferas modificadas.

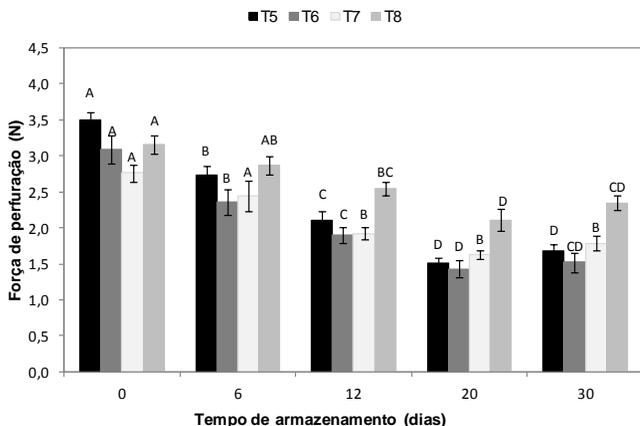


Figura 6.6: Força de perfuração de physalis armazenada a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O₂ e 95% N₂, T7: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T8: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de mesma cor indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

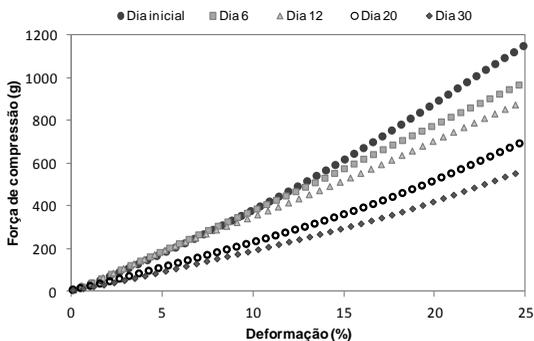
Houve redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de força de perfuração das amostras ao longo do tempo para as diferentes atmosferas modificadas estudadas. Sendo que a maior variação nos valores de força de perfuração foi observada para as amostras controle (T5), seguido das amostras submetidas ao tratamento 6 e tratamento 7. As amostras do tratamento 8 (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) apresentaram a menor variação dos dados de força de perfuração ao longo do tempo.

Analisando os dados mostrados na Figura 6.6, houve um aumento nos valores de força de perfuração para todas as amostras entre o 20° e o 30° dia de armazenamento a 10°C. Como a força de perfuração mede a rigidez da epiderme do fruto, este resultado representa um aumento da resistência da pele da fruta à força de perfuração aplicada. Isto ocorre devido a perda de água do produto, que tem como consequência o enrijecimento da pele e o amolecimento da polpa. Devido a este amolecimento do produto, nos últimos dias de análise, ocorreu a compressão do fruto pela sonda, e não a perfuração da pele que é o objetivo do teste.

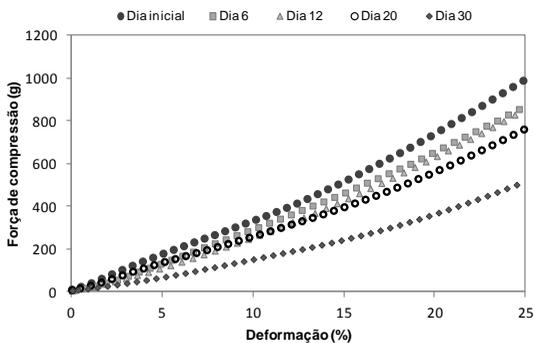
Valdenegro et al. (2012) obtiveram redução da firmeza de physalis de 3,8 N para 2,6 N ao final de 6 dias de armazenamento a 20°C. Os valores descritos pelo autor foram muito próximos ao encontrados neste estudo.

Restrepo et al. (2009) e Licodiedoff (2012) obtiveram valores de força média da polpa de physalis frescas de 2,72 N e 2,5 N, respectivamente.

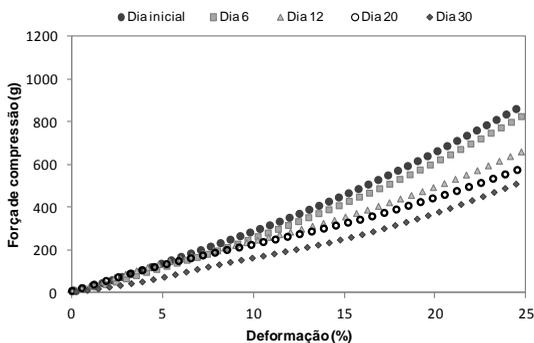
A Figura 6.7 apresenta a força de compressão de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em diferentes atmosferas modificadas.



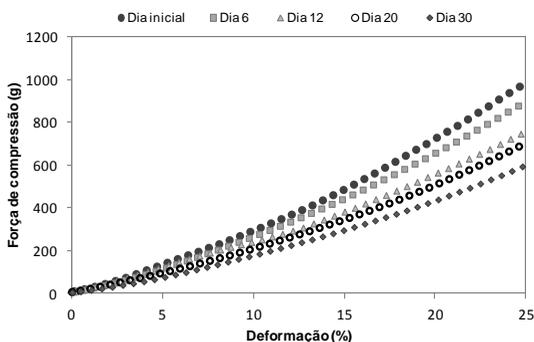
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.7: Força de compressão de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 30 dias em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O₂ e 95% N₂; (c) 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, (d) 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂.

Para amostras armazenadas em diferentes condições de atmosfera modificada (T5, T6, T7 e T8) houve redução dos dados de força de compressão ao longo do tempo de armazenamento. As amostras controle (T5) apresentaram redução na força de compressão de 1176,9 g para 571,5 g (redução de 51,4%). As amostras submetidas ao tratamento 6 apresentaram alteração de 1018,5 g para 538,4 g (redução de 47,1%). As amostras do T7 variaram de 910,7 g para 552,86 g (redução de 39,3%) e as amostras do tratamento 8 tiveram diminuição da força de compressão de 1026,6 g para 638,1 g (redução de 37,8%).

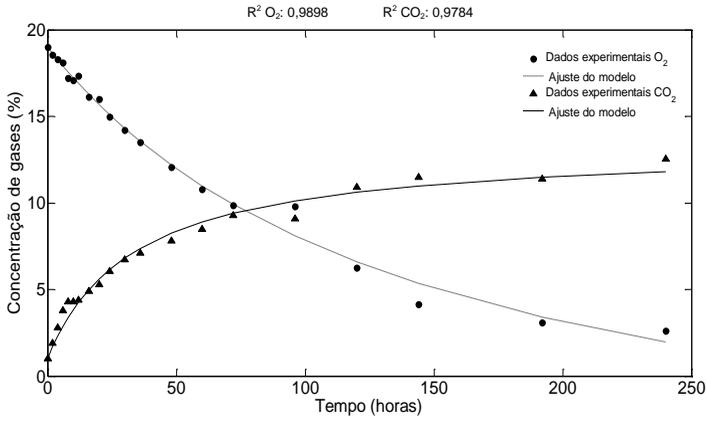
Para ambos os tratamentos (5°C e 10°C), os dados de força de perfuração das amostras reduziram significativamente ($p \leq 0,05$) ao longo do tempo. Sendo que a menor força de perfuração foi observada para as amostras armazenadas a 10°C em 20 dias de armazenamento. De acordo com Lancho et al. (2007), o uso de embalagens e modificação do ambiente envolvendo o fruto pode favorecer a conservação destes produtos, por reduzir alterações físico-químicas, além disso os autores afirmam que o uso de baixas temperaturas podem limitar a atividade de enzimas responsáveis pela degradação da parede celular. O que justifica a menor alteração da textura das amostras armazenadas a 5°C no presente estudo.

É importante salientar que houve um aumento na força de perfuração para as amostras armazenadas a 10°C ao final dos 30 dias, mas que este resultado não significa que o tratamento 8 foi semelhante ao tratamento 4 para este parâmetro. Este aumento ocorreu pelo fato de o produto armazenado a 10°C ter perdido mais água e como consequência, houve o amolecimento da estrutura da baga e enrugamento da fruta, sendo necessária maior força para perfurar a pele da fruta, visto que a mesma cede à pressão aplicada devido ao amolecimento do produto. Durante o processo de maturação as células perdem umidade devido à transpiração diminuindo a pressão de turgor e debilitando a estrutura e consistência da fruta (VELÁSQUEZ e SARAZ, 2008).

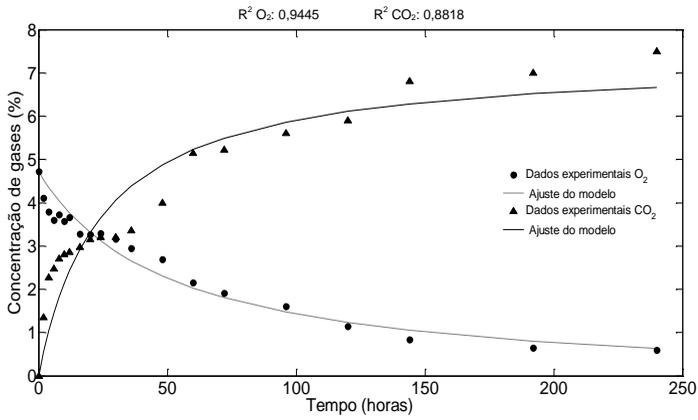
A textura é um dos fatores mais importantes para qualidade de frutas e influencia amplamente na aceitabilidade dos consumidores. Assim, o armazenamento a baixas temperaturas associadas com o uso de atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ pode retardar o envelhecimento, diminuir alterações metabólicas indesejáveis, reduzir a perda de umidade e evitar a deterioração do produto por ação microbiana.

6.3.6 Determinação da concentração de gases

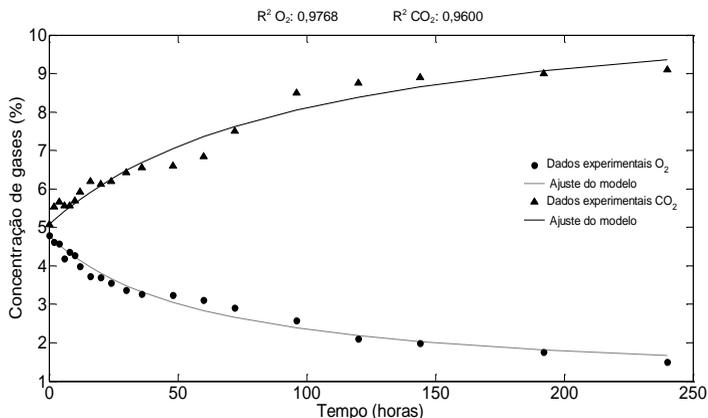
As concentrações de gases no interior das embalagens foram avaliadas durante dez dias, período necessário para alcançar o equilíbrio das concentrações de oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂). A Figura 6.8 mostra os resultados das concentrações de gases de physalis armazenadas a 5°C em diferentes condições de atmosfera modificada (T1: ar atmosférico, T2: 5% O₂ e 95% N₂, T3: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T4: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).



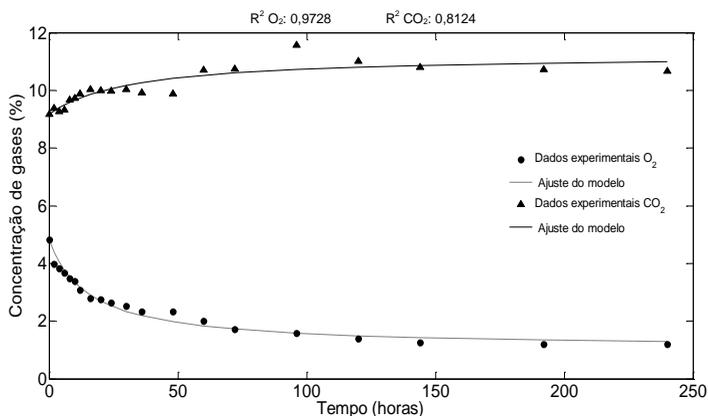
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.8: Concentração de gases (O_2 e CO_2) de physalis armazenada a $5^\circ C$ por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O_2 e 95% N_2 ; (c) 5% CO_2 , 5% O_2 e 90% N_2 (d) 10% CO_2 , 5% O_2 e 85% N_2 .

Como mostrado na Figura 6.8, para as amostras de physalis armazenadas em ar, a concentração de O_2 diminuiu de 19% para 2,6% e a concentração de CO_2 aumentou de 1% para 12,5%. Para as amostras armazenadas em atmosfera modificada de 5% O_2 e 95% N_2 , a concentração de O_2 diminuiu de 4,7% para 0,6%, e a concentração de CO_2 aumentou de 0% para 7,5%. As amostras em atmosfera de 5% CO_2 , 5% O_2 e 90% N_2 apresentaram diminuição das concentrações de O_2 de 4,8% para 1,5% e aumento na concentração de CO_2 de 5,1% para 9,1%. Os frutos de physalis submetidos ao tratamento com atmosfera

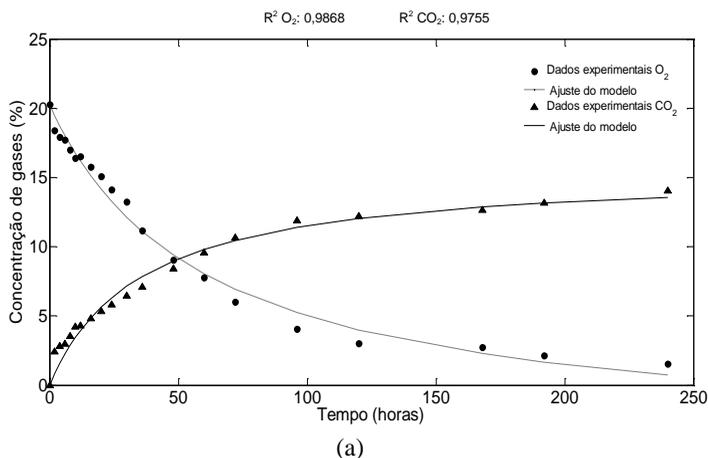
modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ apresentaram consumo de O₂ de 4,8% a 1,2% e produção de CO₂ de 9,2% a 10,7%.

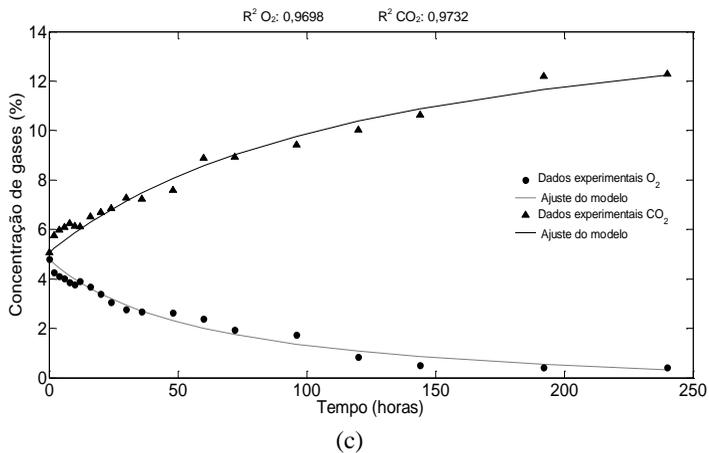
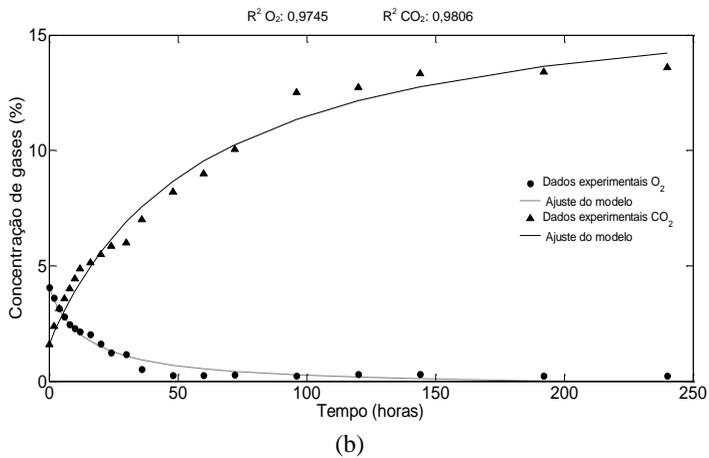
Com base nos resultados, verificou-se que entre os tratamentos realizados a 5°C, a atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ permitiu que os frutos tivessem o menor consumo de O₂ e menor produção de CO₂, sem que a concentração final de O₂ atingisse níveis inferiores a 1%.

Segundo Kader (1986) a diminuição da concentração de O₂ disponível para frutas e hortaliças reduz a taxa respiratória, que geralmente requer no mínimo de 1 a 3% de oxigênio para evitar a mudança de respiração aeróbica para anaeróbica.

De acordo com Gürakan e Bayindirh (2005), a atmosfera modificada pode reduzir a taxa respiratória de frutas e hortaliças devido à diminuição da atividade de enzimas envolvidas na respiração, como consequência da utilização de baixas concentrações de O₂ e altas concentrações de CO₂, fatores que reduzem o consumo de substratos de reserva e permitem o aumento da vida de prateleira do produto.

A Figura 6.9 mostra os resultados das concentrações de gases de physalis armazenadas a 10°C em diferentes condições de atmosfera modificada (T5: ar atmosférico, T6: 5% O₂ e 95% N₂, T7: 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂, T8: 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).





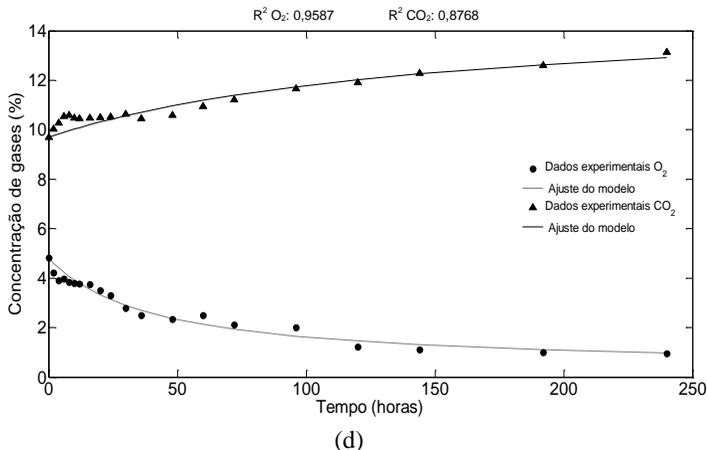


Figura 6.9: Concentração de gases (O₂ e CO₂) de physalis armazenada a 10°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O₂ e 95% N₂; (c) 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂ (d) 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂.

Como mostrado na Figura 6.9, para as amostras de physalis armazenadas em ar, a concentração de O₂ diminuiu de 20% para 1,5% e a concentração de CO₂ aumentou de 0 para 14%. Para as amostras armazenadas em atmosfera modificada de 5% O₂ e 95% N₂, o conteúdo de O₂ diminuiu de 4,1% para 0,22%, e o conteúdo de CO₂ aumentou de 1,6% para 13,6%. As amostras em atmosfera de 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂ apresentaram diminuição dos níveis de O₂ de 4,8% para 0,4% e aumento na concentração de CO₂ de 5,1% para 12,3%. Os frutos de physalis submetidos ao tratamento com atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ apresentaram consumo de O₂ de 4,8% a 0,96% e produção de CO₂ de 9,7% a 13,2%.

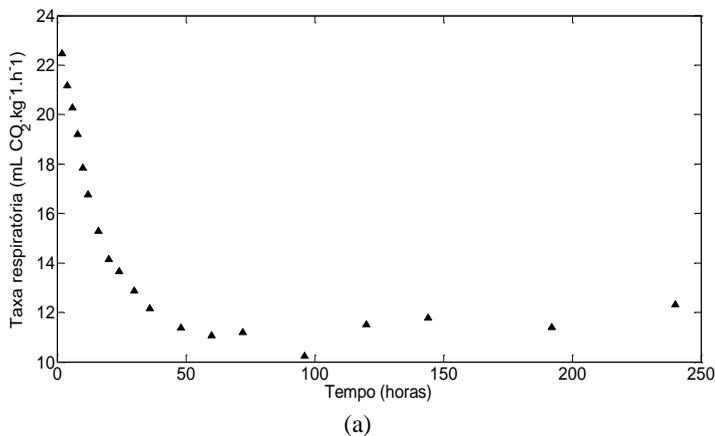
Verificou-se que entre os tratamentos realizados a 10°C, a atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ permitiu que os frutos tivessem o menor consumo de O₂ e menor produção de CO₂ quando comparado aos demais tratamentos, igualmente ao observado a 5°C. Porém, as concentrações de O₂ alcançadas nos tratamentos T6, T7 e T8 após 240h de armazenamento foram inferiores a 1%, podendo levar o fruto a respiração anaeróbica. Este resultado torna inapropriada a aplicação destas atmosferas associadas à temperatura de 10°C para conservação de physalis.

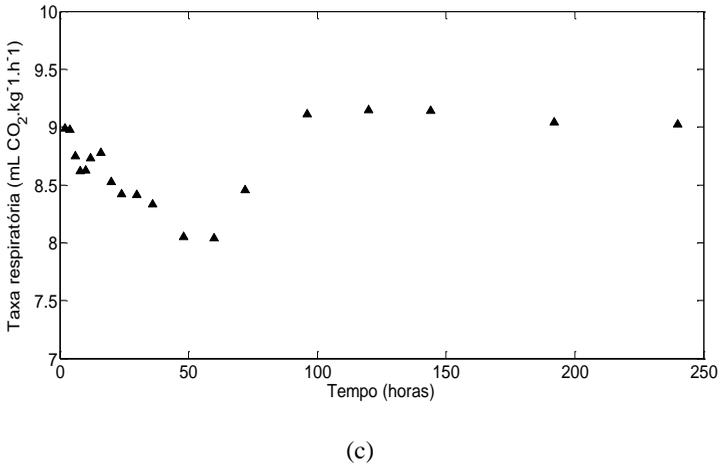
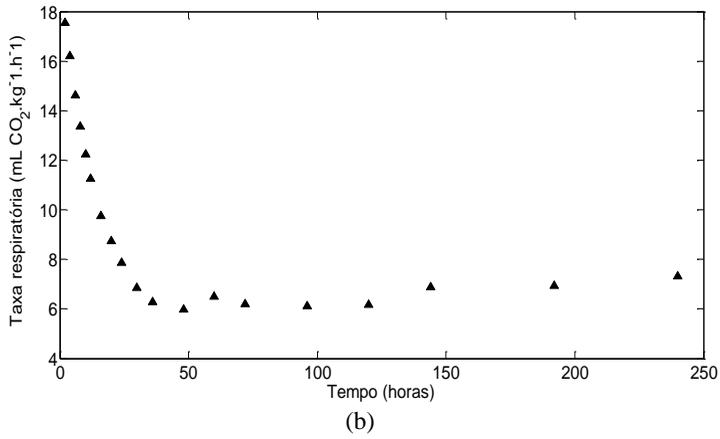
Chitarra e Chitarra (2005) afirmam que embora as embalagens de frutas e hortaliças em atmosfera modificada possam aumentar a vida

útil destes produtos, elas não conseguem superar os efeitos negativos causados pelo aumento da temperatura. Visto que o uso de temperaturas mais elevadas em produtos embalados em atmosfera modificada pode causar uma diminuição dos níveis de O_2 na atmosfera interna das embalagens devido à tendência da respiração aumentar mais do que a permeabilidade a gases do filme polimérico.

6.3.7 Taxa respiratória

A avaliação da respiração é um parâmetro importante a ser considerado em estudos de armazenamento de produtos vegetais, pois geralmente a condição de estocagem em que o produto mais respira é a condição que propicia que o fruto entre na fase de senescência mais rapidamente. Portanto, o controle da respiração é condição essencial para manutenção da qualidade e para o prolongamento da vida pós-colheita destes produtos. A Figura 6.10 apresenta a taxa respiratória de *physalis* armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 240h em diferentes atmosferas.





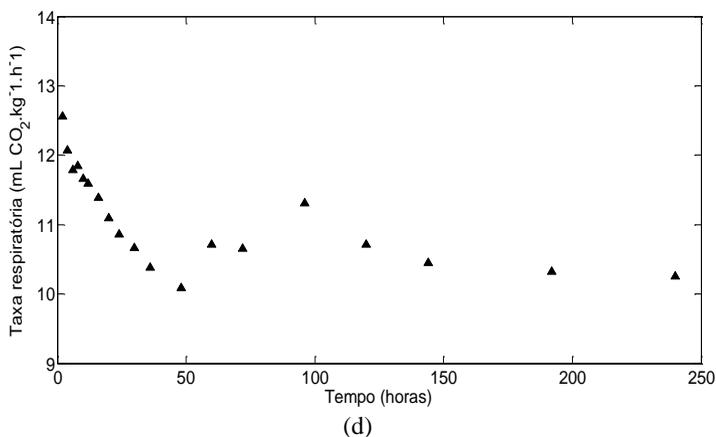


Figura 6.10: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O₂ e 95% N₂; (c) 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂ (d) 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂.

Vários trabalhos tem mostrado que a physalis apresenta comportamento tipicamente climatérico (TRINCHERO et al., 1999; ALVARADO et al., 2004; ÁVILA et al., 2006; NOVOA et al., 2006; GUTIERREZ et al., 2008). Segundo Kader et al. (1989), no processo de maturação dos frutos climatéricos, ocorre um aumento da intensidade respiratória e produção de etileno.

Quando se armazena uma amostra em embalagem com atmosfera modificada, esta passa a ter menor taxa respiratória pela própria disponibilidade limitada de O₂ que se desenvolve no interior da embalagem à medida que o fruto respira. Por mais que permeie O₂ através da embalagem do ambiente externo para o interno, esta transferência de massa é muito pequena em comparação à quantidade de O₂ consumido pela fruta na respiração, no início do armazenamento. Por isso é que se observa a redução da taxa, pois à medida que a fruta respira, reduz a concentração de O₂ disponível na embalagem e consequentemente diminui a velocidade de respiração (taxa), além disso, o CO₂ produzido inibe o processo respiratório. O cálculo da taxa respiratória em sistemas permeáveis também considera o efeito do fluxo de gás através da embalagem. Sendo assim, quando a concentração de CO₂ atinge altos valores devido à respiração do fruto, este gás começa a permear para o ambiente externo através da embalagem, reduzindo a

quantidade de CO_2 no interior da mesma até que se atinja o equilíbrio gasoso. O efeito do fluxo de CO_2 através da embalagem pode ser visualizado na Figura 6.11, que mostra separadamente, a taxa de produção de CO_2 pela physalis e o efeito do fluxo de gás através da embalagem. O somatório destas duas curvas corresponde ao gráfico de taxa respiratória (Figura 6.10) para cada condição avaliada. Sendo assim, em algumas condições de atmosfera modificada foi observada uma redução da taxa respiratória no início do armazenamento, seguido de um aumento na taxa que pode ser explicada analisando-se a Equação 6.2. Como temos um somatório na equação para o cálculo de taxa respiratória de frutas em sistemas permeáveis, o aumento no fluxo de CO_2 para o exterior da embalagem reflete em um aumento na taxa respiratória.

As amostras acondicionadas em atmosfera contendo ar (T1) e em atmosfera modificada de 5% O_2 e 95% N_2 (T2) apresentaram redução mais intensa da taxa respiratória dos frutos, este resultado mostra que a fruta produziu CO_2 a uma determinada velocidade que foi diminuindo com o decorrer do tempo até que se alcançasse o equilíbrio gasoso (Figura 6.10 a, b). Este equilíbrio ocorreu quando a taxa de produção de CO_2 se igualou a velocidade com que o gás permeava para fora da embalagem.

Quanto às amostras acondicionadas em atmosfera modificada contendo 5% CO_2 , 5% O_2 e 90% N_2 (T3) 10% CO_2 , 5% O_2 e 85% N_2 (T4) observou-se uma redução da taxa respiratória durante as primeiras 50 h de estocagem, seguido de um aumento da taxa (Figura 6.10 c, d). Este aumento é explicado pelo fluxo de CO_2 através da embalagem que pode ser observado através da Figura 6.11 (c, d). O efeito do fluxo de CO_2 através da embalagem foi mais evidente nestas duas condições de armazenamento (T3 e T4), pois em ambos os tratamentos havia CO_2 presente das próprias atmosferas modificadas utilizadas. Analisando apenas a taxa de CO_2 produzida pela fruta (Figura 6.11 d), observou-se que após 150h os valores foram iguais a zero, indicando que a velocidade de produção de CO_2 pela fruta foi constante a partir deste período.

A presença de CO_2 nas embalagens em combinação com a quantidade reduzida de O_2 se mostraram eficientes para inibir a respiração dos frutos. Este resultado indica que como a fruta respirou menos durante o período de armazenamento, estas condições de atmosfera modificada (T3 e T4) permitiram que o fruto entrasse na fase de senescência mais tarde.

Contudo, a condição que melhor controlou a respiração dos frutos foi a atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂, pois permitiu que a taxa de CO₂ produzido se tornasse constante em menor período de tempo (Figura 6.11 d). Assim, acredita-se que o uso desta mistura gasosa na conservação de *physalis* tenha contribuído para retardar o processo de amadurecimento e senescência da fruta.

Majumder e Mazumdar (2002) avaliaram a produção de CO₂ durante o desenvolvimento e amadurecimento de *physalis* através do armazenamento das frutas em um recipiente hermético de vidro mantido a 20°C por 24 h, sendo 16 h de iluminação. Amostras de gás foram analisadas em cromatógrafo gasoso e os resultados mostraram uma produção de 10,12 mL de CO₂/kg.h para a fruta fresca.

Gutierrez et al. (2008) avaliou a taxa respiratória de *physalis* e observou uma redução ao longo do armazenamento, sendo que a diminuição na taxa de produção de CO₂ foi maior para os frutos imaturos e menor para os frutos completamente maduros (alaranjados).

De acordo com Valdenegro et al. (2012) a taxa respiratória de *physalis* reduziu durante o desenvolvimento do processo de maturação, e os valores encontrados foram de 109,1 mg CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ para o dia inicial e 54,6 mg CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ após 6 dias a 20°C.

Novoa et al. (2006) estudaram a curva de respiração de *physalis* armazenadas com cálice a 12°C por 30 dias através do uso de câmaras de respiração e cromatografia gasosa e observaram os frutos apresentaram uma diminuição da taxa respiratória entre 1° e o 9° dia, seguido de um aumento da taxa até um valor máximo no 12° dia de estocagem. Os autores verificaram um aumento da taxa respiratória no 12° dia, que corresponde ao pico climatérico, seguido de uma redução da intensidade respiratória que permaneceu até o final do período de armazenamento.

Alvarado et al. (2004) avaliaram a taxa respiratória de *physalis* através da introdução das frutas, por um período de 1 hora, em câmaras de respiração, de onde foram retiradas amostras de gás para leitura em cromatógrafo gasoso. Os autores observaram que os frutos seguiram um comportamento climatérico, onde normalmente a respiração diminui lentamente a valores baixos imediatamente antes do começo da maturação (entre os dias 18 e 20), aumenta até alcançar seu valor máximo quando o fruto amadurece (entre os dias 18 e 26) e diminui durante a senescência (depois do dia 26). Este comportamento foi observado para amostras de *physalis* armazenadas a 1,5°C por 35 dias.

Os dados de taxa respiratória descritos pelos referidos autores não foram determinados em embalagens com atmosfera modificada, e

isto explica o fato de alguns tratamentos avaliados no presente trabalho, apresentarem comportamento da curva de respiração diferente dos demais, pois se trata da avaliação da respiração do fruto em condições que diferem da composição gasosa do ar.

A Figura 6.11 apresenta a taxa de produção de CO_2 pela physalis e o efeito do fluxo de CO_2 através da embalagem para as amostras armazenadas a 5°C por 240h em diferentes atmosferas.

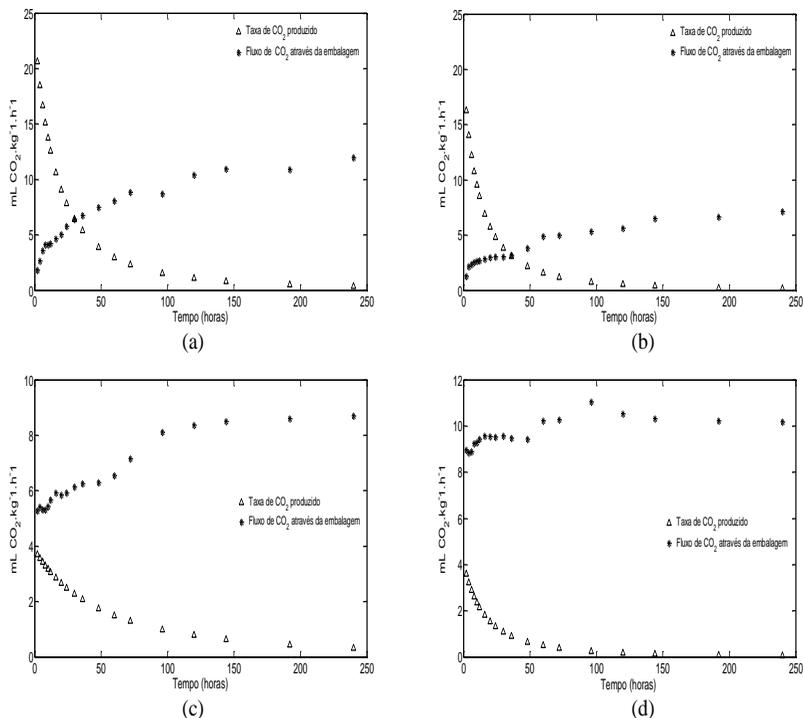
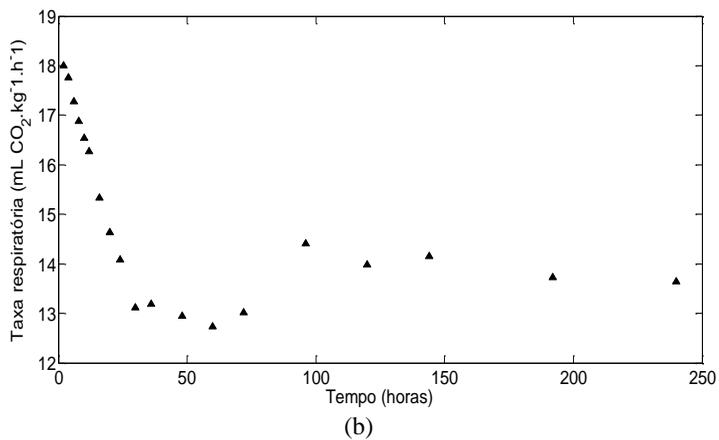
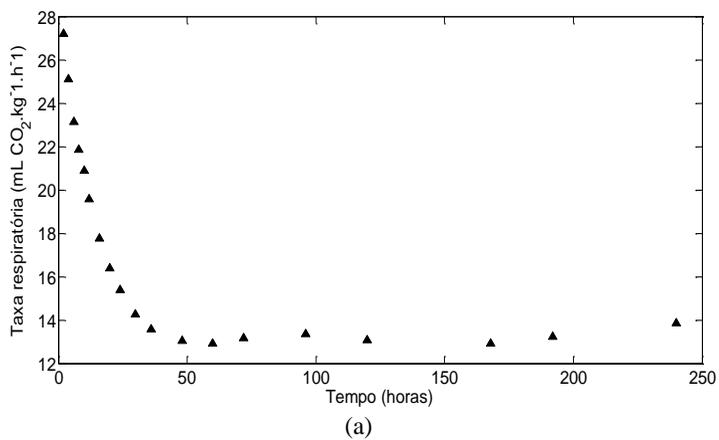


Figura 6.11: Taxa de CO_2 produzido pela physalis e efeito do fluxo de CO_2 através da embalagem de BOPP/PEBD a 5°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O_2 e 95% N_2 ; (c) 5% CO_2 , 5% O_2 e 90% N_2 (d) 10% CO_2 , 5% O_2 e 85% N_2 .

A Figura 6.12 apresenta a taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 240h em diferentes atmosferas modificadas.



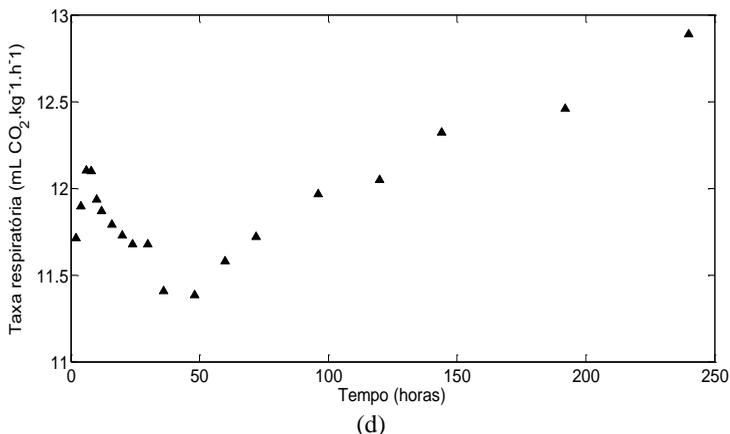
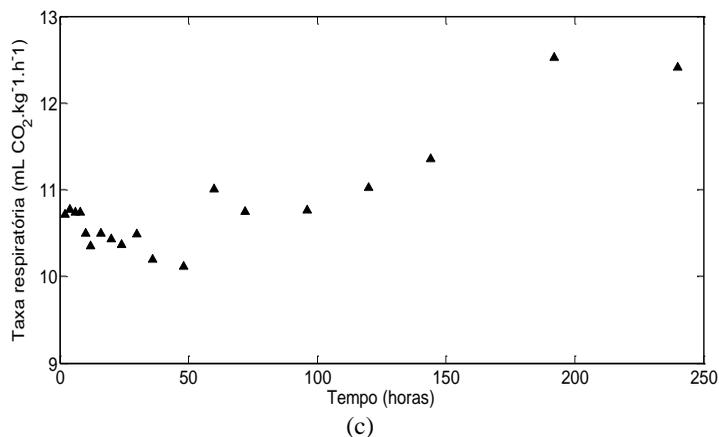


Figura 6.12: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem de BOPP/PEBD a 10°C por 10 dias (240h) em atmosfera modificada: (a) ar atmosférico; (b) 5% O₂ e 95% N₂; (c) 5% CO₂, 5% O₂ e 90% N₂ e (d) 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂.

O mesmo comportamento das curvas de taxa respiratória foi observado para as amostras armazenadas a 5°C e 10°C para cada atmosfera modificada. Mesmo a 10°C, a condição que melhor controlou a respiração da physalis foi a atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂. O uso desta mistura gasosa na conservação de physalis contribuiu para retardar o processo de amadurecimento e senescência da fruta, no entanto os efeitos do aumento da temperatura devem ser considerados, pois esta influencia no aumento da respiração.

Além dos testes realizados a 5°C e 10°C, também foi avaliado o armazenamento de physalis a 15°C em duas condições de atmosfera (ar e 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂). Porém as frutas armazenadas em ar apresentaram alto grau de deterioração após 12 dias e em atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) após 20 dias os frutos estavam impróprios para o consumo. Os produtos armazenados a 15°C possivelmente entraram em anaerobiose, sendo possível perceber um mau cheiro e condensação de água dentro da embalagem devido a perda excessiva de água das physalis nestas condições de armazenamento (Figura 6.13).



Figura 6.13: Condensação de água nas embalagens armazenadas a 15°C.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ permitiu que as frutas tivessem o menor consumo de O₂ e menor produção de CO₂, nas duas temperaturas avaliadas (5°C e 10°C). Porém, as concentrações de O₂ alcançadas nos tratamentos a 10°C foram inferiores a 1%, podendo levar o fruto à respiração anaeróbica. A atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ reduziu a respiração dos frutos e conseqüentemente os processos metabólicos que alteram parâmetros físico-químicos como pH, teor de sólidos solúveis totais e a textura da physalis. O efeito benéfico do uso da atmosfera modificada foi evidente nos tratamentos realizados sob baixa temperatura (5°C).

Considerando os resultados avaliados e a observação visual do fruto ao longo do armazenamento, é possível afirmar que a physalis em atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) a 5°C pode alcançar um período de conservação de até 30 dias sem perdas apreciáveis dos atributos de qualidade do produto.

CAPÍTULO 7:
AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DE
PHYSALIS (*Physalis peruviana* L.) ARMAZENADAS EM
ATMOSFERA MODIFICADA

7.1 INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira apresenta grande potencial de expansão, pois ainda existem inúmeras frutas nativas e exóticas pouco exploradas economicamente. Os frutos do gênero *Physalis* são considerados frutas exóticas pertencentes à família Solanaceae, originária da Amazônia e dos Andes, possuindo variedades cultivadas na América, Europa e Ásia (ROCKENBACH et al., 2008).

Por ser uma fruta exótica e pouco conhecida no Brasil (ROCKENBACH et al., 2008), o fruto do gênero *Physalis* é um produto de alto valor econômico (LIMA et al., 2009), o que desperta o interesse em estudar alternativas que permitam aumentar a vida útil do produto, reduzir perdas e danos mecânicos devido ao manejo inadequado durante o período pós-colheita, e desta forma, contribuir para aumentar o período de oferta de *physalis* no mercado interno e externo.

Para assegurar a estabilidade, qualidade nutricional e sensorial de frutas é necessário controlar os fatores que possam influenciar direta ou indiretamente sobre esses produtos (ROJAS-GRAÜ, 2006). O conhecimento das alterações físico-químicas durante o processo de maturação pode contribuir para o desenvolvimento de tratamentos adequados para as etapas pós-colheita, para garantir a qualidade e prolongar a conservação da fruta (LANCHERO et al., 2007).

O armazenamento a frio retarda os processos fisiológicos como a respiração e a produção de calor vital, que levam à senescência dos vegetais (FILGUEIRAS et al., 1996). Embora a refrigeração se apresente como uma prática eficiente para redução das perdas pós-colheita, o armazenamento em atmosfera modificada ou controlada poderá trazer melhores benefícios, quando usado adequadamente (CHITARRA e CHITARRA, 2005). O baixo nível de O₂ e o alto nível de CO₂ na embalagem com atmosfera modificada reduzem a respiração do produto, transpiração, atividades metabólicas, escurecimento, ação do etileno e do crescimento de microrganismos, especialmente quando em associação com a refrigeração, resultando num aumento de vida de prateleira do produto fresco (FARBER, 1991).

O sucesso da aplicação da tecnologia de acondicionamento em embalagens com atmosfera modificada está associado à natureza e qualidade inicial do produto, especificidade da mistura gasosa em relação ao produto, controle de temperatura e propriedades de barreira da embalagem (OLIVEIRA, 2006).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações físico-químicas de physalis armazenadas em atmosfera contendo ar e atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂, 85% N₂) a 5°C por 30 dias.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1 Matéria-prima

As physalis foram cultivadas e colhidas na Fazenda Coxilha Rica, localizada no município de Lages, SC. Após a colheita as frutas foram acondicionadas em ambiente refrigerado até o transporte para o laboratório. As amostras foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 e 5 (ICONTEC, 1999). Posteriormente, foram higienizadas em água ozonizada 0,5 µg.mL⁻¹ por 1 min e o excesso de água foi retirado por centrifugação manual.

7.2.2 Armazenamento em atmosfera modificada

Foram utilizadas nos tratamentos 100 g de physalis acondicionadas em embalagem de polipropileno biorientado e polietileno de baixa densidade (BOPP/PEBD). As diferentes composições gasosas (ar e 10% CO₂/5% O₂/85% N₂) foram injetadas nas embalagens utilizando seladora a vácuo (200B, Selovac), com pressão de 1,1 bar e tempo de injeção de 12 segundos. As amostras foram armazenadas em estufa refrigerada a 5°C durante 30 dias. Análises da concentração de gases (O₂ e CO₂) ao longo do armazenamento foram realizadas em triplicata de leitura e duplicata de embalagem através do analisador de gases (PBI Dansensor, CheckMate II).

7.2.3 Taxa respiratória

A taxa respiratória de physalis foi definida pelo consumo de oxigênio e produção de gás carbônico no interior da embalagem. A expressão é dada pela diferença de concentração, massa do produto e volume livre da embalagem (TORRIERI et al., 2009). O modelo para determinar as taxas de respiração de vegetais em sistemas permeáveis, está descrito pelas Equações 7.1 e 7.2, conforme Torrieri et al. (2009) e Lee et al. (1996).

$$r_{O_2} = -\frac{V_L}{100W} \frac{d[O_2]}{dt} + \frac{S P_{O_2} (0,21 - [O_2]/100) p}{W L} \quad (\text{Eq.7.1})$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_L}{100W} \frac{d[CO_2]}{dt} + \frac{S P_{CO_2} ([CO_2]/100) p}{W L} \quad (\text{Eq.7.2})$$

Onde: r_{O_2} é a taxa respiratória em função do consumo de O_2 , expressa em $mL.kg^{-1}.h^{-1}$; r_{CO_2} é a taxa respiratória em função da produção de CO_2 , expressa em $mL.kg^{-1}.h^{-1}$; $[O_2]$ e $[CO_2]$ são as concentrações de oxigênio e de dióxido de carbono, respectivamente, expressas em %; L é a espessura do filme (mm); S é a área da embalagem (m^2); p é a pressão atmosférica (atm); P_{O_2} e P_{CO_2} são a permeabilidade do filme para O_2 e CO_2 ($mL.m^{-2}.h^{-1}.atm^{-1}$), respectivamente; t é o tempo (h); V_L é o volume livre da embalagem (mL) e W é a massa de produto acondicionado na embalagem (kg). O volume livre da embalagem (V_L) foi determinado pela diferença entre o volume total da embalagem e o volume ocupado por 100 g de amostra. O volume total da embalagem foi determinado em recipiente de volume conhecido contendo sementes de painço, o volume ocupado por cada embalagem neste recipiente foi medido através do deslocamento das sementes para uma proveta graduada conforme descrito em Moraes et al. (2010). O volume ocupado por 100 g de amostra que estavam no interior da embalagem também foi determinado por deslocamento de sementes. O volume livre da embalagem foi 630 mL.

A função regressão foi usada para ajuste de dados de concentração de gás versus o tempo, e a taxa de respiração foi determinada pela primeira derivada da função regressão (CAMERON et al., 1989; DASH et al., 2007). Essa função de dois parâmetros não exponencial semelhante ao modelo Peleg (1988) para curvas de sorção de umidade, que foi usada para ajustar a concentração de gás, a qualquer temperatura, dependente do tempo de armazenagem decorrido. Um modelo similar foi aplicado para dados de respiração de banana (BHANDE et al., 2008). Os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos utilizando-se as Equações 7.3 e 7.4

$$[O_2] = 0,21 - \frac{t}{(at + b)} \quad (\text{Eq.7.3})$$

$$[CO_2] = \frac{t}{(at + b)} \quad (\text{Eq.7.4})$$

A primeira derivada da função regressão (Equação 7.5 e 7.6) foi usada para determinar a taxa de variação da concentração do gás.

$$\frac{dO_2}{dt} = -\frac{b}{(at + b)^2} \quad (\text{Eq.7.5})$$

$$\frac{dCO_2}{dt} = \frac{b}{(at + b)^2} \quad (\text{Eq.7.6})$$

Substituindo as Equações 7.5 e 7.6 nas Equações 7.1 e 7.2 obteve-se a taxa de respiração da fruta com o tempo, por meio de um programa desenvolvido no software Matlab (Mathworks Inc., USA).

7.2.4 Determinação de etileno

Para determinação das concentrações de etileno (C₂H₄) na embalagem foram realizadas leituras em cromatógrafo gasoso (CG8A, Shimadzu), coluna Porapak-Q, 1,8 m, detector de condutividade térmica, condições: temperatura inicial da coluna foi de 35°C e final 120°C e temperatura do detector 110°C, como gás de arraste foi utilizado argônio com vazão de 30 mL/min. O cromatógrafo foi calibrado com uma mistura de N₂ e C₂H₄, sendo o volume injetado de 50 µL. Para coleta dos dados foi adaptado um septo de borracha adesivo no lado externo da embalagem e o gás foi retirado com uma seringa e injetado no cromatógrafo (LAROTONDA et al., 2008).

7.2.5 pH e sólidos solúveis totais

A determinação do pH foi realizada de acordo com AOAC (2002). O suco dos produtos foi obtido por compressão da polpa da fruta até a obtenção de 30 mL de suco e o pH foi determinado utilizando-se um pHmetro digital (Q400MT, Quimis).

O teor de sólidos solúveis totais das amostras foi determinado no suco dos produtos utilizando-se um refratômetro digital (AR 200, Reichert Analytical Instruments), que fornece medidas diretas em °Brix, com resolução de 0,1°Brix.

7.2.6 Ácidos orgânicos

A análise de ácidos orgânicos nas amostras de frutas foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em cromatógrafo líquido (Series 200, PerkinElmer) equipado com desgaseificador à vácuo, bomba binária, injetor manual (microseringa de 100 μ L), loop de 20 μ L e detector de UV-VIS, faixa de comprimento de onda de 250 nm para ácido ascórbico e a 210 nm para os demais ácidos, segundo Facco (2006) modificado. Para a separação cromatográfica foi utilizada uma coluna de fase reversa C18 (ODS-II, 4,6 x 250 mm ID, 3 μ m). A fase móvel utilizada para separação dos ácidos foi uma solução aquosa de KH_2PO_4 0,01 M, na vazão de 0,7 mL/min, com pH ajustado para 2,6 com ácido fosfórico e tempo de corrida de 15 min. A quantificação dos ácidos orgânicos foi realizada por curva de padronização externa com 6 pontos para cada ácido orgânico (cítrico, málico, ascórbico e tartárico). Todas as amostras e a fase móvel foram filtradas em membrana de celulose regenerada com diâmetro de 47 mm e tamanho de poro de 0,45 μ m. Foram mantidas as mesmas condições cromatográficas para os padrões e amostras. As amostras de frutas foram prensadas e o suco obtido foi diluído com fase móvel (1/9), previamente filtrada em membrana de celulose regenerada. A amostra foi filtrada em papel filtro e em Minisart (RC 4, Sartorius). A identificação dos ácidos orgânicos nas amostras de frutas foi efetuada pela comparação do seu tempo de retenção com o do respectivo padrão.

7.2.7 Açúcares

A análise de açúcares nas amostras de frutas foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em cromatógrafo líquido HPLC (Series 200, PerkinElmer) equipado com desgaseificador à vácuo, bomba binária, injetor manual (microseringa de 100 μ L), loop de 20 μ L, detector de índice de refração temperatura da coluna 50°C e temperatura do forno 65°C. Para a separação cromatográfica foi utilizada uma coluna Lichrospher 100 NH_2 5 μ m (250 x 4 mm). A fase móvel utilizada para separação dos açúcares foi uma solução aquosa de acetonitrila a 75% com vazão de 0,8 mL/min e tempo de corrida de 15 min de acordo com Macrae (1998). A quantificação dos açúcares foi realizada por curva de padronização externa com 6 pontos para cada padrão (sacarose, glicose, frutose). Foram mantidas as mesmas condições cromatográficas para os padrões e amostras. As amostras de fruta foram prensadas e 1 g do suco obtido foi homogeneizado em solução aquosa de acetonitrila 75% e transferido para um balão

volumétrico completando-se o volume para 50 mL. A solução foi submetida a um banho ultrassônico por 10 min e foi filtrada em papel filtro e em Minisart (RC 4, Sartorius) para injeção no cromatógrafo. A identificação dos açúcares nas amostras de frutas foi efetuada pela comparação do seu tempo de retenção com o do respectivo padrão.

7.2.8 Cor

A cor das amostras foi determinada na região oposta ao pedúnculo da fruta. As medidas foram realizadas por meio da utilização de um colorímetro (Miniscan EZ, Hunterlab) operando no sistema CIELAB (L^* , a^* , b^* , C , h), utilizando sistema de iluminação D65 e ângulo de observação de 10° . Sendo que, o índice " L^* " mede a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco); " a^* " mede da cor verde (negativo) à cor vermelha (positivo); e " b^* " mede da cor azul (negativo) à cor amarela (positivo). O " C " ou croma, fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o " h " corresponde à tonalidade à cor vermelha (0°), à cor amarela (90°), à cor verde (180°) e à cor azul (360°) (KONICA MINOLTA, 1998).

7.2.9 Extração e identificação de carotenoides

O processo de extração dos carotenoides foi realizado pesando-se 2,5 g do produto em 20 mL de acetona. A extração foi realizada em agitador magnético por 1 h à temperatura ambiente, mantendo-se as amostras protegidas da luz. Os extratos foram filtrados em membrana de celulose sob vácuo. Os extratos filtrados foram transferidos para tubos de centrífuga e adicionaram-se 20 mL de éter de petróleo e 10 mL de água destilada deionizada. A centrifugação foi realizada a 3000 rpm por 10 min. Posteriormente a solução dos pigmentos em éter de petróleo foi transferida para um balão volumétrico completando-se o volume para 50 mL com éter de petróleo. A extração de carotenoides foi realizada em duplicata. O teor de carotenoides totais foi determinado em espectrofotômetro (Glod S53 UV-Vis, Ningbo Biocotek) a 450 nm em éter de petróleo, e o resultado, expresso em termos de β -caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). O teor de β -caroteno foi calculado pela Equação 7.5.

$$\frac{(A \times V \times 10^6)}{(A_{1\text{cm}}^{1\%} \times M \times 100)} = \text{teor de } \beta\text{-caroteno } \mu\text{g/g} \quad (\text{Eq. 7.5})$$

Onde: A, absorvância da solução no comprimento de onda de 450 nm; V, volume final da solução; $A_{1cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um solvente específico e M, massa da amostra tomada para a análise. Para o β -caroteno em éter de petróleo o valor do coeficiente de extinção é 2592 (BRITTON, 1995).

A amostra seca em rota-evaporador foi diluída em 3 mL de hexano, em seguida 10 μ L da amostra foram injetados em triplicata no cromatógrafo líquido (LC-10A, Shimadzu) equipado com um coluna de fase reversa C18 (Vydac 218TP54, 250 mm x 4,6 mm, diâmetro interno 5 μ m, 30°C) e detector UV-Visível, operando a 450 nm. Como fase móvel foi utilizada solução metanol:acetonitrila (90:10) em um fluxo de 1 mL/min. A identificação do composto de interesse (luteína, zeaxantina, α -caroteno e β -caroteno) na amostra de fruta foi realizada com tempos de retenção obtidos para os padrões, analisados sob as mesmas condições das amostras. Devido à susceptibilidade de carotenoides à isomerização, foram tomadas algumas medidas de precaução para prevenir perdas durante o manuseio e processo de extração. Os seguintes procedimentos foram seguidos: conclusão da análise em curto tempo, substituição da atmosfera interna do frasco por N₂, proteção contra a luz e evitar contato com ácido e calor conforme descrito por Kuhnen et al. (2011). As análises foram realizadas no Laboratório de Morfogênese e Bioquímica Vegetal do Centro de Ciências Agrárias (UFSC).

7.2.10 Perda de massa fresca

A perda de massa fresca de amostras não destrutivas foi determinada por gravimetria com auxílio de balança analítica (AY 220, Shimadzu) com precisão de 0,0001 g, conforme Pereira et al. (2005).

7.2.11 Textura

A avaliação instrumental da textura foi realizada por meio de um analisador de textura digital (TAXT2i, Stable Micro System), com célula de carga de 50 kg. Para realização do ensaio de perfuração foi utilizado uma sonda de 2 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 3,3 mm/s, 3 mm/s e 5 mm/s, respectivamente. A profundidade de perfuração foi de 5,0 mm e o tempo de amostragem de

30 s. O ensaio de perfuração foi realizado na região equatorial do fruto. O ensaio de compressão foi realizado utilizando-se uma sonda cilíndrica de alumínio com 45 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 1 mm/s, 2 mm/s e 5 mm/s, respectivamente, a deformação utilizada foi de 30% do produto. O ensaio de compressão foi realizado no sentido do eixo do fruto, após a remoção do pedúnculo. A deformação (%) foi calculada pela razão entre a deformação absoluta (mm) e o comprimento inicial da amostra (mm), conforme mostrado na Equação 7.6.

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 7.6})$$

Onde: ΔH é a variação absoluta da dimensão do corpo devido à aplicação da força (mm); H_0 é a dimensão inicial do corpo (mm).

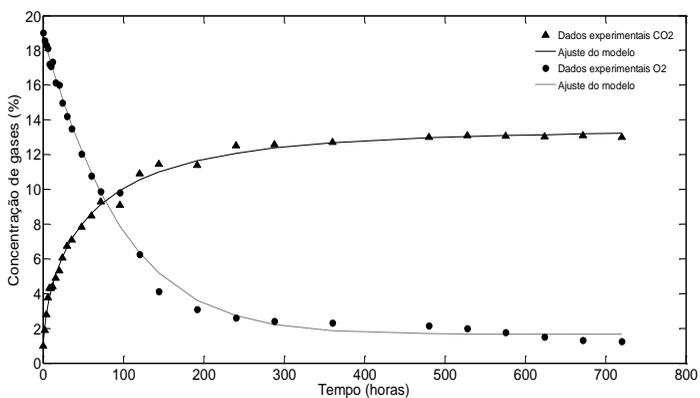
7.2.12 Análise estatística

Os resultados foram avaliados mediante a análise de variância (ANOVA) com o software Statistica 6.0 (Stafsoft Inc., EUA), e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

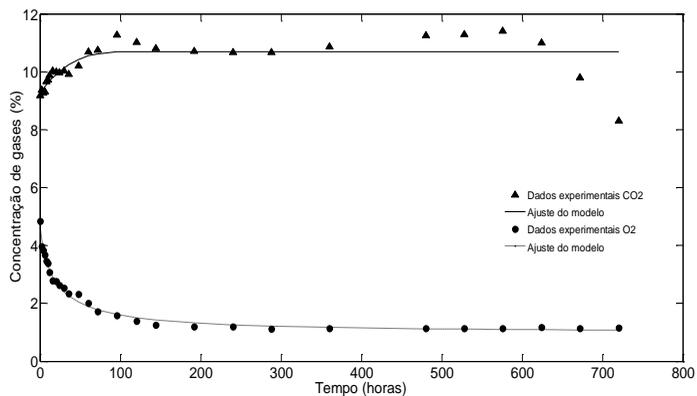
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.3.1 Determinação da concentração de gases

A Figura 7.1 mostra os resultados das concentrações de gases de physisalis armazenadas a 5°C em embalagens com diferentes composições gasosas (ar atmosférico e 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂).



(a)



(b)

Figura 7.1: Concentração de gases (O₂ e CO₂) de physalis armazenada a 5°C por 30 dias (720h) em embalagem contendo: (a) ar atmosférico; (b) atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂.

Como mostrado na Figura 7.1, para as amostras de physalis armazenadas em ar, a concentração de O₂ diminuiu de 19% para 1,25% e a concentração de CO₂ aumentou de 1% para 13%. As amostras armazenadas em atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ apresentaram redução na concentração de O₂ de 4,8% a 1,15% e aumento da concentração de CO₂ de 9,2% a 9,8%. Verificou-se que a atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ permitiu que os frutos tivessem menor consumo de O₂ e menor produção de CO₂, sem que a concentração final de O₂ atingisse níveis inferiores a 1%.

Segundo Kader (1986) a concentração de oxigênio na embalagem deve ser de 1% a 3% para evitar a respiração anaeróbica. Conforme Escalona et al. (2006), níveis de O_2 próximos de 2,5% retarda o amadurecimento de frutos por inibir a produção e a ação do etileno. O CO_2 também retarda os efeitos prejudiciais do etileno em frutas e hortaliças frescas, tais como a perda de firmeza e a incidência de desordens fisiológicas (KADER, 1986). No entanto, níveis elevados de CO_2 podem causar efeito de toxicidade em tecidos vegetais, e uma combinação tempo-temperatura específica pode ocasionar amadurecimento irregular ou ausente (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

7.3.2 Taxa respiratória

As Figuras 7.2 e 7.3 apresentam a taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem com diferentes atmosferas a 5°C.

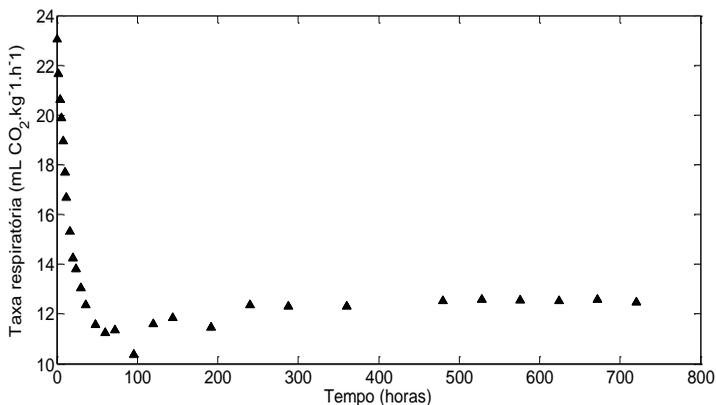


Figura 7.2: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem contendo ar (controle) a 5°C.

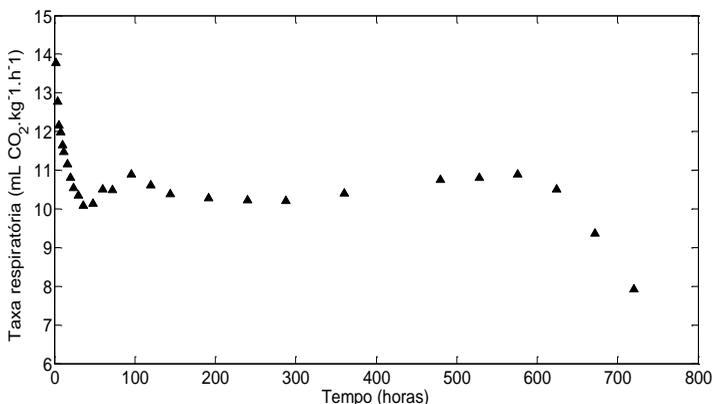


Figura 7.3: Taxa respiratória de physalis armazenada em embalagem com atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C.

As amostras acondicionadas em atmosfera contendo ar apresentaram redução mais intensa da taxa respiratória dos frutos, este resultado mostra que a fruta produziu CO₂ a uma determinada velocidade que foi diminuindo com o decorrer do tempo até que se alcançasse o equilíbrio gasoso (Figura 7.2). Este equilíbrio ocorreu quando a taxa de produção de CO₂ se igualou a velocidade com que o gás permeava para fora da embalagem.

Quanto às amostras acondicionadas em atmosfera modificada contendo 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ observou-se uma redução da taxa respiratória durante as primeiras 50 h de estocagem, seguido de um leve aumento da taxa (Figura 7.3). Este aumento é explicado pelo fluxo de CO₂ através da embalagem, isto ocorreu nos sistemas com atmosfera modificada, pois nestes tratamentos havia CO₂ presente da própria atmosfera utilizada, o que permite que maiores concentrações de CO₂ sejam alcançados mais precocemente.

A condição de estocagem em que o produto mais respira é a condição que propicia que o fruto entre mais rápido na fase de senescência. Desta forma, concluiu-se que como consequência da maior disponibilidade de oxigênio, o tratamento controle permitiu que o produto respirasse mais (Figura 7.2), apresentando taxa respiratória máxima de 23 mL de CO₂.kg⁻¹.h⁻¹. A condição que melhor controlou a respiração da physalis foi a atmosfera modificada de 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂, com taxa respiratória máxima de 14 mL de CO₂.kg⁻¹.h⁻¹. Isto ocorreu porque, como inicialmente havia 10% de CO₂ na embalagem, a presença deste gás inibiu a respiração do fruto. Assim, acredita-se que o

uso desta mistura gasosa na conservação de physalis tenha contribuído para retardar o processo de amadurecimento e senescência da fruta.

Majumder e Mazumdar (2002) avaliaram a produção de CO_2 durante o desenvolvimento e amadurecimento de physalis através do armazenamento das frutas em um recipiente hermético de vidro mantido a 20°C por 24 h, sendo 16 h de iluminação. Amostras de gás foram analisadas em cromatógrafo gasoso e os resultados mostraram uma produção de 10,12 mL de $\text{CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ para a fruta fresca.

O uso de atmosfera modificada diminui a taxa respiratória, reduz a produção e sensibilidade ao etileno e inibe as alterações fisiológicas em produtos frescos (MAHAJAN et al., 2007).

7.3.3 Etileno

A Figura 7.4 apresenta a concentração de etileno para as amostras de physalis armazenadas em diferentes atmosferas. A produção de etileno, nos frutos climatéricos, está relacionada com o início do amadurecimento, pois ele controla o início da mudança na cor, no aroma, na textura, no sabor e em outros atributos de qualidade (AWAD, 1993).

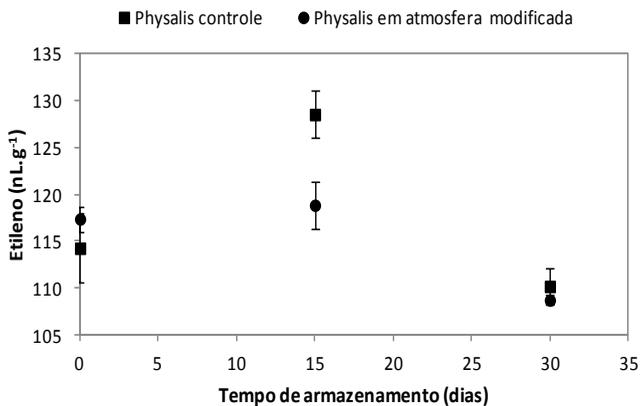


Figura 7.4: Produção de etileno ($\text{nL}\cdot\text{g}^{-1}$) durante o armazenamento de physalis a 5°C por 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO_2 , 5% O_2 , 85% N_2).

As frutas de ambos os tratamentos apresentaram maior produção de etileno no 15º dia de armazenamento a 5°C seguido de uma redução na concentração deste gás até o 30º dia de estocagem. Entretanto, os frutos armazenados em atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂) apresentaram menor produção de etileno, sendo inferior a 120 nL.g⁻¹.

De acordo com Larotonda et al. (2008) durante o período que antecede o climatério, os frutos apresentam baixa produção de etileno; durante a fase do climatério, ocorre um súbito aumento na produção C₂H₄, fenômeno chamado de produção autocatalítica de etileno; após esta etapa, na fase pós-climatério, a produção C₂H₄ diminui consideravelmente. Valdenegro et al. (2012) avaliaram a produção de etileno durante o armazenamento de frutos do gênero *Physalis* e observaram um aumento na concentração de etileno até o final do amadurecimento, os valores de taxa de produção de etileno obtidos pelos autores foram de 203,3 nL.g⁻¹.h⁻¹ no dia inicial, apresentando um pico de produção no 2º dia de estocagem (261,2 nL.g⁻¹.h⁻¹) e 138,4 nL.g⁻¹.h⁻¹ no 6º dia de armazenamento a 20°C. Gutierrez et al. (2008) analisaram a produção de etileno de *physalis* em quatro diferentes graus de maturação e afirmaram que as frutas imaturas (verdes) apresentaram menor taxa de produção de etileno do que os frutos maduros (alaranjados). Os autores observaram que as frutas maduras apresentaram maior produção de etileno entre o primeiro e o segundo dia de armazenamento a 20°C seguido de uma redução na concentração deste gás até o 8º dia de estocagem. Segundo Trincherio et al. (1999), em *physalis*, a síntese de etileno pode ser classificada como extremamente elevada. A *physalis* exibe um padrão de maturação tipicamente climatérico, envolvendo elevada produção de etileno e aumento na taxa respiratória (PATEL et al., 2011). Majumder e Mazumdar (2002) avaliaram a produção de CO₂ e etileno durante o desenvolvimento e amadurecimento de *physalis* e os autores verificaram que após o início da síntese de etileno, ocorre um aumento da taxa respiratória, seguido de um aumento na atividade da poligalacturonase, enzima que desempenha um papel na solubilização de substâncias pécticas levando ao amolecimento da estrutura da fruta.

O efeito do etileno é de considerável interesse na pós-colheita de frutas, porque o acúmulo deste gás é um dos principais fatores endógenos que estimulam a atividade respiratória e, como consequência, pode antecipar o amadurecimento e a senescência de frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

7.3.4 pH e sólidos solúveis totais

Os valores de pH e sólidos solúveis totais (SST) de physalis armazenada em embalagem contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada a 5°C por 30 dias estão apresentadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1: pH e sólidos solúveis totais de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em embalagem com atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias.

Tempo (dias)*	pH		SST (°Brix)	
	Controle	Atmosfera modificada	Controle	Atmosfera modificada
0	3,42 ± 0,01 ^{Da}	3,42 ± 0,01 ^{Ca}	13,17 ± 0,06 ^{Db}	14,00 ± 0,10 ^{ABa}
6	3,60 ± 0,01 ^{Ca}	3,44 ± 0,01 ^{Cb}	13,29 ± 0,01 ^{Cb}	14,03 ± 0,06 ^{ABa}
12	3,63 ± 0,02 ^{Ca}	3,56 ± 0,03 ^{Bb}	13,47 ± 0,06 ^{Bb}	13,80 ± 0,10 ^{BCa}
20	3,78 ± 0,01 ^{Ba}	3,54 ± 0,01 ^{Bb}	13,49 ± 0,01 ^{Ba}	13,67 ± 0,12 ^{Ca}
30	3,84 ± 0,01 ^{Aa}	3,61 ± 0,02 ^{Ab}	13,59 ± 0,01 ^{Ab}	14,03 ± 0,06 ^{ABa}

*Letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos valores de pH das amostras armazenadas em ar (controle) e sob atmosfera modificada (Tabela 7.1). As amostras controle apresentaram valores de 3,42 (dia inicial) e 3,84 (último dia) e as amostras sob atmosfera modificada apresentaram pH de 3,42 (dia inicial) e 3,61 (último dia). As amostras armazenadas em embalagens contendo ar apresentaram maiores valores de pH ao longo do período de armazenamento, indicando a influência da composição da atmosfera no processo de maturação da fruta. Arango et al. (2010) observaram variação de pH de 3,39 para 3,57 em physalis fresca armazenadas a 4°C por 15 dias sob condições atmosféricas em embalagens plásticas de polietileno e poliamida. Os valores de pH estão de acordo com os dados citados por Puente et al. (2011).

O teor de sólidos solúveis totais da amostra controle apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo do período de armazenamento. De acordo com Dutcosky (2007), os testes de sensibilidade gustativa medem a habilidade de perceber, identificar e/ou diferenciar qualitativa e/ou quantitativamente um ou mais estímulos pelos órgãos dos sentidos. O limiar de diferença corresponde à concentração necessária do gosto para produzir uma diferença perceptível entre soluções (MEILGAARD

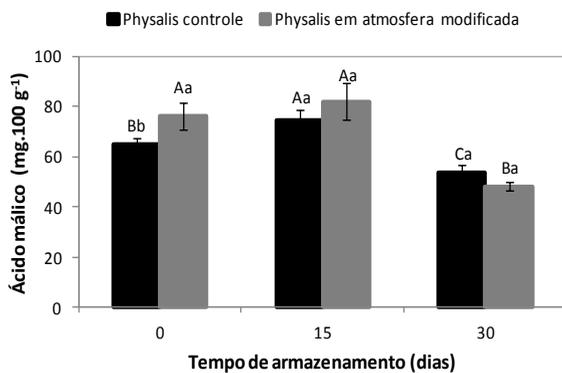
et al., 1999). Considerando que o limiar de diferença para o gosto doce em seres humanos é de 0,17% (RICHTER e CAMPBELL, 1940), no presente estudo, a variação de 0,42°Brix¹ para as amostras controle entre o primeiro e o último dia de estocagem (13,17°Brix - 13,59°Brix) poderia ser percebida pelos órgãos dos sentidos como um aumento do gosto doce da fruta.

De acordo com Lancho et al. (2007), o aumento no conteúdo de sólidos solúveis totais é consequência dos processos de maturação do fruto. No presente trabalho, não foi observado aumento no teor de SST na *physalis* sob atmosfera modificada ao longo dos dias. Apesar do conteúdo de SST não ter alterado para as amostras em atmosfera modificada, acredita-se que possa ter ocorrido mudança de sabor na *physalis*, pois o que modifica é a proporção de sacarose, glicose e frutose na fruta e cada um destes açúcares tem um poder edulcorante diferente. Assim o teor de SST foi o mesmo, visto que este parâmetro indica uma estimativa do teor de açúcares totais e quando ocorre uma interconversão nos carboidratos presentes, o sabor altera, mas o teor de sólidos solúveis totais permanece o mesmo. Segundo Furlong (2000), nas frutas maduras ocorrem maiores quantidades de glicose e frutose do que de sacarose.

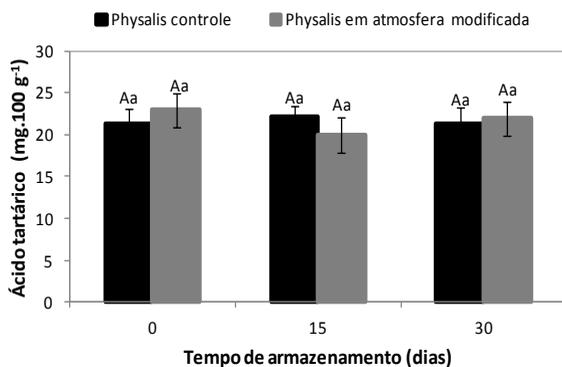
7.3.5 Ácidos orgânicos

A Figura 7.5 apresenta os dados de concentração de ácidos orgânicos para as amostras de *physalis* armazenadas a 5°C durante 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂).

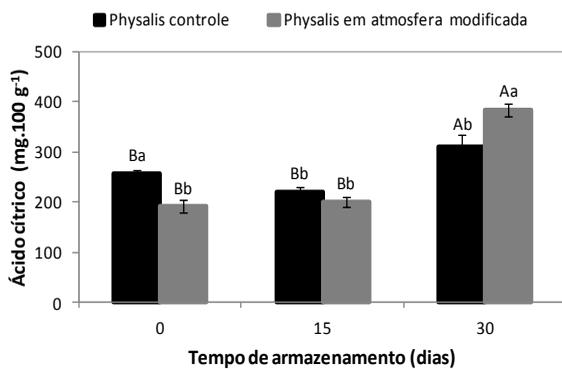
¹ 1°Brix = 1%



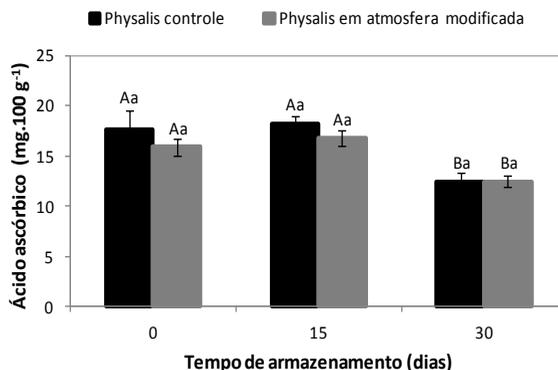
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.5: Teor de ácido málico (a), tartárico (b), cítrico (c) e ascórbico (d) em frutos de *Physalis peruviana* L. armazenadas a 5°C por 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂). *Letras maiúsculas iguais nas colunas de mesma cor e letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

De acordo com a Figura 7.5, o conteúdo de ácido tartárico não sofreu alteração significativa ($p \geq 0,05$) com o tempo, nem mesmo houve diferença ($p \geq 0,05$) entre a amostra controle e a amostra sob atmosfera modificada. O conteúdo de ácido málico e ácido ascórbico reduziram significativamente ($p \leq 0,05$) ao longo do tempo para amostras de physalis armazenadas a 5°C por 30 dias, porém não foram observadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para as amostras quanto à atmosfera aplicada. Conforme Chitarra e Chitarra (2005), após a colheita e durante o armazenamento, ocorre um decréscimo acentuado no teor de ácidos orgânicos na maioria dos frutos, uma vez que são utilizados como substratos no processo respiratório ou pela sua conversão em açúcares.

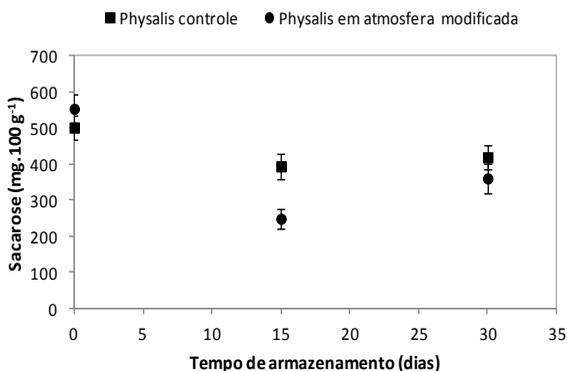
O ácido cítrico se mostrou o ácido orgânico predominante na physalis, seguido dos ácidos málico, tartárico e ascórbico. Observou-se um aumento significativo ($p \leq 0,05$) no teor de ácido cítrico ao final dos 30 dias para as amostras de ambos os tratamentos. Entretanto, as amostras armazenadas em embalagens contendo ar (controle) apresentaram teor de ácido cítrico significativamente menor ($p \leq 0,05$) do que a amostra sob atmosfera modificada. Este resultado explica o maior valor de pH encontrado para as amostras controle, visto que um aumento no valor de pH é indicativo da redução da acidez. O aumento

no conteúdo de ácido cítrico ao final dos 30 dias de armazenamento coincidiu com a diminuição da taxa respiratória neste mesmo período. Supondo que este ácido seja um substrato do processo respiratório, entende-se que o aumento se deu pelo fato de menor quantidade de ácido cítrico ter sido utilizada como substrato na respiração do fruto.

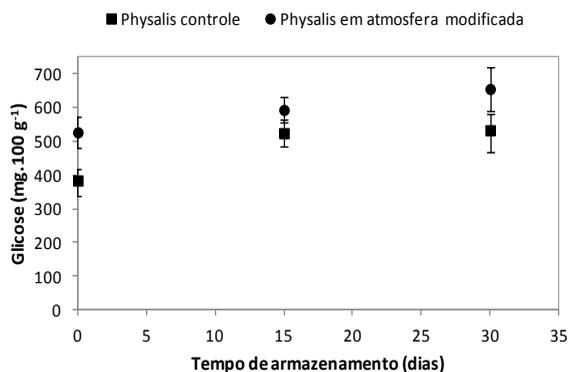
Novoa et al. (2006) avaliaram o conteúdo de ácidos orgânicos de physalis através de cromatografia líquida de alta eficiência e obtiveram concentrações de 0 a 5,03 mg.100g⁻¹ de fruto para ácido ascórbico, 331,67 a 1095,37 mg.100g⁻¹ para ácido cítrico, 25,76 a 81,08 mg.100g⁻¹ para ácido málico e 11,25 a 33,47 mg.100g⁻¹ para ácido tartárico. Valente et al. (2011) encontraram valores de 33,1 mg.100g⁻¹ de ácido ascórbico em physalis e classificaram a fruta como fonte de vitamina C. Valores entre 31,78 a 46,67 mg.100g⁻¹ de ácido ascórbico foram encontrados por Patel et al. (2011) para physalis em diferentes graus de maturação. Vasco et al. (2008) também analisaram o conteúdo de ácido ascórbico em physalis e os valores variaram de 58 a 68 mg.100g⁻¹. O nível de ácido ascórbico determinado na physalis produzida no Chile foi de 32 mg.100g⁻¹ (VALDENEGRO et al., 2012), similar ao valor reportado por Ramadan (2011) (43 mg.100g⁻¹) para fruta produzida na Colômbia.

7.3.6 Açúcares

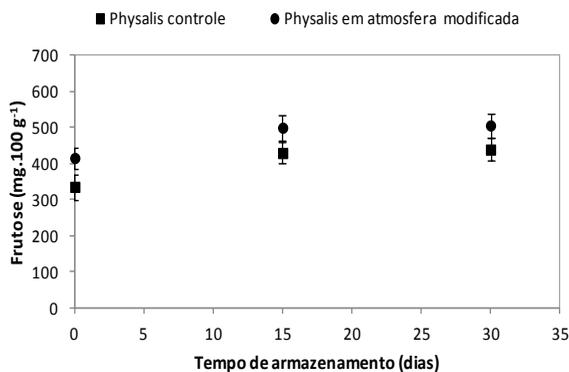
A Figura 7.6 apresenta os dados de concentração de sacarose, glicose e frutose para as amostras de physalis armazenadas a 5°C durante 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂).



(a)



(b)



(c)

Figura 7.6: Teor de sacarose (a), glicose (b) e frutose (c) em frutos de *Physalis peruviana* L. armazenadas a 5°C por 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e em atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂).

Observou-se uma diminuição nos teores de sacarose aos 15 dias de armazenamento, provavelmente se deve à ação da invertase, enzima que atua na hidrólise da sacarose, transformando-a em açúcares de cadeia menor (glicose e frutose). O decréscimo no teor de sacarose foi maior para as frutas em atmosfera modificada e este resultado coincidiu com o aumento da concentração de glicose e frutose nos frutos deste tratamento, no mesmo período. O conteúdo de frutose e glicose aumentou até o 15º dia de armazenamento, após este período o teor destes açúcares apresentou pouca alteração. O mesmo ocorreu no trabalho de Ávila et al. (2006) a partir do 12º dia de armazenamento a

18°C. Com a evolução da maturação, ocorre um aumento da concentração de açúcares simples devido à hidrólise do amido à glicose (ORDÓÑEZ et al., 2005).

No presente estudo, a baixa conversão da sacarose em glicose e frutose após 15 dias, explica o acúmulo de sacarose ao final do período de armazenamento. O conteúdo de sacarose, glicose e frutose das *physalis* submetidas a tratamentos distintos apresentaram valores similares ao final dos 30 dias, o que mostra a homogeneidade dos frutos.

Considerando que foi observada apenas uma interconversão dos açúcares presentes na fruta, este resultado corrobora com o resultado descrito para o teor de SST das amostras em atmosfera modificada. Visto que para este tratamento não foi observado aumento do teor de SST ao final dos 30 dias.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o teor de sólidos solúveis totais não representa o teor exato dos açúcares, pois outras substâncias também se encontram dissolvidas no suco da fruta (vitaminas, fenólicos, pectinas e ácido orgânicos), sendo que, entre essas, os açúcares representam de 85% a 90% dos sólidos solúveis. Desta forma, é compreensível que apesar de não ter sido observado aumento no teor de glicose, frutose e sacarose das amostras controle, tenha ocorrido variação no valor de SST destas amostras ao longo do armazenamento. Além disso, outro aspecto que deve ser considerado é o fato de que variações no conteúdo de umidade da amostra podem concentrar os sólidos solúveis presentes na fruta.

Novoa et al. (2006) avaliaram os açúcares de *physalis* por cromatografia líquida de alta eficiência e obtiveram valores de 602,86 a 1391,13 mg.100g⁻¹ para sacarose, 357,61 a 970,71 mg.100g⁻¹ para glicose e 273,10 a 815,35 mg.100g⁻¹ para frutose, no primeiro dia de armazenamento. Os valores descritos pelo autor estão próximos aos resultados encontrados neste estudo.

Os dados apresentados por Ávila et al. (2006) para o teor de sacarose, glicose e frutose em frutos do gênero *Physalis* foram superiores ao mencionados anteriormente. Estas diferenças podem ocorrer por variações do período de colheita, condições de cultivo (região, solo e clima), variedade da fruta e grau de maturação.

7.3.7 Cor

A Tabela 7.2 apresenta os parâmetros de cor para *physalis* armazenada em embalagens contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias. Através dos

resultados obtidos observou-se uma redução significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de L^* para as amostras controle e sob atmosfera modificada ao longo do período de armazenamento. Isto indica que as frutas tornaram-se mais escuras após 30 dias de estocagem, sendo que não foi observada diferença significativa entre as amostras submetidas às diferentes atmosferas.

Quanto aos demais parâmetros avaliados (a^* , b^* , C , h) para as amostras sob atmosfera modificada não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) em relação ao período de armazenamento. O uso de atmosfera modificada associado à baixa temperatura impediu as alterações de cor da fruta decorrentes do processo de maturação. O etileno atua na degradação das clorofilas que conferem coloração verde aos frutos imaturos. O uso de atmosfera modificada associado a baixas temperaturas reduzem a produção de etileno e conseqüentemente a formação da coloração alaranjada nas *physalis*. A manutenção da coloração da epiderme mais verde nos frutos pode ser explicada pela redução da ação do etileno sobre o processo de degradação de clorofilas (JIANG et al., 1999).

Não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) nos valores do parâmetro a^* para as amostras controle ao longo dos dias de armazenamento. Os valores de b^* apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias, demonstrando que houve aumento da coloração amarela para as amostras controle. O parâmetro C também apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo dos dias para a amostra controle, o que representa um aumento na intensidade da cor das frutas.

Trincheró et al. (1999) correlacionaram as alterações de cor na *physalis* com a redução do teor de clorofila e o acúmulo de carotenoides totais ao longo do período de maturação da fruta.

O parâmetro h não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) para o controle ao longo do período de armazenamento. Assim, as amostras apresentaram tonalidade amarela durante todo o período de estocagem.

Lima et al. (2009) avaliaram a cor da epiderme dos frutos de *physalis* em função da coloração do cálice no momento da colheita, usando colorímetro (CR300, Minolta) e sistema CIELAB. Os autores obtiveram valor de L^* igual a 67, valor de a^* próximo de 8, b^* igual a 38,5 e h de aproximadamente 75° para fase de coloração do cálice amarelo-amarronzado.

Gutierrez et al. (2008), que avaliaram o ângulo *hue* de physalis armazenadas a 20°C por 8 dias utilizando um colorímetro (CR300, Minolta) e sistema CIELAB, mostraram uma redução nos valores de *h* de 95° para 80° com o decorrer do tempo.

Restrepo et al. (2009) avaliaram a cor de physalis frescas em sistema CIELAB e observaram valores de L* igual a 71, a* igual a 15 e b* de 62.

Cabe salientar que as diferenças dos resultados apresentados para análise de cor de physalis pode ser explicada pelo uso de equipamentos e sistemas de determinação de cor distintos.

Tabela 7.2: Parâmetros de cor de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em embalagem com atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias.

Amostra	Cor	Dias de armazenamento				
		0	6	12	20	30
Controle	L	26,25±1,71 ^{Aa}	23,27±0,06 ^{ABa}	21,26±1,04 ^{BCa}	18,67±1,04 ^{CDa}	17,33±1,37 ^{Da}
	a*	12,16±0,66 ^{ABa}	11,58±0,68 ^{Ba}	12,06±0,49 ^{ABb}	12,15±1,08 ^{ABa}	13,78±0,37 ^{Aa}
	b*	22,19±0,92 ^{Cb}	21,53±0,95 ^{Cb}	22,64±1,09 ^{BCb}	24,51±0,39 ^{ABa}	25,80±0,67 ^{Ab}
	C	25,32±0,57 ^{BCb}	24,45±0,98 ^{Cb}	25,66±0,76 ^{BCb}	27,37±0,81 ^{ABa}	29,25±0,72 ^{Ab}
	h	61,24±2,23 ^{Aa}	61,72±1,50 ^{Aa}	61,93±2,06 ^{Aa}	63,66±1,71 ^{Aa}	61,89±0,45 ^{Ab}
Atmosfera modificada	L	25,91±2,27 ^{Aa}	22,34±1,26 ^{ABa}	22,40±0,59 ^{ABa}	19,72±1,45 ^{BCa}	17,75±1,05 ^{Ca}
	a*	13,08±0,64 ^{Aa}	13,34±0,98 ^{Aa}	13,84±0,56 ^{Aa}	13,51±0,51 ^{Aa}	14,27±0,58 ^{Aa}
	b*	26,38±1,91 ^{Aa}	26,52±2,28 ^{Aa}	27,00±1,58 ^{Aa}	27,12±1,89 ^{Aa}	28,18±1,01 ^{Aa}
	C	29,45±1,95 ^{Aa}	29,72±1,86 ^{Aa}	30,36±1,20 ^{Aa}	30,30±1,83 ^{Aa}	31,59±1,13 ^{Aa}
	h	63,61±0,96 ^{Aa}	63,19±3,22 ^{Aa}	62,81±2,21 ^{Aa}	63,48±1,31 ^{Aa}	63,15±0,52 ^{Aa}

*Letras maiúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Letras minúsculas iguais nas colunas (para o mesmo parâmetro) indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

7.3.8 Carotenoides

A Tabela 7.3 apresenta as concentrações de carotenoides totais obtidas em espectrofotômetro a 450nm para as amostras de physalis. O teor de carotenoides totais apresentou um aumento durante os primeiros 15 dias de armazenamento das physalis, tanto para a amostra controle quanto para a amostra sob atmosfera modificada. O aumento no teor de carotenoides totais durante o amadurecimento de physalis também foi relatado por Trincherero et al. (1999), que observaram maiores teores desses compostos nos últimos estádios de amadurecimento, acompanhando a diminuição nos teores de clorofilas totais.

No entanto, após 30 dias de armazenamento houve uma redução destes compostos para ambas as amostras avaliadas neste estudo. Isto pode ocorrer devido à degradação dos pigmentos ao longo do armazenamento, pois estes pigmentos são sensíveis ao oxigênio e a luz. Como as embalagens utilizadas são transparentes, estas permitem a passagem de luz às frutas. Além disso, durante a maturação, ocorre a degradação de alguns carotenoides, resultando na formação de compostos voláteis responsáveis pelo aroma característico da fruta (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Os carotenoides são pigmentos responsáveis por tons de cores variando do amarelo ao laranja e vermelho (RODRÍGUEZ-AMAYA, 1999). Desta forma, correlacionado as alterações de cor na physalis com o teor de carotenoides, observou-se que as amostras com maiores valores para o parâmetro b^* (Tabela 7.2) apresentaram maiores valores de carotenoides totais (Tabela 7.3).

Tabela 7.3: Teores de carotenoides totais de physalis armazenadas a 5°C durante 30 dias em atmosfera contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂).

Tempo de armazenamento (dias)	Carotenoides totais ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno.g}^{-1}$)	
	Controle	Atmosfera modificada
0	104,06 \pm 7,30 ^{Bb}	116,81 \pm 9,79 ^{Ba}
15	123,46 \pm 1,58 ^{Ab}	134,38 \pm 10,70 ^{Aa}
30	86,59 \pm 2,14 ^{Cb}	90,60 \pm 3,63 ^{Ca}

*Letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas iguais nas linhas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Resultados semelhantes foram encontrados por Severo et al. (2010) que obtiveram concentrações de β -caroteno de 81,93 a 115,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ em amostras de physalis em diferentes estádios de maturação.

Trincherro et al. (1999) observaram que o teor de carotenoides totais foi de aproximadamente 25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para frutos imaturos (verdes) e de 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para maduros (alaranjados).

O perfil de carotenoides presente na physalis pode ser visualizado nos cromatogramas apresentado na Figura 7.7, e a identidade e as características dos carotenoides separados estão apresentadas na Tabela 7.4. A identificação dos carotenoides na amostra de fruta foi realizada com tempos de retenção obtidos para os padrões, analisados sob as mesmas condições das amostras.

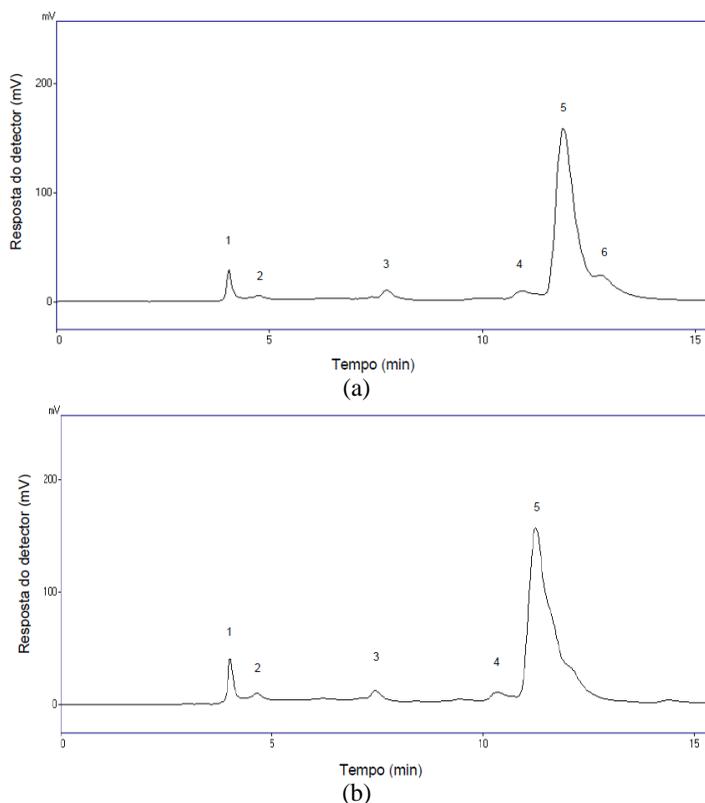


Figura 7.7: Cromatograma dos carotenoides presentes na physalis obtido por cromatografia líquida de alta eficiência: (a) detecção de seis picos; (b) detecção de cinco picos.

Analisando a Tabela 7.4, observou-se que foram identificados em *physalis* os seguintes carotenoides: luteína, zeaxantina, α -caroteno, β -*trans*-caroteno e β -*cis*-caroteno. Sendo que destes, o carotenoide presente em maior quantidade na *physalis* foi β -*trans*-caroteno representando em torno de 72% dos carotenoides totais presentes na fruta.

De Rosso e Mercadante (2007) detectaram a presença de luteína, zeaxantina, α -caroteno e β -caroteno em *physalis* além de outros compostos, sendo que o β -*trans*-caroteno foi o carotenoide majoritário presente na *physalis*, representando 77% dos carotenoides totais do fruto.

Tabela 7.4: Identificação dos carotenoides da *physalis* por cromatografia líquida de alta eficiência e porcentagem dos carotenoides presentes.

Pico	Carotenoides	t _R (min)	Controle (%)			Atmosfera modificada (%)		
			0	15	30	0	15	30
1	Luteína	3,9	5,5±0,44	7,16±0,03	8,72±0,47	5,35±0,05	6,48±0,5	8,08±0,12
2	Zeaxantina	4,7	1,77±0,16	3,75±0,35	2,21±0,21	1,66±0,05	2,82±0,22	2,35±0,19
3	<i>não identificado</i>	7,5	<i>n.q.</i>	<i>n.q.</i>	<i>n.q.</i>	<i>n.q.</i>	<i>n.q.</i>	<i>n.q.</i>
4	α-caroteno	10,5	4,92±0,16	4,07±0,39	4,51±0,03	5,28±0,18	6,55±0,21	4,68±0,05
5	β- <i>trans</i> -caroteno	11,4	73,91±1,36	82,69±1,54	81,61±1,54	71,94±0,73	70,52±0,72	70,1±0,87
6	β- <i>cis</i> -caroteno*	12,4	12,3 ±0,11	-	-	12,72±0,25	11,48±0,23	12,96±0,13

* β-*trans*-caroteno e β-*cis*-caroteno saíram juntos no mesmo pico nos cromatogramas; *n.q.*: não quantificado; t_R: tempo de retenção.

7.3.9 Perda de massa fresca

A Figura 7.8 apresenta os valores de perda de massa fresca para *physalis* armazenada em ar (controle) e sob atmosfera modificada de 5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂ a 5°C por 30 dias. As amostras controle e em embalagem com atmosfera modificada apresentaram perda de massa de 0,42% e 0,44%, respectivamente, após 30 dias de armazenamento a 5°C.

Esta perda de massa, associada diretamente à perda de água é prejudicial nos casos em que é suficientemente alta para afetar a aparência e a aceitabilidade do produto. Os produtos perecíveis, mesmo quando colocados em condições ideais, sofrem alguma perda de peso durante o armazenamento devido ao efeito combinado da respiração e da transpiração (SONG *et al.*, 2002). Perdas de umidade de 3 a 5% tornam, muitas vezes o produto impróprio para a comercialização (KANG e LEE, 1998), devido à diminuição da pressão de turgor que prejudica a estrutura e consistência da fruta (VELÁSQUEZ e SARAZ, 2008).

Resultados semelhantes aos encontrados neste estudo foram descritos por Lancho et al. (2007), que avaliaram três tipos de embalagens e diferentes misturas gasosas para *physalis* armazenadas a 7°C por 30 dias. Os autores encontraram perdas de massa de 0,74% para *physalis* armazenada em embalagem de poliolefina, 0,32% para embalagem multicamada de polietileno e polipropileno biorientado e 0,37% para embalagem de polietileno e polietileno tereftalato. Quanto às diferentes misturas gasosas testadas (5% CO₂/5% O₂; 5% CO₂/10% O₂; mistura comercial e ar sintético), os autores não observaram diferença na perda de massa das amostras.

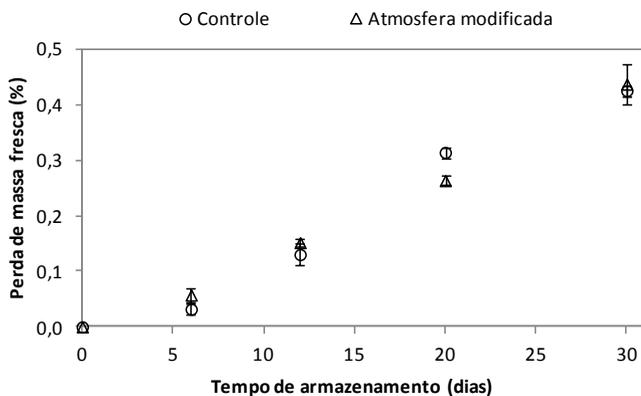


Figura 7.8: Perda de massa fresca de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias.

7.3.10 Textura

A avaliação das características de textura de physalis pode auxiliar no desenvolvimento de técnicas de conservação apropriadas para esta fruta. A firmeza serve como parâmetro para determinar a maturação de uma fruta, permitindo estabelecer os níveis ideais de consumo e transporte dos produtos e, além disso, é um bom indicador da vida útil e grau de amolecimento de frutas frescas (VELASQUEZ et al., 2007). A Figura 7.9 apresenta a força de perfuração de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias.

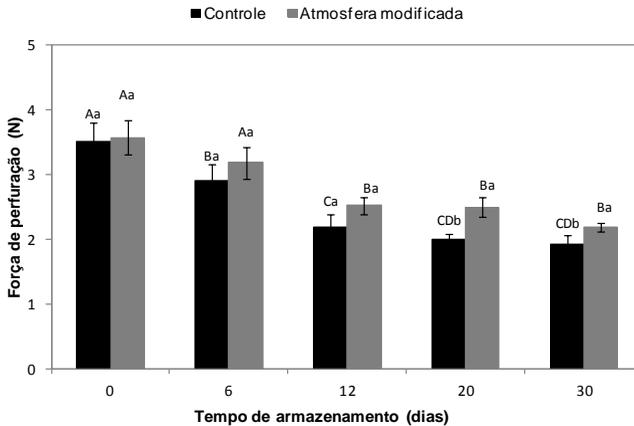


Figura 7.9: Força de perfuração de physalis armazenada em embalagens contendo ar (controle) e em embalagem com atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias.

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de mesma cor e letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$);

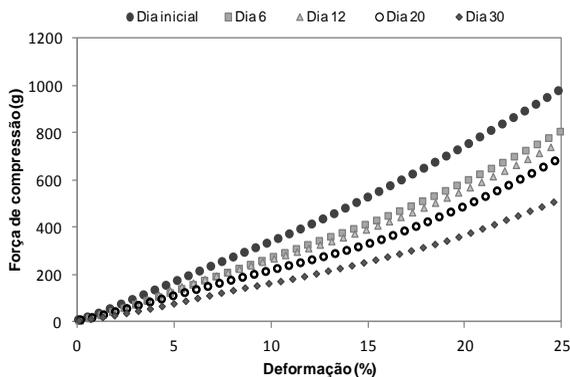
Houve redução significativa ($p \leq 0,05$), ao longo do período de armazenamento, nos valores de força de perfuração para as amostras controle e sob atmosfera modificada (Figura 7.9). As amostras controle apresentaram maior redução nos valores de força de perfuração, indicando que as frutas controle apresentaram maiores alterações na estrutura da pele, mostrando-se mais susceptíveis a danos mecânicos do que a physalis armazenada sob atmosfera modificada.

De acordo com Lancho et al. (2007), a firmeza de uma fruta diminui à medida que avançam os processos de maturação como consequência da dissolução das pectinas da parede celular no suco da fruta. Os autores observaram que a firmeza apresentou tendência a diminuir em todos os tratamentos, sendo mais evidente nos frutos armazenados sem embalagem. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), as pectinas contribuem para a resistência mecânica da parede celular e para adesão entre as células, e qualquer modificação nas suas características resulta em alterações na textura dos frutos.

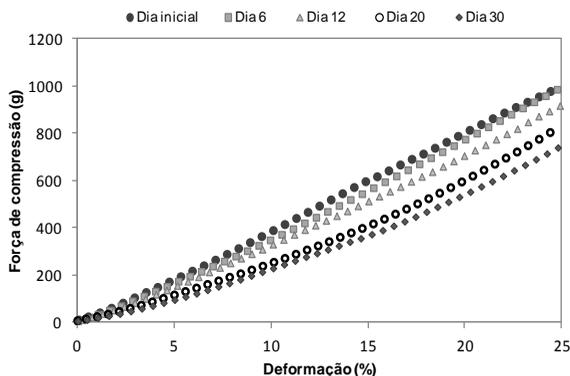
Resultados apresentados por Trincherro et al. (1999) mostraram dados de firmeza de 3,42 N para a physalis colhida com grau de maturação amarelo-alaranjado. Gutierrez et al. (2008) estudaram as alterações na firmeza de physalis em diferentes graus de maturação

armazenadas a 20°C por 8 dias e observaram uma redução da firmeza de 4,0 N para 3,1 N na fruta controle ao longo dos dias. Velásquez e Saraz (2008) avaliaram a firmeza máxima do pericarpo de frutos do gênero *Physalis* e obtiveram valores entre 5,4 e 1,7 N para os frutos verdes e maduros, respectivamente.

A Figura 7.10 apresenta a força de compressão de *physalis* armazenada em embalagens contendo ar (controle) e sob atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) a 5°C por 30 dias.



(a)



(b)

Figura 7.10: Força de compressão de *physalis* armazenada a 5°C por 30 dias: (a) controle; (b) embalagem com atmosfera modificada (5% O₂, 10% CO₂ e 85% N₂).

Observou-se que ocorreu redução nos valores de força de compressão ao longo do período de armazenamento para as amostras controle e para as amostras armazenadas sob atmosfera modificada (Figura 7.10). As amostras controle apresentaram redução na força de compressão de 1006,8 g para 527,8 g (redução de 47,6%), enquanto as amostras armazenadas sob atmosfera modificada apresentaram alteração de 999,4 g para 765,2 g (redução de 23,4%) ao longo do período de armazenamento. Este resultado mostra que o uso de atmosfera modificada reduziu a respiração dos frutos e conseqüentemente os processos metabólicos que alteram a textura da physalis. Segundo Puente et al. (2011), a força máxima diminui durante o período pós-colheita devido ao processo de maturação e amolecimento do fruto.

De forma geral, a textura das frutas é ditada pela maciez e pela firmeza da polpa e a perda progressiva da firmeza ou seu amaciamento ocorre como consequência do amadurecimento, envolvendo diferentes mecanismos, tais como perda do turgor celular, redução no tamanho e distribuição dos polímeros das paredes celulares, ação de enzimas hidrolíticas e outros mecanismos não enzimáticos (GAVA, 1984).

7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que o uso de atmosfera modificada associada ao armazenamento a baixa temperatura é uma técnica promissora para conservação de physalis. De maneira geral, houve diferenças significativas quanto ao uso de diferentes misturas de gases para a conservação das características físicas ou químicas dos frutos armazenados sob condições de refrigeração. As amostras armazenadas em atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂, 85% N₂) apresentaram melhores características de qualidade ao final do período de estocagem, tais como, menores taxa respiratória e síntese de etileno que resultaram em mínimas alterações nos parâmetros de cor, menor perda de firmeza e menores alterações nos valores de pH e sólidos solúveis totais das frutas nesta condição.

CAPÍTULO 8:
ELABORAÇÃO DE COBERTURAS A BASE DE HPMC E
AVALIAÇÃO DO EFEITO DA COBERTURA
COMESTÍVEL EM PHYSALIS (*Physalis peruviana L.*)

8.1 INTRODUÇÃO

A velocidade de deterioração de frutas frescas é geralmente proporcional à velocidade com que ocorre a respiração do produto, além disso, frutas e vegetais perdem água devido à transpiração, o que provoca grandes perdas de massa por desidratação (PÉREZ-GAGO et al., 2008). Para assegurar a estabilidade, qualidade nutricional e sensorial de frutas e vegetais é necessário controlar os fatores que podem influenciar direta ou indiretamente sobre a qualidade desses produtos (ROJAS-GRAÜ, 2006).

O uso de coberturas comestíveis pode melhorar a qualidade dos alimentos, a estabilidade e as propriedades mecânicas, fornecendo uma barreira semipermeável ao vapor de água, oxigênio e dióxido de carbono entre o alimento e a atmosfera circundante (GREENER e FENNEMA, 1994). Frutas e hortaliças frescas requerem coberturas que possam diminuir a perda de água (BALDWIN et al., 1995) e que permitam a transferência moderada de gases para reduzir (mas não inibir) a respiração, evitando processos fermentativos resultantes de anaerobiose (DEBEAUFORT e VOILLEY, 1994). As coberturas comestíveis em frutas devem ser transparentes, terem aderência para não serem facilmente removidas no manuseio e não modificarem as características sensoriais (ASSIS e LEONI, 2003).

As coberturas podem ser obtidas de diferentes tipos de materiais, sendo mais utilizados os polissacarídeos, as proteínas e os lipídios. Entre os polissacarídeos derivados de celulose usados na produção de coberturas, o hidroxipropil metilcelulose (HPMC) apresenta boas propriedades de formação de filmes e boa barreira aos gases, porém, sendo hidrofílicos, não proporcionam boa barreira à umidade (KESTER e FENNEMA, 1986). Os lipídios, devido sua natureza hidrofóbica, são usados em coberturas comestíveis para proporcionar barreira à umidade. Além disso, são utilizados para conferir brilho a superfícies de alguns alimentos (GREENER e FENNEMA, 1994). No entanto, os lipídios se caracterizam por formar filmes com propriedades mecânicas muito inferiores aos filmes obtidos de outros materiais (RHIM e SHELLHAMMER, 2005). Devido às vantagens e limitações de cada categoria de componentes dos filmes e coberturas, alguns trabalhos têm envolvido o uso de combinações desses materiais para melhorar as propriedades das coberturas (CHEN e NUSSINOVITCH, 2001).

Além destes, outros compostos, tais como plastificantes e emulsificantes podem ser adicionados aos filmes e coberturas

comestíveis para melhorar as suas propriedades mecânicas e para formar emulsões estáveis quando são utilizados lipídios e polissacarídeos na mesma formulação (BALDWIN, 1999). Os plastificantes atuam promovendo um enfraquecimento das forças intermoleculares entre as cadeias do polímero, permitindo que estas aumentem sua mobilidade. Os plastificantes mais utilizados para a elaboração de filmes são os polióis (glicerol e sorbitol) (TANG et al., 2008). Apesar dos plastificantes tornarem os filmes menos quebradiços, sua adição modifica as propriedades mecânicas e aumenta a permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio (MALI et al., 2004). Os emulsificantes são agentes tensoativos de natureza anfifílica, que interagem na interface água-lipídio e reduzem a tensão superficial entre as fases dispersa e contínua para melhorar a estabilidade da emulsão (HAN e GENNADIOS, 2005). Eles também são usados para assegurar uma boa molhabilidade da superfície, espalhamento e aderência da cobertura à superfície do produto. Os emulsificantes mais comuns usados em filmes e coberturas são os ácidos graxos, lecitina, ésteres de sacarose e polissorbatos (Tween).

Vários trabalhos na literatura mostram que as coberturas comestíveis à base de hidroxipropil metilcelulose (HPMC) e lipídios, como cera de abelha ou cera de carnaúba preservaram a qualidade pós-colheita de frutos, reduzindo a perda de massa e mantendo a firmeza e qualidade sensorial dos produtos revestidos (PEREZ-GAGO et al., 2002; PEREZ-GAGO et al., 2003; PEREZ-GAGO et al., 2005; NAVARRO-TARAZAGA et al., 2007; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2009; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação de cobertura comestível em frutos do gênero *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) para preservar as características de qualidade da fruta durante o armazenamento, bem como avaliar as propriedades mecânicas e de barreira do filme aplicado à fruta.

8.2 MATERIAL E MÉTODOS

8.2.1 Formulações das coberturas comestíveis

As soluções filmogênicas foram preparadas através da combinação de uma fase hidrofílica (HPMC) com uma fase hidrofóbica (cera de abelha e de ácido oleico) suspensas em água. Glicerol e polissorbato 80 (Tween) foram utilizados como plastificante e emulsificante, respectivamente. Uma solução de 5% de HPMC (p/p) foi

preparada dispersando-se o pó em uma pequena quantidade de água a 90°C (1/3 do total de água adicionada). Posteriormente, o restante da água, a temperatura ambiente, foi adicionada na mistura. A hidratação do HPMC foi completada por resfriamento até 30°C e agitação por 30 min. Proporção de HPMC-glicerol (3:1) (base seca) e os componentes lipídicos (cera de abelha-ácido oleico) (5:1) foram mantidos constantes ao longo do estudo. A cera de abelha foi adicionada à mistura HPMC-ácido oleico polissorbato-glicerol. Após, adicionou-se água em diferentes quantidades, conforme concentrações descritas na Tabela 8.1. As emulsões foram aquecidas a 90°C para fundir os lipídios e foram homogeneizadas em agitador (Ultra-Turrax T25, IKA-Werke) durante 1 min a 12000 rpm e 3 min a 22000 rpm. As soluções filmogênicas foram resfriadas a 20°C e agitadas durante 45 min (PEREZ-GAGO et al., 2005). Tween 80 foi adicionado à solução em diferentes concentrações, entre 0 a 1%.

Tabela 8.1: Formulações das coberturas comestíveis compostas de HPMC e lipídios.

Reagentes (%)*	Formulações				
	C0	C025	C05	C075	C1
HPMC	3,84	3,83	3,82	3,81	3,80
H ₂ O	92,00	91,77	91,54	91,31	91,07
Glicerol	1,28	1,28	1,27	1,27	1,27
Ácido oleico	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Cera de abelha	2,40	2,39	2,39	2,38	2,38
Tween 80	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00

* % em base úmida.

8.2.2 Caracterização da solução filmogênica

A tensão superficial das soluções filmogênicas foi medida em tensiômetro (Sigma 700, KSV) utilizando um anel de platina (anel de Du Nouy) e os resultados expressos em mN.m⁻¹. A viscosidade da emulsão foi determinada com um viscosímetro (ViscoTester, Thermo Haake) utilizando spindle L1 e os resultados foram expressos em mPa.s. Três medidas foram realizadas em cada uma das soluções filmogênicas à temperatura de 25°C para ambos os testes.

8.2.3 Análises das coberturas comestíveis

Alíquotas de 9 mL da solução filmogênica foram distribuídas em placas de petri (poliestireno) de 10 cm de diâmetro e secas a 30°C por 24 horas em estufa (TE-394/2, Tecnal) para a caracterização das coberturas.

8.2.3.1 Permeabilidade ao vapor de água

Foi determinado o ganho de massa por cada célula de difusão por pesagens sucessivas em balança analítica (AY 220, Shimadzu) em intervalos de 1h durante 12h e após 24h. A permeabilidade ao vapor de água das amostras foi determinada em triplicata pelo método gravimétrico da ASTM E96-00 descrito por Sarantópoulos et al. (2002) utilizando a Equação 8.1.

$$K^W = \frac{W \times L}{A \times p_s (a_{w_1} - a_{w_2})} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

Onde: W corresponde a taxa de ganho de massa (água) pela célula de difusão (g.h^{-1}), L é a espessura (m), A é a área (m^2), p_s é a pressão de saturação do vapor de água (Pa) e a_{w_1} , a_{w_2} , são as atividades de água nas condições externa e interna da célula, respectivamente.

8.2.3.2 Transparência dos filmes

A transparência dos filmes foi realizada em triplicata e medida em espectrofotômetro (800 XI, FEMTO), no comprimento de onda de 500 nm (região visível). De acordo com método proposto por Tang et al. (2005), tiras dos filmes foram cortadas de forma retangular (0,7 x 1,5 cm) e colocadas em uma cubeta de quartzo. A transparência relativa foi medida pela porcentagem de transmitância a 500 nm, enquanto a cubeta de quartzo vazia foi usada como controle.

8.2.3.3 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada com micrômetro digital (MDC-25P, Mitutoyo, $\pm 0,001$) em dez pontos diferentes de cada corpo de prova com área de 40 cm^2 .

8.2.3.4 Umidade

A determinação do conteúdo de umidade foi realizada de acordo com o método gravimétrico conforme AOAC (2002). Cinco gramas de amostra foram pesadas em cápsulas de alumínio e colocadas em estufa (COC2 LW1000, Expectron) a 105°C por 24 horas. Os resultados foram expressos em porcentagem.

8.2.3.5 Calorimetria exploratória diferencial

Os termogramas dos filmes foram obtidos por calorimetria exploratória diferencial através de um equipamento DSC (Jade DSC, PerkinElmer). Aproximadamente 6 mg de amostra foram colocadas em cadinhos de alumínio, sob atmosfera de nitrogênio a uma vazão de 50 mL/min, com uma velocidade de aquecimento de 10°C/minuto, no intervalo de 0°C a 180°C. A fim de se eliminar a história térmica das amostras, estas foram analisadas em uma segunda varredura de 0°C a 200°C (10°C/minuto). Foi obtido o calor de fusão e as temperaturas de fusão e de cristalização do filme.

Os percentuais de cristalinidade (X_c) dos filmes à base de HPMC e lipídios foram calculados relacionando-se as entalpias por unidade de massa da amostra e de um padrão de polietileno 100% cristalino conforme a Equação 8.2.

$$X_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^\circ} \times 100 \quad (\text{Eq. 8.2})$$

Onde: X_c é o grau de cristalinidade em porcentagem, ΔH_f é o calor de fusão do filme obtido por DSC, e ΔH_f° é o calor de fusão do padrão de polietileno de alta densidade (PEAD) 100% cristalino, cujo valor é igual a 293 J/g (QUENTAL et al., 2005).

8.2.3.6 Microscopia eletrônica de varredura

As micrografias foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura (JSM-6390LV, JEOL) com sensor de elétrons secundários retroespalhados. Foram avaliadas as superfícies e a seção transversal (criogenicamente fraturadas por imersão em nitrogênio líquido) dos filmes. As amostras foram fraturadas em nitrogênio líquido, com o objetivo de evitar a mobilidade das cadeias poliméricas, o que poderia distorcer as estruturas da superfície de fratura. Antes das análises, as

amostras foram fixadas em um suporte metálico e recobertas com uma fina camada de ouro, utilizando o metalizador (SCD 0005, Baltec) e um feixe de elétrons de 15 kV. As análises foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (UFSC).

8.2.3.7 Determinação do ângulo de contato, adesão, molhabilidade

O método utilizado para medir o ângulo de contato das coberturas com os líquidos padrões (água deionizada e diiodometano) foi o da gota séssil, onde, com uma seringa, uma gota do líquido padrão foi aplicada sobre a superfície a ser caracterizada. O ângulo estático que esta gota realiza com a superfície, pela inclinação da tangente, é calculado. Pela média dos ângulos esquerdo e direito é obtido o valor do ângulo de contato. O equipamento utilizado para tal experimento é denominado Goniômetro (OCA-20, Dataphysics) (Figura 8.1). Com uma câmera filmadora de alta resolução e alta capacidade de filmagem (até 25 vezes por segundo), o equipamento capta pequenos volumes de gota e, através de um software instalado a um computador, realizaram-se os cálculos pertinentes ao experimento. A temperatura dos ensaios foi de 23°C e o volume dos líquidos depositados foi de 5 µL, 4 µL e 0,8 µL para água deionizada, formamida e diiodometano, respectivamente. O tempo para medir o ângulo foi de 30 segundos após a gota ser depositada (ROTTA, 2008). O diiodometano é um líquido totalmente apolar, com o emprego deste líquido, obtém-se diretamente o valor da componente dispersiva (apolar). A água deionizada é um líquido polar e sempre está presente nos cálculos de ângulo de contato e a formamida é um líquido com baixa polaridade.

Os componentes da energia livre superficial em função do ângulo de contato, para o modelo de Owens e Wendt (1969) está apresentado na Equação 8.3.

$$\gamma_L(1+\cos\theta) = 2(\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} + \sqrt{\gamma_S^p \gamma_L^p}) \quad (\text{Eq. 8.3})$$

O Quadro 1 apresenta as componentes da energia livre superficial para os líquidos padrões.

Quadro 1: Componentes da energia livre superficial para os líquidos padrões.

Líquido padrão	γ^{total} (mN/m)	$\gamma^{\text{d/L}}$ (mN/m)	$\gamma^{\text{p/L}}$ (mN/m)
Água	72,8	21,8	51
Formamida	58	39	19
Diiodometano	50,8	50,8	0

Fonte: FAN e LEE (2008)

Os sistemas matemáticos empregados nos cálculos das componentes da energia livre superficial para o modelo de Owens e Wendt (1969) utilizando os líquidos padrões (A: água e D: diiodometano) estão apresentados nas Equações 8.4 e 8.5.

$$\gamma_A (1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{\gamma_S^d \gamma_A^d} + \sqrt{\gamma_S^p \gamma_A^p}) \quad (\text{Eq. 8.4})$$

$$\gamma_D (1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{\gamma_S^d \gamma_D^d} + \sqrt{\gamma_S^p \gamma_D^p}) \quad (\text{Eq. 8.5})$$

O trabalho de adesão (W) entre líquido e sólido para o modelo de Owens e Wendt (1969) está apresentado na Equação 8.6.

$$W_{SL} = 2(\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} + \sqrt{\gamma_S^p \gamma_L^p}) \quad (\text{Eq. 8.6})$$

A molhabilidade pode ser determinada pelo parâmetro espalhamento (S) que mensura a diferença entre o trabalho de adesão entre o líquido e o sólido e a energia de coesão do líquido (Equação 8.7).

$$S = \gamma_{L/A} (\cos \theta - 1) \quad (\text{Eq. 8.7})$$

Para determinar a energia livre na superfície da physalis foi utilizado o mesmo método descrito para os filmes (gota séssil). Através de uma seringa, uma gota do líquido padrão foi aplicada sobre a superfície da fruta e o ângulo de contato entre a superfície e o líquido foi medido.

As análises foram realizadas no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica (UFSC).



Figura 8.1: Goniômetro (OCA-20, Dataphysics) para determinação do ângulo de contato.

8.2.4 Aplicação das coberturas comestíveis e armazenamento das frutas

As frutas descascadas foram selecionadas pelo tamanho, integridade física e grau de maturação 4 e 5 (ICONTEC, 1999). Posteriormente, foram lavadas em água corrente e imersas em água ozonizada a $0,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$ por 1 min e o excesso de água foi retirado por centrifugação manual. As coberturas comestíveis foram aplicadas por imersão das frutas na solução filmogênica durante 30 segundos e foram mantidas sob temperatura ambiente para secagem da película formada sobre a superfície do produto (ROJAS-ARGUDO et al., 2009). As frutas do tratamento controle (sem cobertura) foram imersas em água destilada e secas a temperatura ambiente.

Para acelerar o processo de maturação e avaliar as alterações decorrentes do amadurecimento da fruta, as physalis com cobertura e controle foram estocadas por 15 dias a 5°C mais 5 dias a 20°C e por 20 dias a 5°C mais 3 dias a 20°C . As análises físico-químicas foram realizadas ao final de cada período de armazenamento e entre as mudanças de temperatura.

8.2.5 Caracterização das physalis com coberturas comestíveis

8.2.5.1 pH e sólidos solúveis totais

A determinação do pH foi realizada de acordo com AOAC (2002). O suco dos produtos foi obtido por compressão da polpa da fruta até a obtenção de 30 mL de suco e o pH foi determinado utilizando-se um pHmetro digital (Q400MT, Quimis). O teor de sólidos solúveis

totais das amostras foi determinado no suco dos produtos utilizando-se um refratômetro digital (AR 200, Reichert Analytical Instruments), que fornece medidas diretas em °Brix, com resolução de 0,1°Brix.

8.2.5.2 Cor

A cor das amostras foi determinada na região lateral da fruta. As medidas foram realizadas meio da utilização de um colorímetro (Miniscan EZ, Hunterlab) operando no sistema CIELAB (L^* , a^* , b^* , C , h), utilizando sistema de iluminação D65 e ângulo de observação de 10°. Sendo que, o índice “ L^* ” mede a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco); “ a^* ” mede da cor verde (negativo) à cor vermelha (positivo); e “ b^* ” mede da cor azul (negativo) à cor amarela (positivo). O “ C ” ou croma, fornece uma medida da intensidade ou saturação da cor e o “ h ” corresponde à tonalidade à cor vermelha (0°), à cor amarela (90°), à cor verde (180°) e à cor azul (360°) (KONICA MINOLTA, 1998).

8.2.5.3 Perda de massa fresca

Lotes de 30 frutas por tratamento foram usados para medir a perda de peso, sendo que as mesmas frutas, devidamente identificadas, foram pesadas do início ao final de cada período de estocagem. A perda de massa fresca (PMF) foi determinada por gravimetria com auxílio de balança analítica (AY 220, Shimadzu) com precisão de 0,0001 g. As perdas ao longo do período de armazenamento foram calculadas pela Equação 8.8, conforme Pereira et al. (2005).

$$\% \text{ PMF} = 1 - \frac{M_n}{M_o} \times 100 \quad (\text{Eq. 8.8})$$

Onde: PMF é a perda de massa fresca (%); M_o é a massa das amostras no tempo inicial de armazenamento e M_n a massa para os dias posteriores de análise.

8.2.5.4 Textura

A avaliação instrumental da textura foi realizada por meio de um analisador de textura digital (TAXT2i, Stable Micro System), com célula de carga de 50 kg. Para realização do ensaio de perfuração foi utilizado uma sonda de 2 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste

e pós-teste foram de 3,3 mm/s, 3 mm/s e 5 mm/s, respectivamente. A profundidade de perfuração foi de 5,0 mm e o tempo de amostragem de 30 s. O ensaio de perfuração foi realizado na região equatorial do fruto. O ensaio de compressão foi realizado utilizando-se uma sonda cilíndrica de alumínio com 45 mm de diâmetro, velocidade de teste, pré-teste e pós-teste foram de 1 mm/s, 2 mm/s e 5 mm/s, respectivamente, a deformação utilizada foi de 30% do produto. O ensaio de compressão foi realizado no sentido do eixo do fruto, após a remoção do pedúnculo. A deformação (%) foi calculada pela razão entre a deformação absoluta (mm) e o comprimento inicial da amostra (mm), conforme mostrado na Equação 8.9.

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 8.9})$$

Onde: ΔH é a variação absoluta da dimensão do corpo devido à aplicação da força (mm); H_0 é a dimensão inicial do corpo (mm).

8.2.5.5 Determinação de O_2 e CO_2

Amostras de physalis com e sem cobertura comestível foram colocadas em frascos de vidro hermeticamente fechados e acondicionadas a 25°C por 2h. Através de um septo de silicone/PTFE acoplado ao aparato, uma alíquota de 1 mL do gás do *headspace* foi retirada e injetada no analisador de gases (PBI Dansensor, CheckMate II) para determinação da concentração de O_2 e CO_2 . Foram avaliados três frascos por tratamento e a leitura da concentração de gases foi realizada em triplicada para cada frasco.

8.2.5.6 Análises microbiológicas

Para a determinação das condições sanitárias das physalis com e sem cobertura comestível após o período de armazenamento foram realizadas as seguintes análises: coliformes totais, contagem de psicotróficos, bolores e leveduras. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia e Parasitologia (MIP) do Departamento de Microbiologia do Centro de Ciências Biológicas (UFSC), conforme metodologia descrita no Compêndio de Métodos para Análises Microbiológicas de Alimentos (APHA, 1992).

8.2.6 Análise estatística

Os resultados foram avaliados mediante a análise de variância (ANOVA) com o software Statistica 6.0 (Stafsoft Inc., EUA), e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.3.1 Avaliação das soluções filmogênicas e análise da superfície do fruto

Nesta etapa do trabalho, foram realizados vários testes com diferentes tipos de coberturas comestíveis, devido às dificuldades encontradas para definir uma formulação de cobertura que aderisse à superfície da fruta. Foram testadas diversas formulações, incluindo coberturas de carragena, alginato (MORAES et al., 2012), amidos (FAKHOURI et al., 2007), carboximetilcelulose (GHANBARZADEH et al., 2010) e por fim as coberturas com HPMC (PEREZ-GAGO et al., 2005). A HPMC foi a única cobertura, dentre as testadas, que apresentou melhores características de adesão à superfície do fruto, considerando que as demais coberturas avaliadas escoavam totalmente e não havia formação de uma película sobre a physalis. Porém esta cobertura de HPMC formada sobre a fruta não se mostrava uniforme e contínua, visto que eram percebidas algumas falhas na estrutura formada. De acordo com Krochta e Mulder-Johnston (1997) as formulações de coberturas comestíveis devem molhar e espalhar-se de maneira uniforme na superfície do fruto, sendo que após a secagem, as coberturas devem apresentar boa adesão, coesão e durabilidade adequada.

Para estudar a eficiência do uso de cobertura comestível no retardamento do amadurecimento de physalis foi necessário definir uma formulação de cobertura que se adequasse às características do fruto, que tivesse flexibilidade e habilidade para se adaptar à superfície da physalis. Sendo assim, a superfície do fruto foi caracterizada através da medida da energia livre superficial e microscopia eletrônica de varredura.

A Tabela 8.2 apresenta os valores do ângulo de contato e as imagens das gotas de três líquidos padrões (água, formamida e diiodomentano) sobre a superfície da physalis com cera natural que

envolve o fruto e sem a cera natural (após higienização). O objetivo de analisar os frutos com e sem a cera natural, foi averiguar se a presença de cera na fruta poderia afetar a molhabilidade ou espalhamento das coberturas sobre a superfície do produto. Em princípio, acreditava-se que mesmo após a higienização da physalis, algum resquício desta cera natural estivesse dificultando a adesão da cobertura na fruta. No entanto, após a análise do ângulo de contato, observou-se exatamente o contrário. A presença da cera natural na fruta diminuiu o ângulo de contato ($p \leq 0,05$) entre os líquidos padrões e a superfície da physalis quando comparados aos frutos higienizados (sem a cera natural).

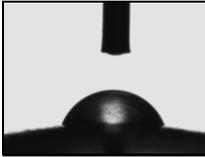
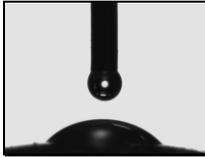
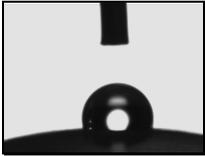
O ângulo de contato é determinado pela competição entre duas forças, sendo que as forças coesivas do líquido tendem a formar uma gota esférica, já as forças adesivas entre o sólido e o líquido tendem a espalhar o líquido sobre o sólido (BERG, 1993). Então, quanto maior for o ângulo de contato, menor é a molhabilidade do líquido sobre aquele sólido.

A molhabilidade está associada à interação de um líquido com uma superfície sólida. Tal interação pode levar ao espalhamento do líquido sobre a superfície ou o seu escoamento sobre essa superfície sob a forma de gotas (JOHNSON e DETTRE, 1993).

Sendo assim, analisando as figuras obtidas na análise do ângulo de contato, observou-se que a superfície da fruta sem a cera natural apresentou caráter mais hidrofóbico ($\theta > 90^\circ$) do que a fruta com a cera, indicando a baixa afinidade da epiderme da physalis pela água. A partir destes resultados, pode-se compreender a dificuldade encontrada em aplicar coberturas comestíveis que utilizam água como solvente nas physalis previamente higienizadas.

Segundo Rotta (2008), quando a água (polar) apresenta com uma superfície sólida um ângulo de contato menor que 90° , esta superfície é considerada hidrofílica, ou seja, possui uma boa interação com a água. Porém, se este ângulo de contato for maior que 90° , o material é considerado hidrofóbico.

Tabela 8.2: Análise do ângulo de contato dos líquidos padrões com a superfície da physalis.

Physalis*	Água	Formamida	Diiodometano
	84,3±3,45 ^b	67,1±2,96 ^b	45,3±2,69 ^b
Com cera natural			
	108,7±1,62 ^a	94,5±3,58 ^a	72,1±1,66 ^a
Sem cera natural			

*Letras minúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Como os padrões com diferentes polaridades (água, formamida e diiodometano) apresentam energias livres superficiais das componentes polar e dispersiva conhecidas, a partir do modelo de Owens e Wendt (1969) determinou-se a energia livre superficial da fruta.

A Tabela 8.3 mostra a energia livre superficial e as componentes polar e dispersiva para a superfície da physalis com e sem a cera natural que recobre o fruto.

Tabela 8.3: Energia livre superficial e suas componentes para superfície de physalis utilizando o modelo de Owens-Wendt.

Physalis*	Energia livre superficial (mN.m^{-1})	Componente polar (mN.m^{-1})	Componente dispersiva (mN.m^{-1})
Com cera natural	35,61 ± 0,71 ^a	3,28 ± 0,05 ^a	32,33 ± 0,10 ^a
Sem cera natural	19,08 ± 0,63 ^b	0,31 ± 0,01 ^b	18,77 ± 0,52 ^b

*Letras minúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Analisando os valores de energia livre superficial das physalis, observou-se que os frutos higienizados (sem a cera natural) apresentaram energia livre superficial menor ($p \leq 0,05$) do que os frutos com cera. Desta forma, quanto à molhabilidade, seria mais fácil aplicar uma cobertura na superfície da fruta com cera do que da fruta higienizada. A baixa energia livre de superfície da fruta dificulta a interação com outras substâncias.

No trabalho desenvolvido por Ribeiro et al. (2007), os autores concluíram que a superfície do morango é uma superfície de baixa energia com uma tensão superficial de $28,94 \text{ mN.m}^{-1}$, com uma componente dispersiva e polar de $22,99 \text{ mN.m}^{-1}$ e de $5,95 \text{ mN.m}^{-1}$, respectivamente.

Neste estudo, a physalis apresentou baixa energia para componente polar, isto indica o caráter hidrofóbico da superfície da fruta. Durante os testes de ângulo de contato, o diiodometano (apolar) foi o líquido padrão que mais interagiu com a superfície do fruto.

Através das micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura foi possível visualizar a presença de uma cera que recobre naturalmente a superfície da physalis. Foram realizadas avaliações com aumento de 50 e 100 vezes, conforme apresentado na Figura 8.2. Observou-se maior quantidade de cera na superfície da fruta, próximo a região do pedúnculo, evidenciada por regiões mais claras na micrografia (Figura 8.2a). A Figura 8.2b mostra a superfície da fruta após a retirada do cálice e antes de qualquer etapa de higienização. Foi possível visualizar a estrutura compacta e pouco porosa da película cerosa. Observações semelhantes foram realizadas por Arango et al. (2010), que avaliou o tecido de physalis na região de pedúnculo e na epiderme, e encontrou uma enorme diferença na porosidade, sendo que a epiderme mostrou estrutura pouco permeável. Esta mesma característica de estrutura compacta foi relatada por outros autores que avaliaram a superfície da physalis por microscopia eletrônica de varredura (Restrepo et al., 2009; Marín et al., 2010; Puente et al., 2011). Quanto à presença da cera, a remoção desta pela higienização (Figura 8.2c) permitiu a visualização da estrutura (fibras) que constitui a parede celular da fruta.

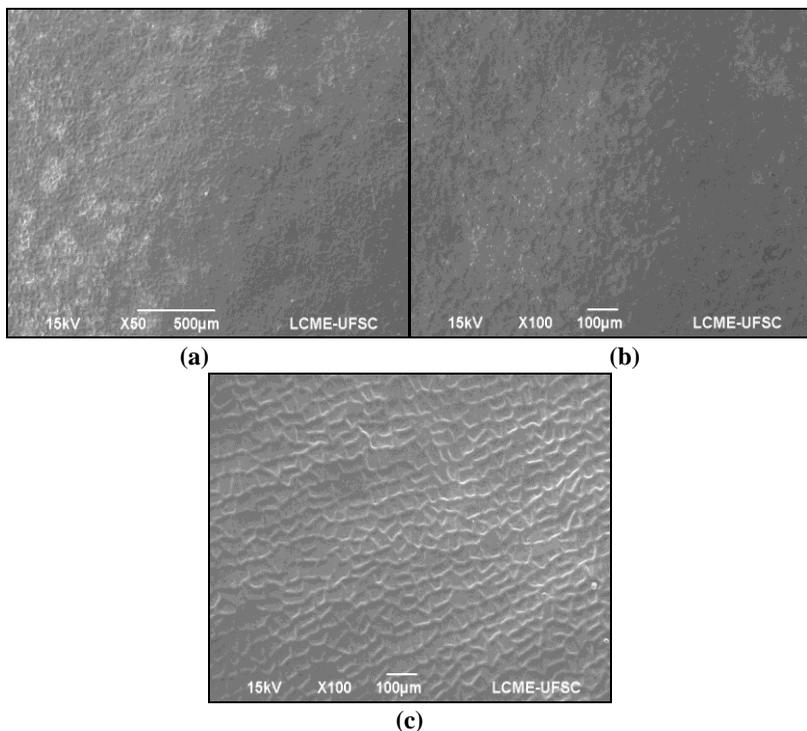


Figura 8.2: Microscopia eletrônica de varredura do tecido de *Physalis peruviana* L.: (a) Presença de cera na região próxima ao pedúnculo (esquerda); (b) superfície com a cera natural que recobre o fruto; (c) superfície sem a cera natural, após higienização.

Além do estudo das características da superfície do fruto, também foi avaliada a solução filmogênica a base de HPMC/lipídios, para entender a dificuldade encontrada na aplicação destas coberturas na *physalis*.

Foram realizados testes com a mesma formulação, a base de HPMC/lipídios, diferindo apenas a quantidade de emulsificante adicionada, com intuito de investigar qual concentração de Tween 80 deveria ser utilizada para a obtenção da solução filmogênica com menor tensão superficial. Com a diminuição da tensão superficial desta solução, seria possível melhorar a distribuição e uniformidade da cobertura sobre a fruta.

A Tabela 8.4 apresenta os dados de tensão superficial e viscosidade para as soluções filmogênicas elaboradas a base de HMPC e lipídios com diferentes concentrações de emulsificante (Tween 80).

Tabela 8.4: Tensão superficial e viscosidade das soluções filmogênicas com diferentes concentrações de emulsificante.

Solução filmogênica	Emulsificante (%)	Tensão Superficial (mN.m ⁻¹)*	Viscosidade (mPa.s)*
C0	0,00	39,38 ± 0,30 ^a	195 ± 0,58 ^e
C025	0,25	36,02 ± 0,90 ^{bc}	251 ± 2,00 ^d
C05	0,50	31,99 ± 0,55 ^d	266 ± 3,21 ^c
C075	0,75	34,58 ± 1,18 ^c	282 ± 3,51 ^b
C1	1,00	37,47 ± 1,63 ^{ab}	419 ± 2,52 ^a

*Letras minúsculas iguais nas colunas indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$); Medidas realizadas nas soluções filmogênicas a 25°C.

Entre as amostras analisadas, a menor tensão superficial foi obtida para a formulação C05 ($p \leq 0,05$), indicando que o uso de emulsificante em concentrações crescentes na formulação das coberturas não apresentou comportamento linear em relação à redução da tensão superficial da solução filmogênica. O valor de tensão superficial da solução filmogênica com 1% de emulsificante (C1) foi estatisticamente igual ($p \geq 0,05$) ao valor de tensão superficial da solução sem adição de Tween 80 (C0).

A tensão superficial das soluções filmogênicas indica que as forças de atração entre as moléculas da cobertura são fortes, o que provoca a obtenção de um alto ângulo de contato destas soluções sobre a superfície da physalis, impossibilitando a adesão destas coberturas na fruta (C0, C025, C075, C1).

Choi et al. (2002) reportaram que a adição de 1% de Tween 80 em soluções com 1,5% de quitosana aumentou a compatibilidade entre a cobertura e a pele de maçãs, reduzindo a tensão superficial do líquido e aumentando o coeficiente de espalhamento.

Ribeiro et al. (2007) avaliaram a tensão superficial de coberturas comestíveis a base de amido, carragena e quitosana e obtiveram valores de 50,71 mN.m⁻¹, 48,62 mN.m⁻¹ e 46,98 mN.m⁻¹, respectivamente. A alta tensão superficial encontrada na literatura para filmes de amido e carragena, explicam o fato destas coberturas não

terem aderindo sobre a physalis nos testes realizados no presente trabalho.

Dentre as coberturas comestíveis estudadas, a formulação com 0,5% de emulsificante (C05) foi a que apresentou menor tensão superficial e consequentemente melhor espalhamento e adesão sobre a superfície da physalis.

Quanto à viscosidade, as soluções filmogênicas apresentaram um aumento significativo ($p \leq 0,05$) em relação à concentração de emulsificante utilizado nas formulações. Sendo que, as soluções filmogênicas com maior viscosidade apresentaram dificuldade de formação de cobertura sobre a fruta. Dentre as formulações estudadas, a C05 apresentou boa capacidade de recobrimento do fruto.

Perez-Gago et al. (2002) determinaram a viscosidade de soluções filmogênicas a base de HPMC com diferentes teores de sólidos e encontraram valores entre 5,9 a 23 cp a 20°C. Para soluções filmogênicas a base de HPMC, Valencia-Chamorro et al. (2009) relataram viscosidades de 12,20 a 19,20 cp. Comparando os resultados obtidos neste estudo com os relatados por outros autores, observou-se uma grande diferença nos valores encontrados, sendo que 1cp representa 1 mPa.s. Acredita-se que esta diferença na viscosidade tenha ocorrido por variações no conteúdo de sólidos das formulações, visto que apesar da temperatura influenciar diretamente na viscosidade de um fluido, os testes realizados neste trabalho e na pesquisa desenvolvida por Perez-Gago et al. (2002) foram executados em temperaturas muito próximas, 25°C e 20°C, respectivamente. Outro aspecto que deve ser considerado é a proporção de HPMC/cera na formulação, emulsões com altas concentrações de HPMC formam géis mais viscosos (PEREZ-GAGO et al., 2005). Além disso, o grau de substituição e a massa molecular da HPMC utilizada pode afetar a viscosidade dos géis formados (CLASEN e KULICKE, 2001; PINTO, 2007).

A avaliação das características das soluções filmogênicas e o estudo da superfície do fruto permitiu compreender os resultados dos testes experimentais realizados no laboratório. De todas as formulações de coberturas comestíveis testadas para physalis, apenas a formulação C05 apresentou capacidade de aderir à superfície do fruto e formar uma cobertura uniforme e contínua, capaz de criar uma barreira física entre a fruta e o ambiente externo.

8.3.2 Caracterização da cobertura comestível aplicada à physalis

A Tabela 8.5 apresenta a caracterização da cobertura comestível aplicada na physalis. Para estas avaliações, alíquotas de 9 mL da solução filmogênica (C05) foram distribuídas em placas de petri (poliestireno) de 10 cm de diâmetro e secas a 30°C por 24h para obtenção de filmes com espessura semelhante à espessura da cobertura formada sobre o fruto.

Para determinação da espessura da cobertura no fruto, após a aplicação e secagem da solução filmogênica na superfície da physalis, a cobertura formada foi retirada e a espessura foi medida em três pontos distintos, laterais e na parte inferior da fruta. A média das determinações realizadas em 10 frutas foi de 0,086±0,008 mm.

Tabela 8.5: Permeabilidade ao vapor de água (PVA), espessura, transparência e umidade da cobertura comestível a base de HPMC e lipídios.

Cobertura comestível	C05
PVA ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) $\times 10^{-7}$	2,78 ± 0,30
Espessura (mm)	0,08 ± 0,01
Transparência (%)	25,88 ± 2,57
Umidade (%)	7,98 ± 0,41

Os dados de espessura apresentados na Tabela 8.5 indicam que foi possível reproduzir em placas filmes com espessuras médias muito próximas ao valor de espessura encontrado para a cobertura formada sobre a fruta. Porém, os filmes formados sobre as placas não apresentaram espessura uniforme em toda a área avaliada, foram observadas variações de espessura do filme nas determinações realizadas no mesmo corpo de prova. Perez-Gago et al. (2002) afirmaram que a espessura das coberturas está relacionada com a viscosidade da solução filmogênica, quanto maior a viscosidade da formulação, maior será a espessura do filme após a secagem. A espessura de filmes e coberturas comestíveis é um parâmetro importante a ser avaliado, pois o aumento da espessura diminui a permeabilidade do material ao vapor de água (SARANTÓPOULOS et al., 2012; SOBRAL, 2000).

O conhecimento da permeabilidade ao vapor de água é importante para definir materiais apropriados para elaboração de coberturas comestíveis para frutas, que possam reduzir a perda de umidade destes produtos para o ambiente. Em geral, filmes de derivados

de celulose apresentam baixa barreira à umidade devido a sua característica hidrofílica (KESTER e FENNEMA, 1986), o que torna a incorporação de compostos lipídicos imprescindíveis para melhorar a resistência do material ao vapor de água. Analisando os resultados apresentados na Tabela 8.5, pode-se afirmar que a combinação de uma fase hidrofílica (HPMC) e uma fase hidrofóbica (lipídios) garantiu a esta cobertura comestível, uma PVA menor do que as permeabilidades obtidas para filmes elaborados a partir de outros materiais. Como exemplo, os valores de permeabilidade ao vapor de água descritos por Moraes et al. (2012) para filmes a base de alginato e carragena foram de $3,42 \times 10^{-7}$ g/m.Pa.h e $4,33 \times 10^{-7}$ g/m.Pa.h, respectivamente. Este resultado pode estar associado à presença de um componente lipídico na formulação, refletir uma variação da espessura dos filmes mencionados ou tem relação com a quantidade de plastificante presente em cada formulação, visto que, segundo Mali et al. (2004), estes componentes comprometem a barreira à umidade dos filmes e coberturas.

A transparência dos filmes a base de HPMC e lipídios foi de 26% (Tabela 8.5), valor inferior ao descrito por Rotta et al. (2009) que encontrou valores de 93,8% para filmes de HPMC e 88,9% para filmes de quitosana (a 500nm). Os autores mencionaram que a mistura de HPMC/quitosana em diferentes proporções reduziu a transparência dos filmes avaliados e isto foi atribuído às interações entre os polímeros. No presente estudo, a baixa transparência dos filmes tem relação com a presença da cera de abelha na formulação. Mesmo sendo clarificada, a cera utilizada apresentava aspecto leitoso após a fusão.

A água é utilizada como solvente na formulação de coberturas comestíveis, sendo que segundo Trezza e Krochta (2000), esta atua como um plastificante na solução filmogênica. Após a secagem das coberturas de HPMC/lipídios, o teor de umidade foi de 8% (Tabela 8.5), porém pela própria característica hidrofílica do material, o conteúdo de umidade dos filmes é afetado pela umidade relativa do ambiente. Assim como as coberturas sofrem mudança no teor de umidade devido ao contato direto com a superfície dos frutos e consequente transporte de vapor de água para o ambiente decorrente da perda de peso destes produtos.

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada como uma ferramenta para correlacionar as propriedades da cobertura com a sua estrutura morfológica. A Figura 8.3 apresenta as micrografias do filme composto de HPMC e lipídios, em ambas às superfícies e na fratura do filme realizada com N_2 líquido.

A estrutura densa dos filmes observada através da micrografia confirma a boa agregação das moléculas durante a evaporação do solvente, com ausência de rachaduras ou bolhas. Porém, as micrografias apresentadas na Figura 8.3a mostram a formação de duas fases no filme que correspondem à fase lipídica constituída pela cera e ácido oleico (fração hidrofóbica) e a solução de HPMC (fração hidrofílica). Acredita-se que os resultados de permeabilidade estão relacionados com a presença destes espaços com característica hidrofílica, que permitem que ocorra maior transferência de água através do filme. A superfície do filme em contato com a placa (Figura 8.3b) apresenta aparência rugosa que é adquirida pelo contato do filme com a placa de poliestireno durante a secagem. A micrografia seção transversal (Figura 8.3c) mostra um filme uniforme, sem formação de cavidades, rachaduras ou falhas que possam facilitar a passagem de gases ou vapor de água.

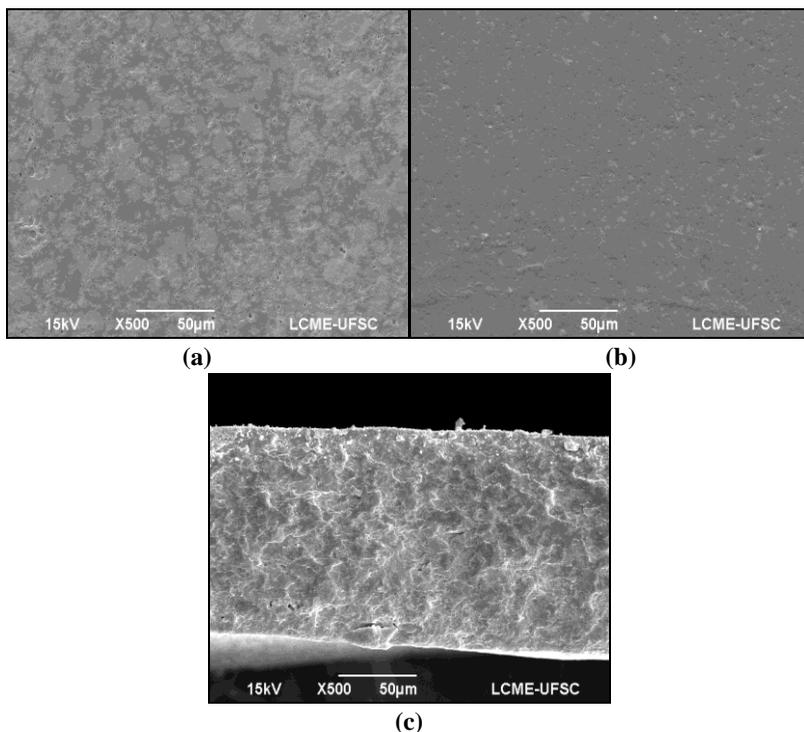


Figura 8.3: Microscopia eletrônica de varredura do filme a base de HPMC e cera: (a) superfície exposta ao ar; (b) superfície em contato com a placa; (c) seção transversal (fratura).

A Figura 8.4 apresenta o termograma obtido por calorimetria exploratória diferencial do filme composto de HPMC e lipídios.

Um dos critérios adotados para a avaliação da miscibilidade em sistemas poliméricos baseia-se na determinação da temperatura de transição vítrea (T_g). Para uma blenda polimérica ser considerada miscível, ela deve possuir uma única transição vítrea situada em uma faixa de temperatura intermediária às transições dos componentes puros (BARBANI et al., 2005). Rotta (2008) avaliou filmes de HPMC puro e encontrou a temperatura de transição vítrea (T_g) de $164,6^\circ\text{C}$. No presente estudo (Figura 8.4) não foi possível encontrar a T_g dos filmes avaliados, pois não foi observado nenhum ponto de inflexão entre as linhas de base pela variação da capacidade calorífica da amostra.

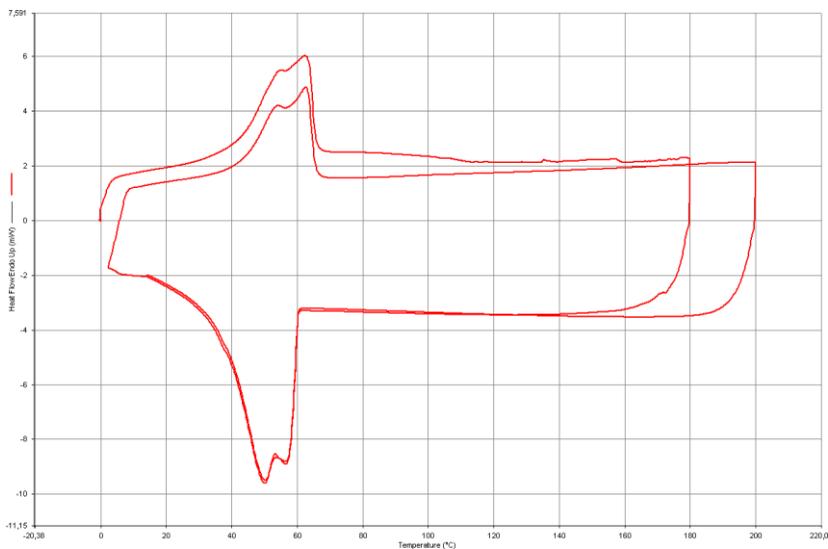


Figura 8.4: Calorimetria exploratória diferencial (DSC) do filme a base de HPMC e lipídios.

Os dados fornecidos pela técnica de DSC foram as temperaturas de fusão (T_f) e de cristalização (T_c) e o calor de fusão (ΔH_f), o qual está relacionada com a cristalinidade da amostra (Tabela 8.6). Foram tomadas como temperaturas de fusão e cristalização aquelas correspondentes aos máximos (pico endotérmico) ou mínimos (pico exotérmico) da curva do termograma, respectivamente. Desta forma utilizou-se a análise de calorimetria exploratória diferencial para determinar o grau de

cristalinidade do filme avaliado. A partir dos dados de entalpia por unidade de massa da amostra foi determinado o grau de cristalinidade ($\% \chi_c$) do filme a base de HPMC/ lipídios e o valor encontrado foi de 14,9%. O grau de cristalinidade de um material dá uma ideia de como estão arranjadas as cadeias do polímero no filme. Segundo Sanches (2002), quando as cadeias estão dispostas em forma paralela a estrutura se torna mais cristalina, enquanto que as regiões desordenadas são amorfas. De acordo com os mesmos autores, os polietilenos de baixa densidade apresentam cristalinidade em torno de 30 a 40% e os de alta densidade em torno de 75 a 95%. Analisando o resultado descrito neste trabalho, concluiu-se que o filme elaborado com HPMC/lipídios apresenta estrutura amorfa e este resultado pode ser relacionado com interação entre as cadeias do polímero e os lipídios.

Tabela 8.6: Temperaturas de fusão (Tf), temperatura de cristalização (Tc), calor de fusão (ΔH_f) e grau de cristalinidade (χ_c) da cobertura comestível a base de HPMC e lipídios.

Cobertura comestível	Tf (°C)	Tc (°C)	ΔH_f (J/g)	χ_c (%)
C05	62,62±1,50	50,06±1,40	43,62±0,90	14,89±0,30

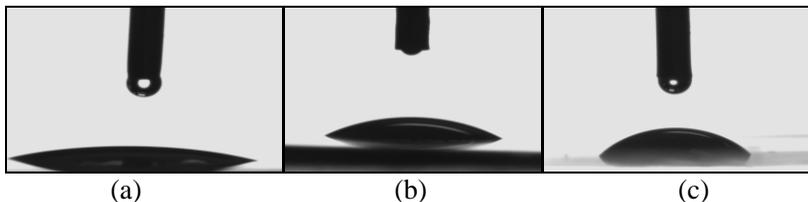
A Tabela 8.7 apresenta o ângulo de contato da cobertura à base de HPMC/lipídios com líquidos padrões de diferentes polaridades. As fotos das gotas dos padrões sobre a superfície da cobertura, representando a molhabilidade, estão mostradas na Figura 8.5.

De acordo com Burkarter (2006), para uma superfície de molhabilidade considerável, o ângulo de contato fica abaixo de 90° (hidrofílica). Porém, se o ângulo for maior que 90°, o líquido não molha a superfície e esta é considerada hidrofóbica.

O menor ângulo de contato foi observado entre a cobertura comestível e a água e o maior ângulo formado ocorreu na interação cobertura e diiodometano. Este resultado indica o caráter hidrofílico da cobertura avaliada. Este comportamento ocorreu devido à presença de grupos funcionais polares (grupos OH) que fazem com que as moléculas da água interajam mais facilmente com as moléculas do polímero HPMC (ROTTA, 2008). O oposto ocorreu com o líquido apolar (diiodometano). Para líquidos com uma polaridade intermediária (formamida) as medidas de ângulo de contato situaram-se entre os valores encontrados para a água e para o diiodometano.

Tabela 8.7: Ângulo de contato dos líquidos padrões na cobertura comestível.

Cobertura C05	Água	Formamida	Diiodometano
Ângulo de contato	19,66±1,40	29,59±1,82	47,24±2,17

**Figura 8.5:** Molhabilidade da cobertura com os líquidos padrões: (a) água deionizada, (b) formamida e (c) diiodometano.

A partir dos ângulos de contato obtidos entre a cobertura comestível e os padrões (água, formamida e diiodometano) determinou-se a energia livre superficial da cobertura utilizando o modelo de Owens e Wendt (1969). A Tabela 8.8 apresenta os valores de energia livre superficial e as componentes polar e dispersiva para a cobertura comestível analisada.

Tabela 8.8: Energia livre superficial e suas componentes para a cobertura comestível a base de HPMC/lipídios utilizando o modelo de Owens-Wendt.

Cobertura comestível	Energia livre superficial ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)	Componente polar ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)	Componente dispersiva ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)
C05	66,96 ± 1,90	39,03 ± 1,10	27,93 ± 0,80

Analisando os valores da Tabela 8.8, observou-se que a componente polar da energia livre superficial foi maior do que a componente dispersiva, isto mostra que a cobertura comestível à base de HPMC/lipídios apresenta caráter hidrofílico. Durante os testes de ângulo de contato, o diiodometano (apolar) foi o líquido padrão que menos reagiu com a cobertura.

Rotta et al. (2009) observaram que a energia livre superficial polar aumentou com o aumento da proporção de HPMC nos filmes e conseqüentemente diminuiu a energia livre superficial dispersiva (apolar). Segundo os autores, a presença de HPMC tornou os filmes mais hidrofílicos. Quanto mais hidrofílico for o filme, maior será a

energia livre superficial polar e menor a energia livre superficial dispersiva, sendo que a energia livre superficial total pouco se altera.

Com base nos resultados obtidos para a cobertura comestível e para a superfície da physalis, concluiu-se que a superfície da fruta apresentou característica apolar, o que dificulta a adesão de soluções filmogênicas que utilizem água como solvente, dado o caráter hidrofóbico associado à epiderme da fruta. Por outro lado, a cobertura comestível apresentou maior valor para a energia livre superficial polar, indicando que a cobertura apresenta características mais hidrofílicas. No entanto, o valor da componente dispersiva da cobertura não pode ser ignorado, e é possível que a cobertura permaneça sobre o fruto após a secagem da mesma pela atuação desta componente da energia livre superficial.

8.3.3 Avaliação da qualidade da fruta com cobertura comestível

8.3.3.1 *pH e SST*

As physalis são frutos climatéricos, que durante a maturação sofrem alterações que são observadas por mudanças na acidez, conteúdo de açúcares, cor, firmeza e desenvolvimento de compostos aromáticos.

O efeito da aplicação da cobertura comestível à base de HPMC e lipídios (C05) em physalis foi determinado pela avaliação dos parâmetros físico-químicos da fruta com e sem cobertura (controle). A Tabela 8.9 apresenta os valores de pH e sólidos solúveis totais para as amostras de physalis com e sem cobertura comestível.

Os resultados mostraram um aumento nos valores de pH das amostras ao longo do período de armazenamento. Porém, diferenças significativas entre os valores de pH da amostra controle e da amostra com cobertura ($p \leq 0,05$) foram observadas apenas após a mudança da temperatura de estocagem de 5°C para 20°C. Sendo que o pH das amostras com cobertura foram significativamente maiores ($p \leq 0,05$) do que o pH do controle nas mesmas condições de armazenamento. Como o pH pode ser utilizado como um indicativo da acidez da fruta, a amostra com maior valor de pH apresenta menor acidez e esta redução no teor de ácidos orgânicos pode indicar a utilização destes compostos como substrato da respiração. Sendo assim, presume-se que a physalis com cobertura apresentou maior taxa respiratória. Para os valores de sólidos solúveis totais também foi observado um aumento com o decorrer do tempo para ambas às amostras, porém não houve evidência significativa ($p \geq 0,05$) de que o uso de cobertura comestível tenha

apresentado efeito sobre este parâmetro. Então, este resultado permite concluir que a aplicação de cobertura comestível a base de HPMC/lipídios em physalis não retardou os processos de maturação do fruto. Resultado semelhante foi descrito por Ribeiro et al. (2007), que não encontrou diferença significativa nos valores de sólidos solúveis para amostras de morango sem cobertura e com cobertura comestível de quitosana e cloreto de cálcio.

Tabela 8.9: pH e SST de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura em diferentes condições de armazenamento.

Condições de armazenamento	pH*		SST*	
	Controle	Com cobertura	Controle	Com cobertura
Dia inicial	3,74±0,03 ^a	3,74±0,03 ^a	14,0±0,06 ^a	14,0±0,06 ^a
15 dias a 5°C	3,83±0,03 ^a	3,81±0,02 ^a	15,1±0,06 ^a	14,3±0,15 ^b
20 dias a 5°C	3,95±0,01 ^a	3,92±0,02 ^a	15,6±0,30 ^a	15,9±0,10 ^a
15 dias a 5°C + 5 dias a 20°C	4,00±0,01 ^b	4,29±0,02 ^a	15,3±0,47 ^a	15,1±0,46 ^a
20 dias a 5°C + 3 dias a 20°C	3,91±0,01 ^b	4,00±0,02 ^a	16,2±0,42 ^a	16,2±0,12 ^a

*Letras minúsculas iguais nas linhas, para o mesmo parâmetro, indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

8.3.3.2 Cor

Mudanças na coloração de frutas frescas são um bom indicativo do processo de maturação. O estágio de maturação de um fruto pode ser caracterizado subjetivamente pela coloração da epiderme e serve de parâmetro para determinar a vida de prateleira de frutas e vegetais. A Tabela 8.10 apresenta os parâmetros de cor para as amostras de physalis com e sem cobertura comestível. Houve redução nos valores de luminosidade (L^*) ao longo do tempo, indicando um escurecimento da superfície dos frutos. No entanto, nenhuma diferença significativa ($p \geq 0,05$) foi observada entre os frutos com cobertura e controle. Houve aumento nos valores do parâmetro b^* ao longo dos dias, indicando aumento na coloração amarela dos frutos com e sem cobertura. Porém, não foram encontradas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para as coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*) dos frutos não tratados quando comparados às frutas com cobertura comestível. O mesmo ocorreu para os valores de h , pois estatisticamente não houve efeito do uso de cobertura sobre este parâmetro, desta forma as frutas permaneceram com a mesma tonalidade durante o armazenamento, independente de ter sido aplicada ou não a cobertura.

Perez-Gago et al. (2005), avaliou o uso de diferentes coberturas à base de HPMC/cera e proteína de soro/cera em fatias de maçãs e observou que o uso de coberturas à base de proteína de soro apresentou um efeito anti-escurecimento neste produto.

Moraes et al. (2012) observou que o uso de coberturas comestíveis à base de alginato manteve a coloração esverdeada de peras quando comparada a amostras sem coberturas por um período de 15 dias.

Barbosa et al. (2011b) avaliou os parâmetros de cor para amostras de cenoura com cobertura comestível à base de gelatina e não encontraram diferenças significativas para os valores de L^* , a^* e b^* dos produtos com e sem cobertura comestível estocados sob a mesma temperatura.

Larotonda (2007) avaliou a coloração de cerejas com cobertura de carragena e o autor afirmou que as amostras controle e com cobertura apresentaram comportamento semelhante, indicando que o uso de cobertura comestível não retardou a senescência de cerejas.

Tabela 8.10: Parâmetros de cor de *physalis* sem cobertura (controle) e com cobertura em diferentes condições de armazenamento.

Condições de armazenamento [#]	L	a*	b*	C	h
	Controle				
Dia inicial	27,26±2,43 ^a	16,25±1,19 ^a	26,68±2,60 ^a	31,67±2,77 ^a	59,05±2,00 ^a
15 dias a 5°C	28,02±2,84 ^a	16,78±1,51 ^a	30,26±2,87 ^a	33,94±1,60 ^a	59,02±4,14 ^a
20 dias a 5°C	29,87±2,61 ^a	17,65±1,06 ^a	32,21±2,84 ^a	36,74±2,87 ^a	61,22±1,56 ^a
15 dias a 5°C+5 dias a 20°C	24,91±2,32 ^a	16,94±0,86 ^a	35,17±1,76 ^a	39,12±1,73 ^a	64,05±1,40 ^a
20 dias a 5°C+3 dias a 20°C	23,98±2,47 ^a	16,35±1,65 ^a	34,68±2,31 ^a	38,39±1,92 ^a	64,69±3,12 ^a
Com cobertura					
Dia inicial	27,26±2,43 ^a	16,25±1,19 ^a	26,68±2,60 ^a	31,67±2,77 ^a	59,05±2,00 ^a
15 dias a 5°C	24,22±2,22 ^a	16,11±0,33 ^a	27,23±1,76 ^a	31,61±1,76 ^a	59,28±1,96 ^a
20 dias a 5°C	24,92±1,62 ^b	15,22±0,78 ^b	30,52±2,15 ^a	33,37±1,27 ^a	62,85±1,32 ^a
15 dias a 5°C+5 dias a 20°C	22,06±1,40 ^a	15,74±0,74 ^a	32,66±3,47 ^a	34,78±2,93 ^a	62,93±2,80 ^a
20 dias a 5°C+3 dias a 20°C	23,27±2,35 ^a	14,40±0,73 ^a	33,88±2,65 ^a	37,31±2,66 ^a	67,22±1,56 ^a

[#]Letras minúsculas iguais nas colunas, para a mesma condição de armazenamento e para o mesmo parâmetro, indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

8.3.3.3 Perda de massa fresca

A Figura 8.6 apresenta a perda de massa das amostras de physalis com e sem cobertura comestível em diferentes condições de armazenamento. Houve perda de massa das amostras ao longo do período de armazenamento, sendo que as perdas observadas foram maiores após o aumento da temperatura de estocagem dos frutos. As physalis controle apresentaram perdas de massa fresca de 11,4%, 12,4%, 22,2% e 23,3% ao final de cada período de armazenamento mostrado na Figura 8.6. Os frutos com cobertura apresentaram valores de perda de massa significativamente ($p \leq 0,05$) iguais aos frutos controle, sendo de 11,7%, 11,7%, 20,2% e 21,5%. Os resultados estão coerentes aos valores de perda de massa de physalis sem cálice analisados no capítulo 5 deste trabalho. Sabe-se que os valores de perda de massa fresca encontrados para os frutos controle e com cobertura comestível foram superiores ao valor aceitável para frutas frescas e que estas perdas comprometeram o frescor do produto, com efeito negativo nas características de textura do mesmo.

Os resultados indicaram que a permeabilidade ao vapor de água da cobertura comestível a base de HPMC e lipídios foi elevada e não evitou a perda de água dos produtos revestidos. Segundo Trezza e Krochta (2000), coberturas contendo apenas proteínas ou polissacarídeos não garantem uma boa barreira à umidade, sendo necessária a adição de componentes hidrofóbicos que possam melhorar as características de barreira ao vapor de água destes materiais. Apesar da cobertura estudada neste trabalho conter componentes lipídicos, a interação deste recobrimento com a superfície da fruta com umidade relativamente alta afeta o desempenho da cobertura comestível. De acordo com Perez-Gago et al. (2005), a permeabilidade ao vapor de água de coberturas comestíveis aumenta com a umidade relativa, e este efeito é mais pronunciado quando são aplicadas em produtos frescos cortados.

Os resultados reportados na literatura sobre a perda de massa de frutas com coberturas comestíveis são contraditórios, alguns autores descrevem que o uso de recobrimentos reduziu a perda de massa, outros, assim como no presente trabalho, não observaram diferenças quanto a aplicação ou não de coberturas comestíveis em frutas. Por exemplo, Perez-Gago et al. (2002) observaram que o uso de coberturas à base de HPMC e diferentes tipos de lipídios reduziram a perda de massa de laranjas cobertas. Navarro-Tarazaga et al. (2007) verificaram que coberturas à base de HPMC e cera de abelha contendo diferentes tipos

de plastificantes não reduziram a perda de massa de ameixas quando comparado as amostras controle. Perez-Gago et al. (2003) avaliaram o uso de coberturas à base de HPMC com diferentes concentrações de lipídios e verificaram que não houve diferença na perda de massa entre as ameixas controle e com cobertura contendo 20% de lipídios. Os autores concluíram que para melhorar as propriedades de barreira desta cobertura seria necessária a adição de maior quantidade compostos lipídicos na formulação.

Apesar do aumento na concentração de lipídios favorecerem a barreira a umidade da cobertura, a presença destes compostos também afeta a barreira aos gases, desta forma deve-se considerar que uma alta concentração de cera pode levar o fruto a respiração anaeróbica.

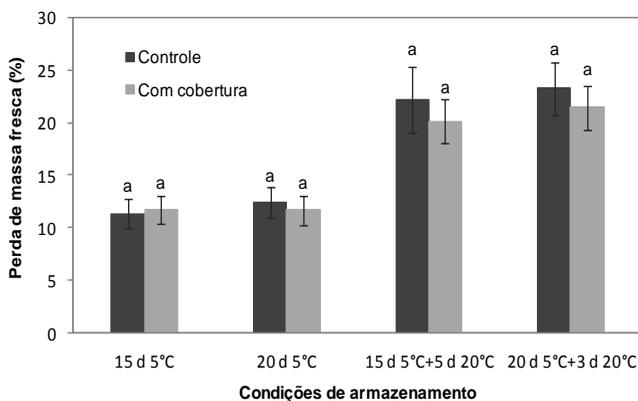


Figura 8.6: Perda de massa fresca de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura a base de HPMC e lipídios em diferentes condições de armazenamento.

*Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes para cada condição de armazenamento, indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

8.3.3.4 Textura

O amolecimento da estrutura da physalis pode ser observado nos testes de compressão que avaliaram a firmeza da fruta como um todo. A Figura 8.7 apresenta a força de compressão de physalis com e sem cobertura comestível em diferentes condições de armazenamento. Houve redução nos valores de força de compressão ao longo do período de armazenamento para as amostras com e sem cobertura comestível. Sendo que as amostras controle apresentaram menor redução na força de

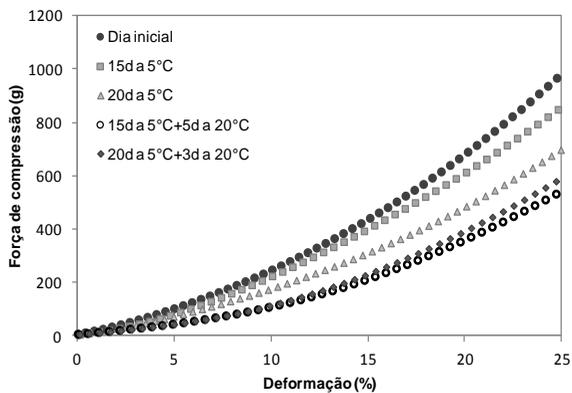
compressão, variando de 994,9 g para 575,5 g (redução de 42,2%), enquanto que as amostras com cobertura comestível apresentaram diminuição de 994,9 g para 434,8 g (redução de 56,3%).

A Figura 8.8 apresenta a força de perfuração de physalis com e sem cobertura comestível em diferentes condições de armazenamento. Analisando os resultados obtidos, observou-se que a força de perfuração das frutas apresentou pouca alteração com o tempo, porém as amostras controle apresentaram maior redução da força de perfuração após 15d/5°C e 20d/5°C, diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) da amostra com cobertura para o mesmo período. Entretanto, a força de perfuração diminuiu quando as amostras foram acondicionadas em temperatura mais elevada, para ambos os tratamentos. Os resultados mostraram os menores valores de força de perfuração foram obtidos para amostras armazenadas por 15d/5°C+5d/20°C, sendo que após o aumento da temperatura não foram observadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) entre a amostra controle e com cobertura.

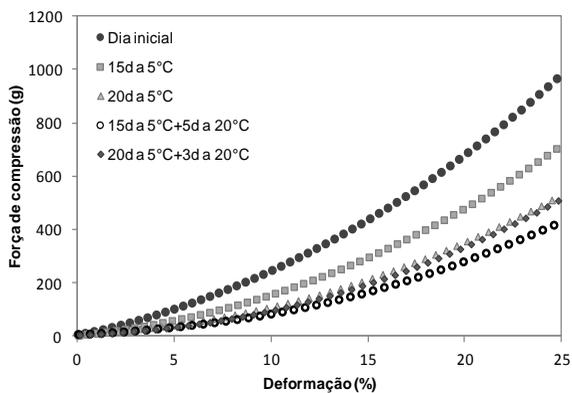
Existe uma correlação entre perda de massa e a firmeza, sendo que a maior força de perfuração observada para as amostras com cobertura ocorreu devido à perda de massa dos produtos armazenados sob estas condições e como consequência, houve o amolecimento da estrutura da baga e enrugamento fruto, sendo necessária maior força para perfurar a pele da fruta, visto que a mesma cede à pressão aplicada devido ao amolecimento do produto. Logo, a maior força de perfuração da pele da physalis com cobertura denota o maior ressecamento da epiderme do fruto revestido.

Estes resultados mostraram um efeito negativo da cobertura comestível para a preservação das características de textura da physalis.

Valencia-Chamorro et al. (2010) avaliou o uso de coberturas comestíveis à base de HPMC, cera e compostos antifúngicos na qualidade de laranjas em diferentes condições de armazenamento e os autores afirmaram que o uso destas coberturas foi eficiente no controle da perda de massa e da firmeza das frutas avaliadas. Por outro lado, Barbosa et al. (2011b) avaliou a textura de cenouras com cobertura comestível à base de gelatina e os autores não observaram efeito associado ao uso desta cobertura.



(a)



(b)

Figura 8.7: Força de compressão de physalis sem cobertura (a) e com cobertura a base de HPMC e lipídios (b) em diferentes condições de armazenamento.

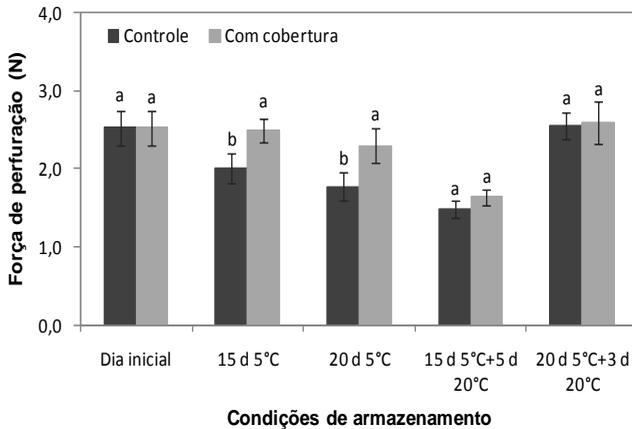


Figura 8.8: Força de perfuração de physalis sem cobertura (controle) e com cobertura a base de HPMC e lipídios em diferentes condições de armazenamento.

*Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes para cada condição de armazenamento, indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

8.3.3.5 Concentração de gases

A Figura 8.9 apresenta a produção de CO_2 e o consumo de O_2 de physalis com e sem cobertura comestível em diferentes condições de armazenamento. Os resultados mostraram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras controle e com cobertura comestível a partir do 20º dia de estocagem, tanto para a concentração de O_2 , quanto para o teor de CO_2 . O maior consumo de O_2 e a maior produção de CO_2 foram observados para a amostra controle. Podendo-se afirmar que a cobertura comestível, à base de HPMC e lipídios, atuou como uma barreira aos gases da respiração. Outra observação foi que ocorreu um aumento intenso no consumo de O_2 e produção de CO_2 para as amostras armazenadas por 15d/5°C+5dias/20°C, indicando que a elevação da temperatura e o tempo de permanência sob temperaturas mais altas provocam aumento na taxa respiratória dos produtos. De acordo com Valencia-Chamorro et al. (2010) apesar de apresentarem baixa barreira a umidade, filmes contendo polissacarídeos (HPMC) apresentam boa barreira a gases.

O efeito negativo associado ao uso de cobertura para a preservação das características de textura da physalis pode estar

relacionado às propriedades de barreira aos gases da cobertura estudada. O acúmulo de gases do processo de maturação, como o etileno, estimula a atividade de enzimas que atuam na solubilização de substâncias pécicas levando ao amolecimento da estrutura da fruta.

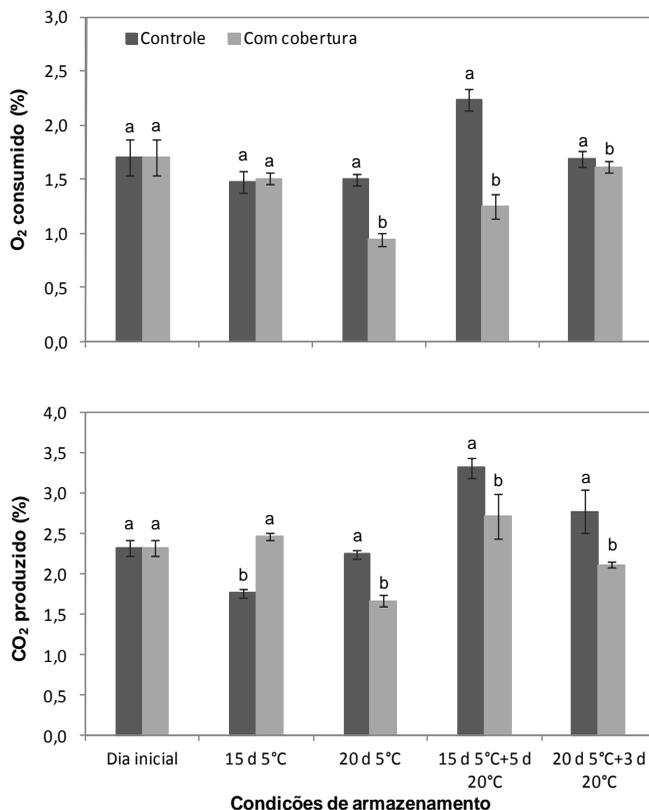


Figura 8.9: Concentração de gases de *physalis* sem cobertura (controle) e com cobertura a base de HPMC e lipídios em diferentes condições de armazenamento.

*Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes para cada condição de armazenamento, indicam que as amostras não diferem significativamente ($p \geq 0,05$).

Quando as coberturas comestíveis são aplicadas aos frutos, é importante considerar que fatores como a morfologia da pele da fruta ou alguma propriedade física da solução filmogênica podem influenciar a

flexibilidade da cobertura ou sua capacidade de se adaptar à superfície do fruto. As coberturas normalmente restringem as trocas de gases do fruto em função não apenas de como a cobertura está distribuída sobre a superfície do produto para formar uma camada contínua, mas também da capacidade da cobertura se ligar as aberturas presentes na pele da fruta (HAGENMAIER e BAKER 1993).

8.3.3.6 Análises microbiológicas

Sabendo que o crescimento microbiano na superfície é a principal causa da deterioração dos alimentos, neste trabalho verificou-se se o uso de cobertura comestível poderia inibir o crescimento de microrganismos nas physalis. A Tabela 8.11 apresenta os resultados das análises microbiológicas para as amostras de physalis com e sem cobertura comestível. Foram analisados bolores e leveduras, coliformes totais e contagem de psicrotóxicos para a amostra controle e com cobertura comestível a base de HPMC e lipídios. De maneira geral, não foram observadas diferenças nos valores de contagem microbiana para os frutos com e sem cobertura. Os resultados das análises microbiológicas estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001), que define os padrões microbiológicos sanitários para frutas frescas, "in natura", preparadas (descascadas, selecionadas ou fracionadas), sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto e determinam uma tolerância para coliformes a 45°C de 5×10^2 UFC/g e ausência de *Salmonella* sp em 25g. A legislação brasileira não estabelece limites para bolores e leveduras nas frutas e vegetais frescos ou preparados (SANTOS et al., 2010). Ribeiro et al. (2007) observou que a taxa de crescimento microbiano reduziu nos morangos com cobertura que tiveram adição de quitosana, devido ao seu efeito antimicrobiano deste polissacarídeo. Segundo Rojas-Graü et al. (2007) e Debeaufort et al. (1998) a funcionalidade de coberturas comestíveis pode ser ampliada pela adição de antimicrobianos, pois estes podem proteger os produtos alimentares de deterioração microbiana e estender sua vida útil.

Tabela 8.11: Avaliação microbiológica ao longo do período de armazenamento de physalis com cobertura e controle.

Condições de armazenamento	Bolores e leveduras (UFC/g)	Coliformes totais a 35°C (UFC/g)	Contagem de psicrotórficos a 22°C (UFC/g)
Physalis controle			
Dia inicial	$1,4 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^1$	$7,0 \times 10^2$
15 dias a 5°C	$4,2 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^1$	$1,4 \times 10^3$
20 dias a 5°C	$3,8 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^2$
15 dias a 5°C+5 dias a 20°C	$1,1 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^2$
20 dias a 5°C+3 dias a 20°C	$4,9 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$1,2 \times 10^5$
Physalis com cobertura			
Dia inicial	$1,4 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^1$	$7,0 \times 10^2$
15 dias a 5°C	$1,4 \times 10^5$	$< 1,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^2$
20 dias a 5°C	$3,3 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$6,0 \times 10^2$
15 dias a 5°C+5 dias a 20°C	$3,8 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$2,4 \times 10^4$
20 dias a 5°C+3 dias a 20°C	$3,9 \times 10^4$	$< 1,0 \times 10^1$	$1,1 \times 10^4$

8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto à caracterização da pele da fruta, os resultados mostraram um caráter hidrofóbico para superfície da physalis. Além disso, foi possível visualizar através das micrografias, a estrutura compacta e pouco porosa da película cérea que recobre naturalmente a fruta.

Dentre as coberturas comestíveis estudadas, a formulação com 0,5% de emulsificante (C05) foi a que apresentou menor tensão superficial e conseqüentemente melhor espalhamento e adesão sobre a superfície da physalis, capaz de formar uma cobertura uniforme e contínua e criar uma barreira física entre a fruta e o ambiente externo.

Quanto à caracterização da cobertura comestível, sua estrutura densa observada através das micrografias confirmou a boa agregação das moléculas, apesar de ter sido identificada a formação de duas fases no filme (fração hidrofóbica e fração hidrofílica). A alta permeabilidade foi relacionada à presença destes espaços com característica hidrofílica, que permitiu que ocorresse maior transferência de água através do filme. A baixa transparência das coberturas a base de HPMC/lipídios foi associada à presença da cera de abelha na formulação. A análise do

ângulo de contato mostrou o caráter hidrofílico da cobertura comestível estudada.

Quanto à avaliação da qualidade da fruta com cobertura comestível, não houve evidência de que o uso de cobertura a base de HPMC/lipídios em physalis tenha retardado as alterações físico-químicas decorrentes do processo de maturação. Visto que os valores de pH, sólidos solúveis totais, cor e perda de massa fresca não apresentaram diferença para as frutas com e sem cobertura. O efeito negativo associado ao uso de cobertura para a preservação das características de textura da physalis foi relacionado às propriedades de barreira aos gases da cobertura estudada. De maneira geral, não foram observadas diferenças nos valores de contagem microbiana para os frutos com e sem cobertura. Desta forma, a cobertura comestível a base de HPMC e lipídios não se mostrou adequada para o armazenamento de physalis.

CAPÍTULO 9:
CONCLUSÕES FINAIS E REFERÊNCIAS

CONCLUSÕES FINAIS

O estudo sobre a conservação de produtos de origem vegetal é de extrema importância para área de pós-colheita de frutas e hortaliças. Considerando que cada matéria-prima apresenta características muito peculiares, o desenvolvimento desta pesquisa permitiu determinar as condições ótimas de armazenamento de physalis (*Physalis peruviana* L.), possibilitando o aumento do período de comercialização deste produto. A partir dos resultados discutidos e das considerações apresentadas ao final de cada capítulo podem ser destacadas as seguintes conclusões:

- Os resultados mostraram que o ozônio, assim como o cloro, foi eficaz na eliminação de microrganismos. O analisador de gases apresentou resultados precisos e exatos quando comparado com resultados obtidos por cromatografia gasosa. Dentre as embalagens testadas, a embalagem de BOPP/PEBD foi a mais apropriada para utilização em atmosfera modificada.
- As physalis sem cálice, armazenadas em embalagens rígidas apresentaram maiores alterações nos parâmetros físico-químicos avaliados. Esta etapa permitiu concluir que para garantir a qualidade da fruta sem cálice durante o período pós-colheita é necessário à aplicação de técnicas de conservação, visando aumentar o período de comercialização do produto pronto para consumo.
- Entre as atmosferas modificadas avaliadas, a atmosfera com 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ reduziu a respiração dos frutos e consequentemente os processos metabólicos que alteram parâmetros físico-químicos como pH, teor de sólidos solúveis totais e a textura da physalis. O efeito benéfico do uso da atmosfera modificada foi evidente nos tratamentos realizados em temperatura mais baixa (5°C).
- O uso de atmosfera modificada associada ao armazenamento a baixa temperatura se mostrou uma técnica adequada para conservação de physalis. De maneira geral, houve diferença significativa quanto ao uso de atmosfera contendo ar e com 10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂ para a conservação das características físico-químicas dos frutos armazenados sob condições de refrigeração. As amostras armazenadas em atmosfera modificada (10% CO₂, 5% O₂ e 85% N₂) apresentaram melhores características de qualidade ao final do período de estocagem.

- Quanto à caracterização da pele da fruta, os resultados mostraram um caráter hidrofóbico para superfície da physalis. Dentre as coberturas comestíveis estudadas, a formulação com 0,5% de emulsificante foi a que apresentou menor tensão superficial e conseqüentemente melhor espalhamento e adesão sobre a superfície da physalis, capaz de formar uma cobertura uniforme e contínua e criar uma barreira física entre a fruta e o ambiente externo. A cobertura comestível apresentou estrutura densa e boa agregação das moléculas, apesar de ter sido identificada a formação de duas fases no filme (fração hidrofóbica e fração hidrofílica). Quanto à avaliação da qualidade da fruta com cobertura comestível, não houve evidência de que o uso de cobertura a base de HPMC/lipídios em physalis tenha retardado as alterações físico-químicas decorrentes do processo de maturação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. **Physical chemistry of surfaces**. 6 ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1997. 808p.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos, RE nº 899 de 29/05/2003.

ALVARADO, P. A.; BERDUGO, C. A.; FISCHER, G. Efecto de un tratamiento de frío (a 1,5°C) y la humedad relativa sobre las características físico-químicas de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el posterior transporte y almacenamiento. **Agronomía Colombiana**, v. 22, n. 2, p. 147-159, 2004.

ALZAMORA, S. M; TAPIA, M. S; LOPÉZ-MALO, A. **Minimally processed fruits and vegetables, Fundamental aspects and applications**. Aspen Publishers, 2000. 358p.

AMARAL, R. D. A. **Utilização de água ozonizada e radiação ultravioleta C na sanitização de melão minimamente processado**. 2010. 83p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

APHA. American Public Health Association. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington, 1992. 1219p.

ARAÚJO, M. A. **Química de Alimentos. Teoria e prática**. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1995. 247p.

ARANGO, Z. T. M.; RODRÍGUEZ, M. C.; CAMPUZANO, O. I. M. Frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo 'Colombia' mínimamente procesados con microorganismos probióticos utilizando la ingeniería de matrices. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 63, n. 1, p. 5395-5407, 2010.

ARES, G.; PARENTELLI, C.; GAMBARO, A.; LAREO, C.; LEMA, P. 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.

ASSIS, O. B. G.; LEONI, A. M. Filmes comestíveis de quitosana. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 30, p. 33-38, 2003.

AOAC. Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis**. 17 ed. Arlington, 2002.

ATTENSION TENSIOMETERS - Biolin Scientific. Disponível em: <<http://www.attension.com/contact-angle.aspx>>. Acesso em 17 de novembro de 2011.

ÁVILA, J. A.; MORENO, P.; FISCHER, G.; MIRANDA, D. Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18°C. **Acta Agronómica** (Colombia), v. 55, n. 4, p. 29-38, 2006.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114p.

BADER, H.; HOIGNÉ, J. Determination of ozone in water by the indigo method. **Water Research**, v. 15, p. 449-456, 1981.

BALDWIN, E. A.; NISPERO-CARRIEDO, M. O.; BAKER, R. A. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. **Horticultural Science**, v. 30, n. 1, p. 35-40, 1995.

BALDWIN, E. A. Surface treatments and edible coating in food preservation. **Handbook of Food Preservation**, 2ª ed., p. 477-507, 1999.

BARBOSA, L. N. **Influência da temperatura na composição gasosa e nos parâmetros físico-químicos e sensoriais de cenoura orgânica (*Daucus carota* L. var. Brasília) minimamente processada**. 2007. 98p. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BARBOSA, L. N.; CARCIOFI, B. A. M.; DANNENHAUER, C. E.; MONTEIRO, A. R. Influence of temperature on the respiration rate of minimally processed organic carrots (*Daucus Carota* L. cv. Brasília). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 78-85, 2011a.

BARBOSA, L. N.; AMBONI, R. D. M. C.; MONTEIRO, A. R. Influence of temperature and edible coating on the physical and chemical parameters and sensory acceptance of fresh-cut organic carrots. **CyTA – Journal of Food**, v. 9, n. 1, p. 31-36, 2011b.

BARCIA, M. T.; JACQUES, A. C.; PERTUZATTI, P. B.; ZAMBIAZI, R. C. Determinação de ácido ascórbico e tocoferóis em frutas por CLAE. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 2, p. 381-390, 2010.

BARBANI, N.; BERTONI, F.; CIARDELLI, G.; CRISTALINNI, C.; SILVESTRI, D.; COLUCCIO, M. L.; GIUSTI, P.; Bioartificial materials based on blends of dextran and poly(vinyl alcohol-co-acrylic acid). **European Polymer Journal**, v. 41, n. 12, p. 3004 -3010, 2005.

BASTOS, M. S. R. Frutas minimamente processadas: aspectos de qualidade e segurança. **Embrapa Agroindústria Tropical**, Documentos, 103, 2006, 59p.

BEAUDRY, R. M.; CAMERON, A. C.; SHIRAZI, A.; DOSTALLANGE, D. L. Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ and CO₂. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 3, p. 436-441, 1992.

BEN-ARIE, R.; FERGUSON, B. Ethylene production by growing and senescing pear fruit cell suspensions in response to gibberellin. **Plant Physiology**, v. 95, n. 3, p.943- 947, 1991.

BERG, J. C. **Wettability - Surfactant Science Series**, v. 49, New York, 1993.

BEUCHAT, L. R. Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. **Microbes and Infections**, v. 4, n. 4, p. 413-323, 2002.

BHANDE, S. D.; RAVINDRA, M. R.; GOSWAMI, T. K. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 87, n. 1, p. 116-123, 2008.

BOLZAN, R. P.; CUQUEL, F. L.; LAVORANTI, O. J. Armazenamento refrigerado de *Physalis*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Volume Especial E, p. 577-583, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância. ANVISA. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/legisl/resol.htm>>. Acesso em 20 de outubro de 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância. ANVISA. Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Regulamento Técnico sobre Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/bps.htm>>. Acesso em 08 de maio de 2013.

BRITO, N. M.; JUNIOR, O. P. A.; POLESE, L.; RIBEIRO, M. L. Validação de métodos analíticos: estratégia e discussão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, p. 129-146, 2003.

BRITTON, G. Structure and properties of carotenoids in relation to function. **The FASEB Journal**, v. 9, n. 15, p. 1551-1558, 1995.

BURKARTER, E. **Construção de imagens por padrões hidrofóbico/hidrofílico**. 2006. 94p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Física do Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CAMERON, A. C.; BOYLAN-PETT, W.; LEE, J. Design of modified atmosphere packaging systems: modeling oxygen concentrations within sealed packages of tomato fruits. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 6, p. 1413-1416, 1989.

CAMERON, A. C.; BEAUDRY, R. M.; BANKS, N. H.; YELANICH, M. V. Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 3, p. 534-539, 1994.

CARNELOSSI, M. A. G.; SILVA, E. O.; CAMPOS, R. S.; PUSCHMANN, R. Respostas fisiológicas de folhas de couve

minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 215-220, 2005.

CARVALHO, V. D. Qualidade e conservação pós-colheita de goiabas. **Informe Agropécuário**, v. 17, n. 179, p. 48-54, 1994.

CARVALHO, L. B. **Produção de polipropileno bi-orientado (BOPP): tecnologia e aplicações**. 2008. 112p. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança, 2008.

CASTRO, A.; RODRIGUEZ, L.; VARGAS, E. Dry gooseberry (*Physalis peruviana* L.) with pretreatment of osmotic dehydration. **Vitae - Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, v. 15, n. 2, p. 226-231, 2008.

CASTRO, R. A.; BLAIR, G. H. G. Evaluación fisicoquímica de la efectividad de un recubrimiento comestible en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana* L. var. Colombia). **Revista Alimentos Hoy**, n. 21, 2010.

CEDEÑO, M. M.; MONTENEGRO, D. M. **Plan exportador, logístico y de comercialización de uchuva al mercado de Estados Unidos para FRUTEXPO S.C.I. Ltda.** 2004. 134p. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2004.

CHAVES, A. C. **Propagação e avaliação fenológica de *Physalis* sp na região de Pelotas-RS**. 2006. 65p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

CHEN, S.; NUSSINOVITCH, A. Permeability and roughness determinations of wax-hydrocolloid coatings, and their limitations in determining citrus overall quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 2, p. 127-37, 2001.

CHIATTONE, P. V.; TORRES, L. M.; ZAMBIAZI, R. C. Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.

CHINAGLIA, C. R.; CORREA, C. A. Análise de falhas em materiais através de técnicas avançadas de microscopia. **Polímeros**, v. 7, n. 3, p. 19-23, 1997.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**, Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CHOI, W.; PARK, H.; ANH, D.; LEE, J.; LEE, C. Wettability of chitosan coating solution on “Fuji” apple skin. **Journal of Food Science**, v. 66, p. 2668–2672, 2002.

CHURCH, N. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. **Trends in Food Science e Technology**, v. 5, p. 345-352, 1994.

CHURCH, I. J.; PARSONS, A. L. Modified atmosphere packaging tecnology: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 67, p. 143-152, 1995.

CLASEN, C.; KULICKE, W. Determination of viscoelastic and rheo-optical material functions of water-soluble cellulose derivatives. **Progress in Polymer Science**, v. 26, p. 1839-1919, 2001.

CONSTABLE, A.; JONAS, D.; COCKBURN, A.; DAVI, A.; EDWARDS, G.; HEPBURN, P.; HEROUET- GUICHENEY, C.; KNOWLES, M.; MOSELEY, B.; OBERDORFER, R.; SAMUELS, F. History of safe use as applied to the safety assessment of novel foods and foods derived from genetically modified organisms. **Food and Chemical Toxicology**, v. 45, p. 2513-2525, 2007.

COSTA, N. H. A. D.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, J. P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 243-249, 2002.

CRUZ, A. G.; CENCI, S. A.; MAIA, M. C. A. Pré-requisitos para implementação do sistema APPCC em uma linha de alface minimamente processada. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 104-109, 2006.

CUNHA, C. R. **Efeito do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento, proteólise e propriedades viscoelásticas de queijo Minas Frescal de reduzido teor de gordura**. 2002. 118p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em

Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

DAS, E.; GÜRAKAN, G. C.; BAYINDIRLI, A. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella Enteritidis* on cherry tomatoes. **Journal Food Microbiology**, v. 23, p. 430–438, 2006.

DASH, K. K.; RAVINDRA, M. R.; GOSWAMI, T. K. Modeling of respiration rate of *sapota* fruit under aerobic conditions. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, p. 528-543. 2007.

DEBEAUFORT, F.; VOILLEY, A. Aroma compound and water vapor permeability of edible films and polymeric packagings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 12, p. 2871-2875, 1994.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J. A.; VOILLEY, A. Edible films and coatings: tomorrow packaging: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, n. 4, p. 299–313, 1998.

DE CAMARGO, R.; FONSECA, H.; FILHO, L. G. P.; ANDRADE, M. O.; CANTARELLI, P. R.; OLIVEIRA, A. J.; GRANER, M.; CARUSO, J. G. B.; NOGUEIRA, J. N.; LIMA, U. A.; MOREIRA, L. S. **Tecnologia dos Produtos Agropecuários - Alimentos**. 1ª ed. São Paulo: Nobel, 1984. 298p.

DEFILIPPI, B. G.; MANRÍQUEZ, D.; LUENGWILAI, K.; GONZÁLEZ-AGÜERO, M. Aroma volatiles: Biosynthesis and mechanisms of modulation during fruit ripening. **Advances in Botanical Research**, v. 50, p. 1-37, 2009.

DE ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Identification and Quantification of Carotenoids by HPLC-PDA-MS/MS from Amazonian Fruits. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p. 5062-5072, 2007.

DIAB, T.; BILIADERIS, C. G.; GERASOPOULOS, D.; SFAKIOTAKIS, E. Physicochemical properties and application of pullulan edibles films and coatings in fruit preservation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 10, p. 988-1000, 2001.

DIAS, A. B. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz**. 2008. 104p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DUTCOSKY, S. D. *Análise sensorial de alimentos*. 2ª ed. Curitiba: Champagnat, 2007.

EL SHEIKHA, A. F.; ZAKI, M. S.; BAKR, A. A.; EL HABASHY, M. M.; MONTET, D. Biochemical and sensory quality of physalis (*Physalis pubescens* L.) juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, n. 3, p. 541–555, 2010.

ERRINGTON, N.; MITCHELL, J. R.; TUCKER, G. A. Changes in the force relaxation and compression responses of tomatoes during ripening: the effect of continual testing and polygalacturonase activity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 11, p. 141-147, 1997.

ESCALONA, V. H.; VERLINDEN, B. E.; GEYSEN, S.; NICOLAI, B. M. Changes in respiration of fresh-cut butter head lettuce under controlled atmospheres using low and super atmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 1, p. 48–55, 2006.

ESPINOSA, K.; BONILLA, M. L.; MUÑOZ, J. E.; POSSO, A. M.; VÁZQUEZ, D. H. Colección, caracterización fenotópica y molecular de poblaciones de uchuva (*Physallis peruviana* L.). **Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 2, n. 1, p. 72-78, 2004.

EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R. W.; LEE, L. Z.; TOUPIN, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 6, p. 1365 - 1370, 1993.

FABER, J. M. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology: a review. **Journal of Food Protection**, v. 54, n. 1, p. 58-70, 1991.

FACCO, E. M. P. **Determinação de compostos funcionais em vinhos e sucos brasileiros**. 2006. 131p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-

Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

FAGUNDES, C. **Estudo cinético do processamento mínimo de maçã (*Malus Domestica B.*) var. Gala: influência da temperatura na taxa respiratória e nos parâmetros físico-químicos e sensoriais.** 2009. 116p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 12, p. 369-375, 2007.

FAN, C.-W.; LEE, S. -C. Effects in surface free energy of sputter-deposited NbN_x films. **Materials Chemistry and Physics**, v. 107, p. 334-338, 2008.

FANTUZZI, E.; PUSCHMANN, R.; VANETTI, M.C.D. Microbiota contaminante em repolho minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 207-211, 2004.

FEINBERG, M. Validation of analytical methods based on accuracy profiles. **Journal of Chromatography A**, v. 1158, p. 174-183, 2007.

FISCHER, G.; MARTÍNEZ, O. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) en relación con la coloración del fruto. **Agronomía Colombiana**, v. 16, n. 1-3, p. 35-39, 1999.

FISCHER, G. Crecimiento y desarrollo. In: FLOREZ, V. J.; FISCHER, G.; SORA, A. **Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana L.*)**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p. 9-26, 2000.

FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 99-119, 2002.

FOWKES, F. M. Determination of interfacial tensions, contact angles, and dispersion forces in surfaces by assuming additivity of intermolecular interactions in surfaces. **Journal Physical Chemical**, v. 66, p. 382, 1962.

FRANCO, L. A.; MATIZ, G. E.; CALLE, J.; PINZÓN, R.; OSPINA, L. F. Actividad antiinflamatoria de extractos y fracciones obtenidas de cálices de *Physalis peruviana* L. **Revista Biomédica**, v. 27, p. 110-115, 2007.

FURLONG, E. B. **Bioquímica: um enfoque para “alimentos”**. Rio Grande: Edgraf; 2000. 173p.

GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. 1ª ed. São Paulo: Nobel, 1984. 283p.

GHANBARZADEH, B.; ALMASI, H.; ENTEZAMI, A. A. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 4, p. 697-702, 2010.

GRAHAM, D. M. Use of ozone for food processing. **Food Technology**, v. 51, n. 6, p. 72-75, 1997.

GREENER, I.; FENNEMA, O. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods. In: Nisperos-Carriedo, M. O. (Ed.), *Edible Coating and Films to Improve Food Quality*, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, USA, p. 1-24. 1994.

GUTIERREZ, M. S.; TRINCHERO, G. D.; CERRI, A. M.; VILELLA, F.; SOZZI, G. O. Different responses of goldenberry fruit treated at four maturity stages with the ethylene antagonist 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 199-205, 2008.

GÜRAKAN, E. D. G. C.; BAYINDIRH, A. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella enteritidis* on cherry tomatoes. **Food Microbiology**, v. 23, p. 430-438, 2005.

HAGENMAIER, R.; BAKER, R. Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 41, p. 283-287, 1993.

HAN, J. H.; GENNADIOS, A. Edible Films and Coatings: A Review. In: HAN, J. H. (Ed.), **Innovations in Food Packaging**, Elsevier Academic Press, Amsterdam, p. 239-262, 2005.

HERNANDEZ-MUÑOZ, P.; ALMENAR, E.; OCIO, M. J., GAVARA, R. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, p. 247-253, 2006.

HSEU, Y. C.; WU, C. R.; CHANG, H. W.; KUMAR, K. J. S.; LIN, M. K.; CHEN, C. S.; CHO, H. J.; HUANG, C. Y.; HUANG, C. Y.; LEE, H. Z.; HSIEH, W. T.; CHUNG, J. G.; WANG, H. M.; YANG, H. L. Inhibitory effects of *Physalis angulata* on tumor metastasis and angiogenesis. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 135, n. 3, p. 762-771, 2011.

ICONTEC. Frutas frescas: Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana, NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá. 1999. 15 p.

INMETRO; Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. DOQ-CGCRE-008: Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos. Brasília, 2003. 35p.

JACANGELO, J.; TRUSSELL, R. International report - water and wastewater disinfection: trends, issues and practices. **Water Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 147-157, 2001.

JACOBSSON, A.; NIELSEN, T.; SJÖHOLM, I.; WENDIN, K. Influence of packaging material and storage condition on the quality of broccoli. **Food Quality and Preference**, v. 15, p. 301-310, 2004.

JACXSENS, L.; DEVLIEGHIERE, F.; DE RUDDER, T.; DEBEVERE, J. Designing equilibrium modified-atmosphere packages for fresh-cut vegetables subjected to changes in temperature. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, v. 33, n. 3, p. 178-187, 2000.

JIANG, Y.; JOYCE, D. C.; MACNISH, A. J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, v.16, p.187-193, 1999.

JOHNSON, R. E.; DETTRE, R. H. Wettability: wetting of low-energy surfaces. New York, Marcel Dekker Inc., 1993.

JUNQUEIRA, A. H.; LUENGO, R. F. A. Mercados diferenciados de hortaliças. **Circular Embrapa**, n. 17, p. 1-7, 1999.

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 40, n. 5, p. 99-104, 1986.

KADER, A. A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E. L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical reviews in Food Science and Nutrition**, v. 28, n. 1, p. 1-30, 1989.

KADER, A. A., WATKINS, C. B. Modified atmosphere packaging-toward 2000 and beyond. **Hort Technology**, v. 10, n. 3, p. 483-486, 2000.

KANG, J. S.; LEE, D. S. A kinetic model for transpiration of fresh produce in a controlled atmosphere. **Journal Food Engineering**, v. 35, p. 65-73, 1998.

KECHINSKI, C. P. **Avaliação do uso de ozônio e de outros tratamentos alternativos para a conservação do mamão papaia (*Carica papaya* L.)**. 2007. 125p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v. 40, n. 12, p. 47-59, 1986.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J. G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001.

KIM, J. G.; YOUSEF, A. E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, v. 62, n. 9, p. 1071-1087, 1999.

KIM, J. G.; YOUSEF, A. E.; KHADRE, M. A. Ozone and its current and future application in the food industry. **Advances in Food Nutrition Research**, v. 45, p. 167-218, 2003.

KONICA MINOLTA. Precise Color Communication: Color control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing, Inc. 3- 91, Daisennishimachi, Sakai. Osaka 590-8551, Japan, 1998.

KROCHTA, J.; MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, p. 61-74, 1997.

KUHNEN, S.; LEMOS, P. M. M.; CAMPESTRINI, L. H.; OGLIARI, J. B.; DIAS, P. F.; MARASCHIN, P. Carotenoid and anthocyanin contents of grains of Brazilian maize landraces. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, p. 1548-1553, 2011.

LANCASTER, J. E.; LISTER, C. E.; READY, P. F.; TRIGGS, C. M. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 122, p. 594-598, 1997.

LANCHERO, O.; VELANDIA, G.; FISCHER, G.; VARELA, N. C.; GARCÍA, H. Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmosfera modificada activa. **Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 8, n. 1, p. 61-68, 2007.

LAROTONDA, F. D. S. **Biodegradable films and coatings obtained from carrageenan from *Mastocarpus stellatus* and starch from *Quercus súber***. 2007. 260p. Thesis (Doctor of Philosophy in Chemical and Biological Engineering), Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, 2007.

LAROTONDA, F. D. S.; GENENA, A. K.; DANTELA, D.; SOARES, H. M.; LAURINDO, J. B.; MOREIRA, R. F. P. M.; FERREIRA, S. R. S. F. Study of banana (*Musa aaa* Cavendish cv Nanica) trigger ripening

for small scale process. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1033-1047, 2008.

LAVELLI, V.; PAGLIARINI, E.; AMBROSOLI, R.; MINATI, J. L.; ZANONI, B. Physicochemical, microbial, and sensory parameters as indices to evaluate the quality of minimally-processed carrots. **Postharvest Biology and Technology**, v. 40, n. 1, p. 34-40, 2006.

LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, M. Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. **Water Science Technology**, v. 40, n. 4-5, p. 201-213, 1999.

LEE, D. S.; SONG, Y.; YAM, K. L. Application of an enzyme kinetics based on respiration model to permeable system experiment of fresh produce. **Journal of Food Engineering**, v. 27, n. 3, p. 297-310, 1996.

LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEÓN, J. Color measurement in L^* a^* b^* units from RGB digital images. **Food Research International**, v. 39, n. 10, p. 1084-1091, 2006.

LICODIEDOFF, S. **Caracterização físico-química e compostos bioativos em *Physalis peruviana* e derivados**. 2012. 119p. Tese de doutorado, Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LIMA, C. S. M.; SEVERO, J.; MANICA-BERTO, R.; SILVA, J. A.; RUFATO, L.; RUFATO, A. R. Características físico-químicas de physalis em diferentes colorações do cálice e sistemas de condução. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1060-1068, 2009.

LI, L.; THANGAMATHESVARAN, P. M.; YUE, C. Y.; TAM, K. C.; HU, X.; LAM, Y. C. Gel network structure of methylcellulose in water. **Langmuir**, v. 17, p. 8062-8068, 2001.

LI, B.; KENNEDY, J. F.; PENG, J. L.; YIE, X.; XIE., B. J.; Preparation and performance evaluation of glucomannan-chitosan-nisin ternary antimicrobial blend film. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, p. 488-494, 2006.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Armazenamento de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. 242p.

LUCAS, E. F.; SOARES, B.G; MONTEIRO, E. **Caracterização de polímeros - Determinação de peso molecular e análise térmica**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2001. 366p.

MACRAE, R. **HPLC: food analyses**. London, Academic Press, 1998. 77p.

MAHAJAN, P. V; GOSWANI, T. K. Enzyme kinetics based modeling of respiration rate of apple. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, n. 4, p. 339-406, 2001.

MAHAJAN, P. V.; OLIVEIRA, F. A. R.; MONTANEZ, J. C.; FRIAS, J. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, n. 1, p. 84-92, 2007.

MAISTRO, L. C. Alface minimamente processada: uma revisão. **Revista Nutrição**, v. 14, n. 3, p. 219-224, 2001.

MAJUMDER, K; MAZUMDAR, B. C. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. **Scientia Horticulturae**, v. 96, n. 1-4, p. 91-101, 2002.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, n. 2, p. 129-135, 2004.

MARÍN, Z. **Viabilidad de desarrollo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesada enriquecida con microorganismos probióticos a partir de la Ingeniería de Matrices**. 2009. 152p. Maestría em Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, 2009.

MARÍN, A. Z. T.; CORTÉS, R. M.; MONTOYA, C. O. I. Evaluación sensorial de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo colombiana impregnada con la cepa nativa *Lactobacillus plantarum* LPBM10 y la cepa comercial *Lactobacillus casei* ATCC 393. **Vitae - Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, v. 17, n. 1, p. 21-28, 2010.

MÁRQUEZ, C. J.; TRILLOS, O.; CARTAGENA, J. R.; COTES J. M. Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). **VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, v. 16, n. 1, p. 42-48, 2009.

MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R.; BALDWIN, E. A. Conservación mediante recubrimientos comestibles. In: GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; GARDEA, A. A.; CUAMEA-NAVARRO. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados, Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A. C. Hermosillo, Sonora, México, p. 61-74. 2005.

MATHOOKO, F. M. Regulation of respiration metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, p. 247-64, 1996.

MAYORGA, H.; DUQUE, C.; KNAPP, H.; WINTERHALTER, P. Hydroxyester disaccharides from fruits of cape gooseberry (*Physalis peruviana*). **Phytochemistry**, v. 59, p. 439-445, 2002.

MCMILLIN, K. W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. **Meat Science**, v. 80, p. 43-65, 2008.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, T. B. Sensory evaluation techniques, Boca Raton: CRC Press, 1999.

MEJÍA, M. B. **Conservación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en atmósferas modificadas**. 1997. 132p. Tesis de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1997.

MENDEIETA-TABOADA, O.; CARVALHO, R. A.; SOBRAL, P. J. A. Análise dinâmico-mecânica: aplicações em filmes comestíveis. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 384-393, 2008.

MORAES, K. S.; ZAVAREZE, E. R.; MIRANDA, M. Z.; SALAS-MELLADO, M. M. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo *cookie* com variações nos teores de lipídio e de açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 233-242, 2010.

MORAES, K. S.; FAGUNDES, C.; MELO, M. C.; ANDREANI, P.; MONTEIRO, A. R. Conservation of *Williams* pear using edible coating with alginate and carrageenan. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 4, p. 1-6, 2012.

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. **Análise térmica de materiais**. Editora: São Paulo. 2002. 300p.

MÜLLER, C. M. O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 1, p. 82- 87, 2008.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Effect of cellulose fibers on the crystallinity and mechanical properties of starch-based films at different relative humidity values. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, p. 293-299, 2009.

NAVARRO-TARAZAGA, M. L.; PÉREZ-GAGO, M. B.; GOODNER, K.; PLOTTO, A. A new composite coating containing HPMC, beeswax, and shellac for 'Valencia' oranges and 'Marisol' tangerines. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 120, n. 1-7, 2007.

NI, L.; LIN, D.; BARRETT, D. M. Pectin methylesterase catalyzed firming effects on low temperature blanched vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 546-556, 2005.

NIELSEN, T.; LEUFVÉN, A. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. **Food Chemistry**, v. 107, p. 1053–1063, 2008.

NOVOA, R. H.; BOJACÁ, M.; GALVIS, J. A.; FISCHER, G. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12°C (*Physalis peruviana* L.). **Agronomía Colombiana**, v. 24, n. 1, p. 77-86, 2006.

OLIVEIRA, L. M. **Requisitos de proteção de produtos em embalagens plásticas rígidas**. Campinas: CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagens, 2006. 328p.

ORDÓÑEZ P. J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. v. 1. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

OWENS, D. K.; WENDT, R. C. Estimation of the surface free energy of polymers. **Journal Application of Polymers Science**, v. 13, p. 1741, 1969.

PADULA, M. L. **Influência de diferentes tipos de embalagem em Brócolis (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) orgânicos minimamente processados**. 2006. 64p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PAES, S. S. **Estudo da impregnação a vácuo de maçãs (var. Gala)**. 2005. 86p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PAES, S. S.; STRINGARI, G. B.; LAURINDO, J. B. Effect of vacuum impregnation temperature on the mechanical properties and osmotic dehydration parameters of apples. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p.799-806, 2008.

PARISH, M. E.; BEUCHAT, L. R.; SUSLOW, T. V.; HARRIS, L. J.; GARRET, E. H.; FARBER, J. N.; BUSTA, F. F. Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh cut produce. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, p. 161-173, 2003.

PATEL, P. R.; GOL, N. B.; RAO, T. V. R. Physiochemical changes in sunberry (*Physalis minima* L.) fruit during growth and ripening. **Fruits**, v. 66, n. 1, p. 37-46, 2011.

PELEG, M. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. **Journal of Rheology**, v. 24, p. 451-463, 1980.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1216-1217. 1988.

PEPPELENBOS, H. W.; LEVEN, J. V. Evaluation of four types of inhibition for modeling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 7, p. 27-40, 1996.

PEREIRA, T.; CARLOS, L. A.; OLIVEIRA, J. G.; MONTEIRO, A. R. Características físicas e químicas de goiaba cv. Cortibel (*Psidium guajava*) estocadas sob refrigeração em filmes X-Tend. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 11-16, 2005.

PEREIRA, B. Frutas finas. **Revista Frutas e Derivados - IBRAF**, 5ª ed., São Paulo, p. 14 -18, 2007.

PÉREZ, A. G.; SANZ, C.; RÍOS, J. J.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J. M. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 4, p. 1652-1656, 1999.

PÉREZ-GAGO, M. B.; ROJAS, C.; DEL RÍO, M. A. Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of mandarins cv. Fortune. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 8, p. 2903-2910, 2002.

PEREZ-GAGO, M. B.; ROJAS, C.; DEL RÍO, M. A. Effect of hydroxypropyl methylcellulose– lipid edible composite coatings on plum (cv. *Autumn giant*) quality during storage. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 3, p. 879-883, 2003.

PEREZ-GAGO, M. B.; SERRA, M.; ALONSO, M.; MATEOS, M.; DEL RÍO, M. A. Effect of whey protein- and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 36, n. 1, p. 77–85, 2005.

PÉREZ-GAGO, M. B.; DEL RÍO, M. A.; ROJAS-ARGUDO, C. Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. **Horticultura**, v. 207, p. 54-57, 2008.

PHILLIPS, C. A. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 31, n. 6, p. 463-479, 1996.

PIERGIOVANNI, L.; FAVA, P.; CERIANI, S. A simplified procedure to determine the respiration rate of minimally processed vegetables in flexible permeable packaging. **Italian Journal of Food Science**, v. 11, n. 2, p. 99–110, 1999.

PILON, L. **Estabelecimento da vida útil de hortaliças minimamente processadas sob atmosfera e refrigeração**. 2003. 111p. Dissertação Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, ESALQ, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PINTO, M. F. F. V. L. **Gelificação de polímeros derivados da celulose**. 2007. 76p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Química, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2007.

PRESTES, E. B. **Avaliação da eficiência do ozônio como sanitizante em hortaliças folhosas minimamente processadas**. 2007. 135p. Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PUENTE, L. A.; PINTO-MUÑOZ, C. A.; CASTRO, E. S.; CORTÉS, M. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1733-1740, 2011.

QUENTAL, A. C.; HANAMOTO, L. S.; FELISBERTI, M. I. Caracterização de polietilenos lineares de baixa densidade II. Fracionamento por cristalização isotérmica a partir do estado fundido. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 4, p. 281-288, 2005.

RAGHAVAN, G. S. V.; RAMACHANDRA, M.; RATTI, C.; GARIÉPY, Y. Broccoli respiration rate modeling at varying gas compositions and different temperatures. **Proceedings of International Conference and Agricultural Engineering**, p. 25-30, 1999.

RAKNESS, K. L.; WERT, E. C.; ELOVITZ, M.; MAHONEY, S. Operator-friendly technique and quality control considerations for indigo colorimetric measurement of ozone residual. **Ozone: Science & Engineering**, v. 32, n. 1, p. 33-42, 2010.

RAMADAN, M. F.; MÖRSEL, J. T. Oil goldenberry (*Physalis peruviana* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 4, p. 969–974, 2003.

RAMADAN, M. F. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1830-1836, 2011.

RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. R.; MÁRQUEZ, C. J. Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. **Vitae - Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, v. 16, n. 1, p. 19-30, 2009.

RHIM, J.W.; SHELLHAMMER, T. H. Lipid-based edible films and coatings. In: HAN, J. H. (Ed.), **Innovations in Food Packaging**, Elsevier Academic Press, Amsterdam, p. 362-383, 2005.

RIBEIRO, C.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A.; MIRANDA, C. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v. 44, n. 1, p. 63–70, 2007.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. Validation for chromatographic and electrophoretic methods. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

RICHTER, C. P.; CAMPBELL, K. H. Sucrose taste thresholds of rats and humans. **American Journal of Physiology**, v. 128, p. 291-297, 1940.

ROCKENBACH, I. I.; RODRIGUES, E.; CATANEO, C.; GONZAGA, L. V.; LIMA, A.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Ácidos fenólicos e atividade antioxidante em fruto de *Physalis peruviana* L. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 271-276, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, n. 3, p. 38S-48S, 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. **A Guide to Carotenoids Analysis in Food**. Washington: International Life Sciences Institute Press, 2001. 64p.

ROJAS-ARGUDO, C.; DEL RÍO, M. A.; PÉREZ-GAGO, M. B. Development and optimization of locust bean gum (LBG)-based edible coatings for postharvest storage of “Fortune” mandarins. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, n. 2, p. 227-234, 2009.

ROJAS-GRAÜ, M. A. **Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación**. 2006, 76p. Tesis Doctoral, Universidade de Lleida, Espanha, 2006.

ROJAS-GRAÜ, M. A.; RAYBAUDI-MASSILIA, R. M.; SOLIVA-FORTUNY, R.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; MCHUGH, T. H.; MARTÍN-BELLOSO, O. Apple puree-alginate coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf life of fresh-cut apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 2, p. 254–264, 2007.

ROTTA, J. **Propriedades físico-químicas de soluções formadoras e de filmes de quitosana e hidroxipropilmetilcelulose**. 2008. 128p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ROTTA, J.; OZÓRIO, R. A.; KEHRWALD, A. M.; BARRA, G. M. O.; AMBONI, R. D. M. C.; BARRETO, P. L. M. Parameters of color, transparency, water solubility, wettability and surface free energy of chitosan/hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) films plasticized with sorbitol. **Materials Science and Engineering: C**, v. 29, n. 2, p. 619–623, 2009.

RUFATO, L.; RUFATO, A. R.; SCHELEMPER, C.; LIMA, C. S. M.; KRETZSCHMAR, A. A. A. **Aspectos técnicos da cultura da physalis**. Lages: CAV/UEDESC; Pelotas: UFPel, 2008. 100p.

SALUNKHE, D. K.; BOUN, H. R.; REDDY, N. R. Storage processing and nutritional quality of fruits and vegetables. **Fresh fruits and vegetables**, v. 1, CRC, Boca Raton, 1991.

SALUNKHE, D. K.; DESAI, B. B. Small fruits-berries. **Postharvest biotechnology of fruits**. v. 1, CRC, Boca Raton, 1984.

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

SANCHES, P. R. **Avaliação das propriedades do polietileno de alta densidade produzido com catalisador Ziegler-Natta submetido à extrusão reativa com peróxidos orgânicos**. 2002. 92p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SANTOS, T. B. A.; SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; PEREIRA, J. L. Microrganismos indicadores em frutas e hortaliças minimamente processadas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 2, p. 141-146, 2010.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Investigations on the respiration and the ethylene production of some new apple cultivars. **Erwerbsobstbau**, v. 42, n. 4, p. 109-112, 2000.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis - principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. 267p.

SCHERER, R.; RYBKA, A. C. P.; GODOY, H. T. Determinação simultânea dos ácidos orgânicos tartárico, málico, ascórbico e cítrico em polpas de acerola, açaí e caju e avaliação da estabilidade em sucos de caju. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1137-1140, 2008.

SEVERO, J.; LIMA, C. S. M.; COELHO, M. T.; RUFATTO, A. D. R.; ROMBALDI, C. V.; SILVA, J. A. Atividade antioxidante e fitoquímicos em frutos de physalis (*Physalis peruviana*, L.) durante o amadurecimento e o armazenamento. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 16, n. 1-4, p. 77-82, 2010.

SHAROBA, A. M.; RAMADAN, M. F. Rheological behavior and physicochemical characteristics of goldenberry (*Physalis peruviana* L.)

juice as affected by enzymatic treatment. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 2, p. 201-219, 2011.

SILVA, W. A.; PEREIRA, J.; CARVALHO, C. W. P.; FERRUA, F. Q. Determinação da cor, imagem superficial, topografia e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 154-163, 2007.

SILVA, S. B.; LUVIELMO, M. M.; GEYER, M. C.; PRÁ, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 659-682, 2011.

SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura sobre certas propriedades de biofilmes à base de proteínas miofibrilares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000.

SONG, Y.; VORSA, N.; YAM, K. L. Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 2, p. 103-109, 2002.

SOUZA, E. C.; VILAS BOAS, E. V. B.; VILAS BOAS, B. M.; RODRIGUEZ, L. J.; PAULA, N. R. F. Qualidade e vida útil de pequi minimamente processado armazenado sob atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1811-1817, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TANG, C. H.; JIANG, Y.; WEN, Q. B.; YANG, X. Q. Effect of transglutaminase treatment on the properties of cast films of soy protein isolates. **Journal of Biotechnology**, v. 120, n. 3, p. 296-307, 2005.

TANG, X.; ALAVI, S.; HERALD, T. J. Effects of plasticizers on the structure and properties of starch-clay nanocomposite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 3, p. 552-558, 2008.

THEOLOGIS, A.; ZAREMBINSKI, T. I.; OELLER, P. W.; LIANG, X.; ABEL, S. Modification of fruit ripening by suppressing gene expression. **Plant Physiology**, v. 100, n. 2, p. 549-551, 1992.

TREZZA, T. A.; KROCHTA, J. M. The gloss of edible coatings as affected by surfactants, lipids, relative humidity, and time. **Journal of Food Science**, vol. 65, n. 4, p. 658-662, 2000.

TOMASSINI, T. C. B.; BARBI, N. S.; RIBEIRO, I. M.; XAVIER, D. C. D. Gênero *Physalis* - uma revisão sobre vitaesteróides. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 47-57, 2000.

TORRIERI, E.; CAVELLA, S.; MASI, P. Modelling the respiration rate of fresh-cut Annurca apples to develop modified atmosphere packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 890-899, 2009.

TRINCHERO, G. D.; SOZZI, G. O.; CERRI, A. M.; VILELLA, F.; FRASCHINA, A. A. Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell-wall enzyme activity in goldenberry (*Physalis peruviana* L.), a solanaceous species. **Postharvest Biology and Technology**, v. 16, n. 2, p. 139-145, 1999.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. 1999. Disponível em: <http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf>. Acesso em 15 de outubro de 2011.

VALENCIA-CHAMORRO, S. A.; PÉREZ-GAGO, M. B.; DEL RÍO, M. A.; PALOU, L. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored 'Valencia' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, v. 54, n. 2, p. 72-79, 2009.

VALENCIA-CHAMORRO, S. A.; PEREZ-GAGO, M. B.; DEL RÍO, M. A.; PALOU, L. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite coatings on penicillium decay development and postharvest quality of cold-stored "Ortanique" mandarins. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 8, p. S418-S426, 2010.

VALENCIA-CHAMORRO, S. A.; PALOU, L.; DEL RÍO, M. A.; PÉREZ-GAGO, M. B. Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of 'Clemenules' mandarins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 2342-2348, 2011.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 816–823, 2008.

VALENTE, A.; ALBUQUERQUE, T. G.; SANCHES-SILVA, A.; COSTA, H. S. Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2237-2242, 2011.

VALDENEGRO, M.; FUENTES, L.; HERRERA, R.; MOYA-LEÓN, M. A. Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 67, p. 110–117, 2012.

VELASQUEZ, H. J. C.; GIRALDO, O. H. B.; ARANGO, S. A. P. Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). **Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín**, v. 60, n. 1, p. 3785-3796, 2007.

VELÁSQUEZ, H. J. C.; SARAZ, J. A. O. Avance experimental de la ingeniería de postcosecha de frutas colombianas: resistencia mecánica para frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). **Dyna**, v. 75, n. 154, p. 39-46, 2008.

VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis á base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita**. 2003. 62f. Tese de Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003.

VILLATORO, C.; ALTISENT, R.; ECHEVERRÍA, G.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M. L.; LARA, I. Changes in biosynthesis of aroma volatile compounds during on-tree maturation of ‘Pink Lady’ apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p. 286–295, 2008.

VU, T. S.; SMOUT, C.; SILA, D. N.; LYNGUYEN, B.; VAN LOEY, A. M. L.; HENDRICKX, M. E. G. Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, n. 1, p.37–44, 2004.

WATKINS, K. L.; SHRYOCK, T. R.; DEARTH, R. N.; SAIF, Y. M. In-vitro susceptibility of *Clostridium perfringens* from commercial turkey and broiler chicken origin. **Veterinary Microbiology**, v. 54, n. 2, p.195-200, 1997.

WILEY, R. C. **Frutas y hortalizas minimamente processadas y refrigeradas**. Zaragoza: Acribia, 1997, 362p.

ZANELLA R.; PRIMEL E. G.; GONÇALVES, F. F.; MARTINS, A. F. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic method for the determination of clomazone residues in surface water. **Journal of Chromatography A**, v. 904, n. 2, p. 257-262, 2000.

ZHANG, M.; XIAO, G.; SALOKHE, V. M. Preservation of strawberries by modified atmosphere packages with other treatments. **Packaging Technology and Science**, v. 19, n. 4, p. 183-191, 2006.