

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO FEIJÃO CARIOCA SOB ARMAZENAMENTO EM
ATMOSFERA CONTROLADA

TÁBATA ZINGANO BISCHOFF SOARES

CASCAVEL - PR
FEVEREIRO - 2019

TÁBATA ZINGANO BISCHOFF SOARES

**MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO FEIJÃO CARIOCA SOB ARMAZENAMENTO EM
ATMOSFERA CONTROLADA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento aos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Agroindustriais - Nível Doutorado, para obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Dra. Silvia Renata Machado Coelho
Coorientador: Dr. Josuel Alfredo Vilela Pinto

CASCADEL - PR

FEVEREIRO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Soares, Tábata Zingano Bischoff
Manutenção da qualidade do feijão carioca sob
armazenamento em atmosfera controlada : - / Tábata Zingano
Bischoff Soares; orientador(a), Sílvia Renata Machado
Coelho; coorientador(a), Josuel Alfredo Vilela Pinto,
2019.
83 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, 2019.

1. Phaseolus vulgaris L., . 2. Semente. 3. Temperatura.
4. Shelf life. I. Coelho, Sílvia Renata Machado. II.
Pinto, Josuel Alfredo Vilela. III. Título.

TÁBATA ZINGANO BISCHOFF SOARES

“Manutenção da qualidade do feijão carioca sob armazenamento em atmosfera controlada”

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof^a. Dra. Silvia Renata Machado Coelho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel.

Coorientador: Prof. Dr. Josuel Alfredo Vilela Pinto
Universidade Federal da Fronteira Sul – *Campus* de Laranjeiras do Sul.

Prof^a. Dra. Vanderleia Schoeninger
Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^o. Dr. Divair Christ
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel.

Profa. Dra. Luciana Bill Mikito Kottwitz
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Cascavel.

Cascavel, 11 de Fevereiro de 2019

BIOGRAFIA

Tábata Zingano Bischoff Soares concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE em dezembro de 2012. Durante a graduação desenvolveu atividades de pesquisa, participando de projeto de iniciação científica - balcão/CNPq, nesta universidade, cujo título do trabalho foi: *A influência do uso de água residuária no aparecimento de Acanthoscelides obtectus (caruncho) no cultivo de Phaseolus vulgaris L. (feijão comum)*.

Em fevereiro de 2015, concluiu o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unioeste, na área de Engenharia de Sistemas Biológicos Agroindustriais, na linha de pesquisa da Pós-Colheita, sob orientação da Prof^a. Dra. Silvia Renata Machado Coelho, com o seguinte título da dissertação: *Qualidade tecnológica do óleo de soja obtido de grãos armazenados em condições ambientais controladas*.

Em fevereiro de 2015, ingressou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unioeste, sob a orientação da Professora Doutora Silvia Renata Machado Coelho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e disponibilidade de sua estrutura para que fosse possível a realização do curso e o aprimoramento do meu conhecimento profissional.

À Universidade da Fronteira Sul, por ter cedido os laboratórios e as pessoas, para que fosse possível realizar a parte experimental desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, pela concessão de bolsa, durante a realização dos estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Composição nutricional e utilização.....	5
3.2 Armazenamento	6
3.3 Fatores que afetam o armazenamento	6
3.4 Respiração	8
3.5 Concentração de gases (O ₂ e CO ₂)	9
3.6 Atmosfera controlada.....	10
REFERÊNCIAS	12
ARTIGO 1 – QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DO FEIJÃO CARIOCA SOB ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA CONTROLADA.....	16
1 INTRODUÇÃO	17
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.1 Armazenamento das sementes e condições experimentais.....	18
2.2 Análise da qualidade fisiológica	20
2.3 Análise estatística.....	22
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4 CONCLUSÕES	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
REFERÊNCIAS	32

ARTIGO 2 – QUALIDADE TECNOLÓGICA DO FEIJÃO CARIOCA SUBMETIDO À	
ATMOSFERA CONTROLADA.....	
	36
1	INTRODUÇÃO
	37
2	MATERIAL E MÉTODOS.....
	39
2.1	Armazenamento dos grãos e condições experimentais
	39
2.2	Determinações da qualidade tecnológica dos grãos de feijão.....
	41
2.3	Taxa de respiração
	41
2.4	Propriedades mecânicas dos grãos de feijão.....
	42
2.5	Característica química dos grãos de feijão
	43
2.6	Atividade enzimática dos grãos de feijão
	44
2.7	Análise estatística.....
	44
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....
	45
4	CONCLUSÕES
	57
REFERÊNCIAS.....	
	58
APÊNDICE	
	65
APÊNDICE A Comparação de médias de grãos e sementes de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada, avaliados em diferentes períodos: antes de ser armazenado (controle), logo após sair do armazenamento em atmosfera controlada (pós-armazenamento), após sete dias fora do armazenamento em atmosfera controlada (shelf life)	
	58

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1	Esquema de armazenamento e controle dos gases.	19
Figura 2	Médias dos parâmetros fisiológicos avaliados em sementes de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e <i>shelf life</i>), armazenadas a 20 °C em condições controladas.	23
Figura 3	Gráficos biplot de distribuição dos scores das análises e vetores das variáveis entre os componentes principais CP1 e CP2.	30

ARTIGO 2

Figura 1	Esquema de armazenamento e controle dos gases.	40
Figura 2	Taxa respiratória dos grãos de feijão armazenados por 180 dias, imediatamente após a abertura das câmaras de armazenamento.	45
Figura 3	Médias dos parâmetros físico-químicos avaliados em grãos de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e <i>shelf life</i>), armazenados a 20 °C em condições controladas.	47
Figura 4	Médias dos parâmetros de cor dos grãos de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e <i>shelf life</i>), armazenados a 20 °C em condições controladas.	50
Figura 5	Médias da capacidade antioxidante, tanino, textura e atividade da peroxidase dos grãos de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e <i>shelf life</i>), armazenados a 20 °C em condições controladas.	53

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Pressões parciais de gases (O_2 mais CO_2) da atmosfera controlada e umidade relativa do ar, dos tratamentos propostos à temperatura de 20 °C 20
Tabela 2	Coefficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis: germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), comprimento médio de raiz (CR), comprimento médio da parte aérea (CPA), tetrazólio (TZ), índice de velocidade de emergência (IVE), teor de água (TA), das sementes de feijões carioca, armazenadas em diferentes pressões de CO_2 , em umidade relativa ambiente e em $70\pm 10\%$ 29

ARTIGO 2

Tabela 1	Pressões parciais de gases (O_2 mais CO_2) da atmosfera controlada e umidade relativa do ar, dos tratamentos propostos à temperatura de 20 °C 40
-----------------	--

MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO FEIJÃO CARIOCA SOB ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA CONTROLADA

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa importante, principalmente para países em desenvolvimento, por apresentar alto valor nutricional, devido ao conteúdo de proteínas, carboidratos, minerais, como ferro, potássio e vitaminas. Para que a qualidade fisiológica das sementes de feijão e a qualidade tecnológica nos grãos de feijão sejam mantidas por períodos prolongados é necessária a utilização de técnicas adequadas e condições controladas no armazenamento, nas quais o teor de água do produto, umidade relativa do ar, temperatura e a pressão parcial dos gases de armazenamento são os parâmetros críticos e indispensáveis que podem alterar tais características. Neste contexto, o uso de atmosfera modificada com baixa pressão parcial de oxigênio e alta pressão parcial de gás carbônico pode ser uma alternativa para prolongar a qualidade do produto. Devido à necessidade de pesquisas que envolvam a atmosfera controlada em torno de sementes e grãos de feijão, objetivou-se na primeira parte deste trabalho (Artigo 1) avaliar as principais alterações da qualidade das sementes de feijão. Para avaliar tais alterações, realizaram-se análises de teor de água, porcentagem de germinação, envelhecimento acelerado, índice de velocidade de emergência, tamanho de plântulas e tetrazólio. Na sequência (Artigo 2), apresentam-se os resultados referentes à qualidade tecnológica dos grãos de feijão com os parâmetros relativos ao teor de água, respiração, cor, capacidade de hidratação, tempo de cozimento, textura, sólidos solúveis totais, acidez titulável, taninos, capacidade antioxidante e atividade da peroxidase. O armazenamento se deu na temperatura de 20 °C, com diferentes pressões parciais de gás carbônico (3, 6 e 9 kPa) a taxa fixa de oxigênio (1,5 kPa), em diferentes ambientes, em umidade relativa ambiente e em umidade relativa 70±10% do ar. As análises se deram quando o produto chegou ao laboratório (controle), logo após o armazenamento e após 7 dias ao armazenamento (*shelf life*). O armazenamento das sementes e dos grãos foi por um período de 6 meses em câmaras de polietileno fechadas hermeticamente. Para que atingisse a concentração de gases desejada, as pressões parciais dos gases foram obtidas mediante a diluição do O₂ no ambiente de armazenamento com injeção de N₂ e posterior injeção de CO₂, provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível pré-estabelecido no tratamento. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial completo, com 4 repetições para cada tratamento. Utilizou-se o teste à análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias, Tukey, conduzidos em nível de 5% de significância. Após estas análises, apenas para os testes com sementes, submeteram-se os resultados à análise multivariada pela correlação linear de Pearson. O armazenamento sob atmosfera controlada, em alta pressão parcial de CO₂ (9 kPa) influenciou positivamente as sementes, conservando a integridade das membranas celulares, permitindo que permanecessem com alto poder de germinação e vigor. Tal informação pode ser comprovada pelo alto índice de germinação (98,26%), comprimento médio da parte aérea (12,61 cm) e também, tetrazólio (97%). O armazenamento dos grãos de feijão com alta pressão parcial de CO₂ foi importante na conservação da qualidade, mantendo as características do produto ao longo de 180 dias. Quando os grãos foram armazenados com pressão parcial de 9 kPa de CO₂, houve redução na respiração, reduzindo a deterioração. Assim, houve redução no tempo de cozimento de 29,14 para 22,60 minutos e melhor hidratação, aumento de a* e redução de b* (9,18 para 8,93), aumento de L* (54,59) que representa maior claridade no tegumento, sob umidade relativa 70±10% e no *shelf life* a textura ficou nos mesmos patamares, aumento da capacidade antioxidante no pós-armazenamento (2,55) e redução de taninos no *shelf life* (171,34) e, a peroxidase se manteve baixa (654,94).

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., semente, temperatura, *shelf life*.

CARIOCA BEAN QUALITY MAINTENANCE UNDER CONTROLLED ATMOSPHERE STORAGE

ABSTRACT

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is an important legume, especially for developing countries, due to its high nutritional values of proteins, carbohydrates, minerals such as iron, potassium, and vitamins. In order to maintain the physiological quality of the bean seeds and the technological quality in the bean grains for prolonged periods, it is necessary to employ suitable techniques and controlled conditions in storage, in which water content of the product, relative humidity of the air, temperature, and partial pressure of the storage gases are the critical and indispensable parameters that can influence such characteristics. In this context, the use of modified atmosphere with low partial pressure of oxygen and high partial pressure of carbon dioxide can be an alternative to prolong the quality of the product. Due to the need for research investigating controlled atmosphere for seeds and bean grains, the first part of this work (Article 1) aimed at evaluating the main changes in the quality of bean seeds. In order to evaluate such alterations, analyses were carried out concerning water content, germination percentage, accelerated aging, emergence velocity index, seedling size, and tetrazolium. Following this study (Article 2), results were presented on to the technological quality of the bean grains, investigating parameters of water content, respiration, color, hydration capacity, cooking time, texture, total soluble solids, titratable acidity, tannins, antioxidant capacity, and peroxidase activity. The storage occurred at a temperature of 20 °C, with different partial pressures of carbon dioxide (3, 6 and 9 kPa) at a fixed oxygen rate (1.5 kPa), in different environments, ambient relative humidity and relative humidity 70±10% of the air. The analyzes were performed when the product arrived at the laboratory (control), immediately after storage and after 7 days of storage (shelf life). The storage of seeds and grains was carried out for 6 months in hermetically sealed polyethylene chambers. In order to achieve the desired gas concentration, the partial gas pressures were obtained by diluting the O₂ in the storage environment with N₂ injection and subsequent injection of CO₂ from high pressure cylinders until reaching the pre-set level in the treatment. The experiment was conducted in a completely randomized complete factorial design, with 4 replicates for each treatment. Both ANOVA and Tukey tests were performed at the 5% level of significance, for analysis of variance and comparison of means, respectively. After such analyzes, only for the seed testing, the results were subjected to multivariate analysis by Pearson's linear correlation. Storage under controlled atmosphere, at high partial pressure of CO₂ (9 kPa) influenced the seeds positively, preserving the integrity of the cell membranes, allowing them to remain with high germination and vigor. This information is confirmed by the high germination index (98.26%), average shoot length (12.61 cm), and tetrazolium (97%) levels presented. The storage of beans with high partial pressure of CO₂ was important for the preservation of quality, maintaining the characteristics of the product for 180 days. When the grains were stored with partial pressure of 9 kPa of CO₂, there was reduction in respiration, reducing deterioration. Therefore, there was a reduction in cooking time of 29.14 to 22.60 minutes and better hydration, increase in a* and reduction of b* (9.18 to 8.93), increase in L* (54.59), which represents greater clarity in the integument, under relative humidity 70±10%, and in shelf life the texture remained at the same levels, with increased antioxidant capacity post storage (2.55), reduction of shelf life tannins (171.34), and peroxidase activity remained low (654.94).

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., seed, temperature, shelf life.

1 INTRODUÇÃO

O feijão é fonte de energia e nutrientes na dieta humana, principalmente para a população mais carente, pois substitui a fonte de proteína mais cara (carne) pela fonte de proteína mais barata (feijão). Possui variação de 17-34% de proteínas, que inclui as proteínas metabólicas, estruturais e de armazenamento. Com o aumento da produtividade agrícola, há necessidade de aprimoramento das condições de armazenamento da produção. Armazenar por longo período de tempo demanda cuidados, manejo e monitoramento de sementes e grãos, pois eles estão sujeitos a ataques de insetos, ácaros, microrganismos, roedores, pássaros e de outros animais, além de danos mecânicos, alterações bioquímicas e químicas não enzimáticas, desde antes do armazenamento. Desse modo, a qualidade durante o armazenamento deve ser preservada ao máximo, pois a velocidade e a intensidade dessas alterações dependem da qualidade intrínseca do produto agrícola, do sistema de armazenagem utilizado e dos fatores ambientais durante a estocagem.

Os fatores indesejáveis provocam perdas quantitativas e qualitativas pelo consumo de reservas e por modificações na composição química dos grãos, redução do valor nutritivo e desenvolvimento de substâncias tóxicas, com diminuição do valor comercial. No caso do feijão para consumo, a perda qualitativa pode ser na aparência e no sabor. Quando se trata das sementes, esta perda é da capacidade de germinar e produzir uma planta vigorosa e sadia. Para o consumidor, a aceitabilidade é fator determinante, pois em condições inadequadas de armazenamento desenvolvem-se defeitos como *hard-to-cook*, endurecimento dos cotilédones, refletindo na textura, aumentando o tempo da hidratação, tempo de cozimento e o escurecimento do tegumento dos grãos, entre outros.

O armazenamento de produtos agrícolas tem a intenção de guardar e conservar produtos. No entanto, perdas podem ocorrer durante a permanência dos grãos nos armazéns, ocasionados pela temperatura (acima de 25 °C), teor de água (acima de 13%), pressão parcial de gases ou pela respiração da massa de grãos, dentre outros fatores. Mesmo nas melhores condições de armazenamento, a qualidade não pode ser melhorada, apenas mantida e, uma vez perdida a qualidade, não se pode recuperá-la. Mesmo depois de colhidos, os grãos necessitam respirar, podendo gerar aquecimento na massa, aumentando temperatura e teor de água, tornando maior o risco de deterioração e afetando a manutenção da qualidade durante o armazenamento. As reações químicas envolvidas no processo respiratório são controladas por enzimas e o aumento do teor de água dos grãos favorece a atividade biológica, pois as enzimas são mais facilmente mobilizadas para o

processo. Quanto maior a temperatura, maior será a atividade respiratória dos grãos, aumentando a deterioração.

No entanto, quando o armazenamento é feito em condições ideais, com diminuição da temperatura e teor de água, juntamente com a diminuição das pressões parciais de O_2 e aumento de CO_2 , os grãos conseguem manter sua qualidade por período prolongado.

A atmosfera controlada é uma técnica utilizada no armazenamento de produtos, em que se pode fazer o controle de gases, reduzir temperatura e alterar a umidade relativa do ar em ambientes herméticos para evitar a entrada de ar, que aumenta os níveis de oxigênio, e saída do gás carbônico. O armazenamento em atmosfera controlada tem como maior objetivo a conservação da qualidade de produtos, fazendo com que a vida útil seja aumentada. Deste modo, os níveis de oxigênio são reduzidos e do gás carbônico aumentado, alterando a taxa respiratória, fazendo com que grãos e sementes respirem menos, mantendo a qualidade tecnológica, física, química, mecânica e fisiológica e, alterando a taxa da atividade de enzimas. As enzimas que utilizam o oxigênio molecular na cadeia transportadora de elétrons e, quanto mais oxigênio, maior a atividade enzimática, causando maior deterioração dos produtos armazenados.

Desta forma, buscando maior conhecimento no âmbito do armazenamento de feijões sob atmosfera controlada, nesta pesquisa foram avaliadas as alterações da qualidade das sementes e dos grãos de feijão, a $20\text{ }^\circ\text{C}$, em diferentes pressões parciais de gás carbônico (3, 6 e 9 kPa), na taxa fixa de oxigênio (1,5 kPa), em umidade relativa ambiente do ar ($55\pm 10\%$) e $70\pm 10\%$.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar as alterações de qualidade das sementes e dos grãos de feijão, após o armazenamento, na temperatura de 20 °C, em diferentes pressões parciais de gás carbônico (3, 6 e 9 kPa), na taxa fixa de oxigênio (1,5 kPa), em umidade relativa do ar ambiente (55±10%) e em 70±10%.

2.2 Específicos

a) Analisar a qualidade da semente durante o armazenamento em atmosfera controlada avaliando parâmetros fisiológicos.

b) Avaliar a qualidade do feijão comum armazenado em atmosfera controlada na temperatura de 20 °C, avaliando parâmetros tecnológicos e químicos.

c) Estabelecer a atmosfera controlada, na temperatura de 20 °C, em que os grãos e sementes devem ser armazenados para manter a qualidade do produto final.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* (L.)) é uma planta pertencente à família fabaceae (leguminosa), subfamília das papilionoideae, tribo phaseoleae, subtribo phaseolineae, gênero *Phaseolus* L. e espécie *Phaseolus vulgaris* L. (SANTOS; GAVALINES, 2008). Por ser considerado importante grão para alimentação humana, devido à presença de proteínas e de aminoácidos essenciais, há indícios de cultivos de idades próximas a 10.000 anos a.C. (SIMONCINI, 2015).

No Brasil, o feijão e a mandioca constituíram o alimento básico de que faziam uso grupos indígenas, em sua ocupação, expansão e formação do território brasileiro, e serviram para saciar a fome de muitos índios e colonizadores durante o período colonial. Com a chegada dos portugueses no país, os indígenas inovaram no preparo do feijão que foi se tornando um dos principais componentes da alimentação básica brasileira (SIMONCINI, 2015).

Embora a origem tenha sido a América, com múltiplos eventos de domesticação, o feijão comum teve seu cultivo difundido por todo o mundo, por sua importância econômica e nutricional (rico em proteínas), tornando-se um integrante básico da dieta alimentar de muitas populações, principalmente as de poder aquisitivo menor. O feijão se tornou um produto acessível economicamente, dado que é uma fonte de proteína mais barata em comparação à proteína animal (BINOTTI et al., 2009).

De 2010 a 2015, o consumo no Brasil variou entre 3,3 e 3,6 milhões de toneladas, em 2016 recuou para 2,8 milhões de toneladas, sendo o menor registro da história por motivos de elevação dos preços ocasionados pela redução de área plantada, condições climáticas adversas, redução do preço no momento da comercialização e pelo feijão competir com outras culturas que trazem melhor rentabilidade ao produtor. Na safra de 2017/2018 houve produção de 1.281,6 mil toneladas, já a previsão para a safra 2018/2019 é de 1.090,7 mil toneladas (CONAB, 2018).

A produtividade do feijoeiro é dependente da semente sendo que, sementes de alta qualidade proporcionam melhor germinação e vigor de plântulas, permitindo bom estabelecimento e estande final de plantas, proporcionando altas produtividades (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010). O rendimento do cultivar influencia na sua escolha. Em todo o território nacional, com diferentes condições edafoclimáticas, épocas e sistemas de cultivos, desde sistemas sem tecnologia alguma até as mais tecnificadas, o feijoeiro-comum é cultivado (OLIVEIRA et al., 2015).

Condições climáticas, geográficas, agrônômicas, época e sistema de colheita podem afetar a qualidade dos feijões. Perdas também ocorrem na pós-colheita, na secagem, transporte e armazenamento (WANG et al., 2011; SMANIOTTO et al., 2014). A conservação

da qualidade dos grãos e sementes se dá por meio de técnicas adequadas no armazenamento e, conseqüentemente, melhora a aceitação por parte do consumidor (OLIVEIRA et al., 2012).

3.1 Composição nutricional e utilização

O feijão é um dos alimentos mais consumidos pelos brasileiros constitui a base da dieta da população, fornecendo rica fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais (SOUZA et al., 2013, CASTRO-GUERRERO et al., 2016), além de ácidos graxos insaturados (ácido linoleico), fibra alimentar (SILVA et al., 2009), sendo um dos alimentos mais completos na dieta alimentar humana. Cabe ainda destacar que o feijão cumpre a exigência de proteína para aquelas pessoas que são vegetarianas e, ainda aquelas que não podem consumir a proteína animal por questões religiosas, como é o caso da Índia (BINOTTI et al., 2009; YEO; SHAHIDI, 2015; VERMA et al. 2016).

O feijão é um alimento consumido em todo o mundo que apresenta importância tanto do ponto de vista econômico como do ponto de vista nutricional. É rica fonte de proteínas, carboidratos complexos, amido, fibras, vitaminas e minerais, além de conter fitoquímicos biologicamente ativos, que são importantes para a saúde humana. Outros compostos fenólicos também foram quantificados, como é o caso de flavonas, flavonóides e isoflavonas (AGUILERA et al., 2011; LOPES et al., 2013; COELHO et al., 2013, SILOCHI et al., 2016). Antocianidinas e antocianinas também estão presentes e variam de acordo com a variedade ou a cor dos grãos. Feijões mais escuros apresentam maior teor de antocianinas (YEO; SHAHIDI, 2015; VERMA et al., 2016). Além das propriedades nutricionais, os grãos estão recebendo maior atenção como alimento funcional, pois está sendo incluído em dietas proporcionando efeitos benéficos sobre a saúde do consumidor no que diz respeito à incidência de doenças crônicas, como diabetes, obesidade e câncer (NGOH; GAN, 2016; BARRIOS; RICARDO; URIBE, 2016). Ainda, a ingestão deste grão, está associada com menor risco de incidência de câncer de mama. Em relação ao benefício da redução dos riscos de incidência de cancro do cólon e ao de próstata, existe uma relação inversa entre o consumo de feijão e o desenvolvimento de câncer (ALSHIKH; CAMARGO; SHAHIDI, 2015).

As características físico-químicas dos grãos de feijão podem ser alteradas pelas condições de armazenamento, gerando mudanças importantes nos componentes dessa leguminosa. Essas alterações podem incidir sobre a digestibilidade e o valor nutricional (PROLLA et al., 2010). Para que os grãos apresentem benefícios é necessário qualidade, o que pode ser determinado por aspectos físicos, nutricionais e tecnológicos. Tais aspectos

podem ser mensurados através de análises como teor de água, cor, tamanho, composição nutricional, dureza, tempo de cocção e capacidade de hidratação (BASSINELLO, 2016).

O tamanho, o formato e a cor do grão são elementos da aparência, fundamentais na aceitabilidade pelo consumidor e no momento da comercialização (OLIVEIRA et al., 2013). Assim, grãos com coloração mais clara, tamanho padrão e sem defeitos apresentam melhor aparência. Outro fator que é levado em consideração por aqueles que preparam este alimento é a qualidade tecnológica, representada pela capacidade de hidratação, tempo de cozimento, espessura do caldo, aroma e sabor após cocção. Grãos que se hidratam mais rapidamente, também cozinham, promovendo economia de tempo e energia no preparo (OLIVEIRA et al., 2013).

Mas para que todas essas características sejam mantidas é de fundamental importância o cuidado no armazenamento. Por isso é necessário que haja um armazenamento adequado e de qualidade. Em primeiro lugar, para manter as características iniciais do produto, sem que estas se percam ao longo do tempo, mas também para que o cozimento possa ser realizado em tempo reduzido.

3.2 Armazenamento

Grãos recém-colhidos têm teor de água elevado, pois estão na maturidade fisiológica, condição imprópria para o armazenamento. O elevado teor de água causa rápida degradação de grãos e sementes, sendo necessária a secagem até um nível que torne adequado o armazenamento, possibilitando a manutenção da qualidade dos mesmos (WEBER, 2005).

Antes do armazenamento de grãos e sementes, deve-se considerar a qualidade com que vêm da lavoura. Para manter essa qualidade, quando armazenados, é preciso que o processo e as condições sejam bastante adequados, alterando o mínimo possível as estruturas físicas e nutricionais do grão, pois o armazenamento é a atividade que guarda e conserva os grãos, que visa garantir a qualidade do produto independente do tempo em que ele seja mantido armazenado (SMANIOTTO et al., 2014).

3.3 Fatores que afetam o armazenamento

Quando os grãos são submetidos a condições adequadas de armazenamento, podem ser conservados por muitos anos, mas se submetidos a condições adversas a deterioração pode ocorrer em poucos dias.

A temperatura e o teor de água nos produtos armazenados são os principais responsáveis pela perda da qualidade. Temperatura e teor de água desfavoráveis aumentam a velocidade de respiração, gerando reações químicas e futura deterioração (ZUCHI et al., 2011). Durante o armazenamento, esses parâmetros são determinantes no processo de perda de viabilidade de sementes e a alterações na qualidade do produto e dos subprodutos (SIQUEIRA et al., 2013; SMANIOTTO et al., 2014).

No ambiente de armazenamento, os grãos se comportam como um ecossistema, no qual insetos, microflora (elementos bióticos) e impurezas, ar intergranular, vapor d'água e estrutura de armazenagem (elementos abióticos) são afetados, tanto química como biologicamente, por fatores ambientais como temperatura, umidade e composição do ar. Esses componentes são variáveis e interagem entre si (EL-RAMADY et al., 2015).

A temperatura na qual o produto se encontra armazenado tem grande importância na determinação da taxa metabólica, pois a temperatura do produto é ligeiramente superior à do ambiente, devido ao calor libertado a partir do processo respiratório. Essa diferença de temperatura deve ser considerada devido ao seu efeito sobre a manutenção do produto colhido, que tem reflexos no teor de água dos grãos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

As plantas e seus órgãos apresentam metabolismo que se encarregam por fazer a aquisição de energia através da fotossíntese, por meio de reações oxidativas de compostos orgânicos que são transformados em água e dióxido de carbono. Quando os grãos são colhidos, eles sobrevivem das reservas metabólicas acumuladas durante o crescimento, ainda na planta mãe. Através da respiração, as cadeias de carbono são quebradas, gerando energia para os mesmos (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005; IQBAL et al., 2009; ROJAS-GRAU et al., 2009; EL-RAMADY et al., 2015).

A respiração em níveis baixos de oxigênio, utilizada em armazenamento de atmosfera controlada, diminui a taxa respiratória do tecido, possibilitando maior vida útil aos grãos. A respiração é diminuída através do efeito sobre várias enzimas do ciclo dos ácidos tricarbóxicos (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Dependendo da intensidade das reações bioquímicas, a energia liberada na forma de calor pode ser grande ou pequena, causando aumento da temperatura na massa de grãos. Os órgãos de armazenamento das plantas, como é o caso dos grãos quando estão maduros, têm maior energia para ser utilizada na manutenção e nas reações. A respiração ocorre em todas as células vivas e é essencial para a manutenção da vida nos produtos pós-colheita (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A perda de carboidratos, lipídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, minerais, entre outros, a partir da respiração dos produtos armazenados, resultam na diminuição das reservas de energia no interior do tecido, que por sua vez, diminui o período de tempo que o produto pode, efetivamente, manter a sua condição existente. Essa perda de energia pode acelerar a senescência dos grãos, diminuindo o valor dos alimentos, que pode ser prevista

pela perda de massa. Outro efeito é a remoção do oxigênio do ambiente de armazenamento, permitindo condições anaeróbias, nas quais os produtos podem estragar rapidamente (KAYS, 1991).

Dessa forma, é importante fazer armazenamento nas condições mais adequadas possíveis, sendo que cada espécie de planta possui uma faixa de temperatura, umidade relativa e até a pressão parcial de gases ideais para o seu armazenamento, pois o controle da respiração é condição essencial para a manutenção da qualidade e prolongamento da vida útil dos produtos, uma vez que as fontes de reserva e carbono são limitadas no grão (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005; STEFFENS et al., 2007). Ambientes com alta pressão parcial de CO₂ e baixa em O₂, por exemplo, podem diminuir a atividade metabólica dos grãos, mantendo-os conservados e reduzindo perda pela oxidação do produto (AGUIAR et al., 2004; SANTOS et al., 2012).

3.4 Respiração

A energia que mantém os grãos após a colheita é gerada pelas reações de oxidação dos compostos orgânicos, que são transformados em água e dióxido de carbono. Alterações metabólicas, ocasionadas após a colheita, têm influência sobre a qualidade dos grãos e sementes (ROJAS-GRAU et al., 2009).

Outro fator relacionado à respiração e que pode trazer mudanças profundas, reduzindo a qualidade, é a composição dos grãos, pois as substâncias mais sujeitas à alteração são aquelas formadas de proteínas, glicídeos, lipídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, minerais e alguns componentes específicos da parede celular, como hemiceluloses e pectinas (CHITARRA; CHITARRA, 2005; SÁNCHEZ-MATA; CÁMARA; DÍEZ-MARQUÉS, 2003).

A principal via utilizada pelos grãos para a produção de energia e de compostos intermediários é realizada na presença de oxigênio, em que a sacarose, na maioria das espécies, é o principal açúcar de translocação das folhas para os grãos. O ácido pirúvico formado pela glicose é transformado em outros ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água, liberando energia química (ATP), que é utilizada para manter os processos vitais. Uma parte da energia produzida na respiração é perdida na forma de calor e a outra parte da energia é utilizada pelas células na forma química (ATP), para seus processos vitais. Assim, o calor da respiração deve ser considerado, visto que influencia negativamente o armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Durante a respiração, há também a formação de substâncias intermediárias necessárias aos processos anabólicos da

germinação. Nas primeiras horas da germinação, a respiração é anaeróbica por limitar a penetração de oxigênio no interior da semente (KAYS, 1991).

A taxa da respiração produz modificações dentro das células. Isso se dá por fatores internos (espécie, cultivar, estágio de desenvolvimento da colheita e composição química) ou por fatores externos, como a temperatura, o teor de umidade e as pressões parciais de O_2 e CO_2 . Essas modificações podem ocorrer por regulações das vias metabólicas ou pela modificação nas prioridades no nível de operação de vias específicas. Quando os grãos estão secos e com baixo nível de danos mecânicos, apresentam estabilidade e baixa taxa respiratória durante o armazenamento (KAYS 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Uma das formas de regular a respiração nas células é através do controle na atividade enzimática. Para controlar a atividade enzimática, baixa pressão parcial de O_2 e alta pressão parcial de CO_2 são condições eficientes. As altas pressões parciais de CO_2 inibem a conversão de succinato a malato e de malato a piruvato (KAYS, 1991). Em baixas pressões parciais de O_2 , a atividade respiratória é diminuída, reduzindo a ação de enzimas, como é o caso da polifenol oxidase, ascorbato oxidase, glicose oxidase e ACC oxidase (SÁNCHEZ-MATA; CÁMARA; DÍEZ-MARQUÉS, 2003).

As alterações no ambiente interno das células de um produto armazenado e no ambiente externo, muitas vezes resultam em alterações significativas na respiração. Essas alterações podem ocorrer devido a mudanças nos pontos em que as vias reguladoras são controladas ou pela alteração no nível de funcionamento de vias específicas. O controle da respiração nas células da planta pode ser regulado em vários pontos nas vias respiratórias. O fornecimento de substrato pode exercer controle sobre a taxa de respiração, regulando a disponibilidade do substrato para uma reação particular.

O controle enzimático, através da atividade de uma enzima e, em menor medida pela concentração da enzima, representa uma forma importante de controle em células que respiram. As atividades enzimáticas podem ser moduladas por substrato e a concentração de produto, por cofatores como íons metálicos, a ativação ou a inibição da enzima e a concentração da enzima. Em contrapartida, a ativação da enzima é considerada um meio de controle fino (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

3.5 Concentração de gases (O_2 e CO_2)

A taxa respiratória e o metabolismo dos grãos são influenciados pela composição da atmosfera gasosa em que se encontram no armazenamento. Quando as pressões parciais de oxigênio são reduzidas para taxas entre 1 a 3 kPa e o dióxido de carbono com pressões

parciais entre 3 a 15 kPa, há diminuição da atividade respiratória e reações de deterioração (JAYAS; WHITE, 2003).

O oxigênio é intimamente ligado à taxa de respiração dos produtos colhidos. Na medida em que as pressões parciais internas diminuem, também diminui a respiração até que a pressão parcial de oxigênio atinja o chamado de ponto de extinção ou concentração crítica, o qual pode realizar respiração anaeróbica ao invés de aeróbica. Na respiração anaeróbica, o ácido pirúvico produzido pela via glicolítica não sofre o processo de oxidação, mas sofre descarboxilação, com formação de acetaldeído, CO_2 e etanol. Dessa forma, produz alterações no sabor e aroma, quebra dos componentes estruturais dos tecidos dos produtos (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Níveis altos de CO_2 , utilizados no armazenamento de atmosfera controlada, diminuem a taxa respiratória dos tecidos por alterar reações bioquímicas específicas, aumentando a vida útil dos grãos, retardando o envelhecimento e o desenvolvimento de doenças pós-colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Quando ocorre elevação nas pressões parciais de CO_2 , os principais processos fisiológicos e bioquímicos são afetados. O mecanismo de ação de dióxido de carbono elevado resulta no decréscimo da respiração. Sabe-se que o efeito inibidor não é devido à lesão permanente no tecido, pois, após a remoção do dióxido de carbono, a respiração retorna ao normal. A pressão parcial de dióxido de carbono em condições aeróbicas afeta o ciclo de ácido tricarboxílico na conversão de succinato de malato e malato de piruvato. Succinato desidrogenase parece ser a enzima mais significativamente afetada, com a influência de outras enzimas do ciclo do ácido tricarboxílico. Elevadas pressões parciais de dióxido de carbono (por exemplo, 15%) têm resultado em níveis tóxicos de succinato, causando danos ao tecido (KAYS, 1991).

3.6 Atmosfera controlada

Aumento da vida útil dos grãos, menor perda de qualidade são alguns dos benefícios da atmosfera modificada, pois inibem ou retardam o início da senescência dos grãos (JAYAS; JEYAMKONDAN, 2002). Para que exista esse aumento na vida útil dos produtos armazenados em atmosfera controlada, é necessária a redução das pressões parciais de O_2 entre 1% e 3% e o aumento dos níveis de CO_2 , entre 2% e 20%, reduzindo, assim, a intensidade respiratória, as reações, as transformações metabólicas e o calor vital, possibilitando a comercialização de produtos em boa qualidade (BRACKMANN, 2007). No entanto, a mistura de gás irá mudar constantemente, devido à respiração e atividade

metabólica do produto, sendo necessário acompanhar e manter os níveis de gases pré-estabelecidos, ao longo do processo de armazenagem.

Esse armazenamento pode causar desenvolvimento de sabor e odor desagradável. Por isso, é preciso fazer um estudo detalhado, conhecer as condições para a implantação desse sistema para a cultura do feijão, analisando se o investimento irá trazer retorno. Esse procedimento exige um ambiente especial, com câmaras de armazenamento vedadas e alto grau de precisão e monitoramento da pressão parcial de gases (O_2 , CO_2), temperatura e circulação de umidade relativa no seu interior.

Esse tipo de armazenamento exige que se faça o enchimento da câmara com os grãos e, em seguida, inseridos os gases, por meio físicos ou químicos. Gases como o monóxido de carbono, o dióxido de carbono, o etileno e o nitrogênio podem ser injetados na câmara, utilizando-se cilindros ou botijões engarrafados, ou utilizando gelo seco de CO_2 . Para retirar o O_2 , utiliza-se, geralmente, a injeção de nitrogênio na forma gasosa que, ao ser misturado com o ar da câmara, dilui o O_2 (CHITARRA; CHITARRA, 2005; ROBERTS; ABDALLA, 1968).

Pela respiração constante dos grãos, é preciso monitorar a pressão parcial dos gases no interior da câmara, pois ocorre alteração dos níveis pré-estabelecidos dos gases. O monitoramento é realizado por meio de analisadores de gases, através dos quais é conduzido um fluxo contínuo do gás da câmara de atmosfera controlada. Quando os níveis de CO_2 estão acima do desejado, é necessário sua eliminação, podendo ser feita por carvão ativado, colocação de cal hidratada dentro da câmara ou pelo fluxo de nitrogênio, que dilui o CO_2 da atmosfera da câmara. Quando os níveis de O_2 estão baixos, é preciso abrir as tubulações, permitindo a entrada de ar ambiente para dentro das câmaras (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os produtos armazenados sob atmosfera controlada conseguem retardar a degradação da parede celular, tendo em vista a redução da atuação de enzimas, envolvidas no amaciamento da parede. É inibida a atividade de enzimas como polifenol oxidase que atuam no escurecimento dos tecidos. O sabor também é influenciado pela atuação de enzimas, pois pode haver perda da acidez, reduzindo a quebra do amido em açúcar, limitando a degradação de clorofila, mantendo a cor por mais tempo (KAYS, 1991).

Em atmosfera ótima para o produto, o ácido ascórbico e as vitaminas são retidos nos grãos, resultando na melhor qualidade nutricional. Por outro lado, em condição de baixas pressões parciais de O_2 e altas pressões parciais de CO_2 , são reduzidos o pH do citoplasma e os níveis de ATP, induzindo ou ativando a atividade do piruvato-desidrogenase, álcool desidrogenase e lactato desidrogenase. O acúmulo de acetaldeído, etanol, acetato de etila e lactato são prejudiciais, resultando em danos de peroxidação lipídica rápida (KADER, 2002; GEIGENBERGER, 2003).

As respostas dependem do cultivar, temperatura de armazenamento e a duração do armazenamento, por isso a importância deste estudo, buscando identificar qual a melhor pressão parcial para o armazenamento do feijão.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. W. S.; SARMENTO, R. A.; VIEIRA, S. M.; DIDONET, J. Controle de pragas em grãos armazenados utilizando atmosfera modificada. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 1, p. 21-27, 2004.

AGUILERA, Y.; ESTRELLA, I.; BENITEZ, V.; ESTEBAN, R. M.; MARTIN-CABREJAS, M. A. Bioactive phenolic compounds and functional properties of dehydrated beans flours. **Food Research International**, v. 44, p. 774–780, 2011.

ALSHIKH, N., DE CAMARGO, A. C., SHAHIDI, F. Phenolics of selected lentil cultivars: Antioxidant activities and inhibition of low-density lipoprotein and DNA damage. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 1022–1038, 2015.

BARRIOS, L. L.; RICARDO, M. A.; URIBE, J. A. G. Changes in antioxidant and antiinflammatory activity of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates due to germination and enzymatic digestion. **Food Chemistry**, v. 203, p. 417-424, 2016.

BASSINELLO, P. Z. **Qualidade dos grãos**. Santo Antônio de Goiás: MBRAPA/CNPAF. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_2_28102004161635.html. Acesso em: 20 jul. 2016

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas – SP, v.68, n. 2, p.473-481, 2009.

BRACKMANN, A. Uso da atmosfera controlada é recente no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba - SP, n. 7, p. 50-52, 2007.

CASTRO-GUERRERO, N. A.; ISIDRA-ARELLANO, M. C.; FARIZA-COZAT, D. G.; VALDES-LÓPEZ, O. Common bean: a legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to iron, zinc, and phosphate deficiencies. **Plant Science**, v. 7, n. 600, 2016.

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

COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C.; SCHOENINGER, V. Physico-chemical properties of common beans under natural and accelerated storage conditions. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago - Chile, v. 40, n. 3, p. 637-644, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2018/2019 - segundo levantamento, Brasília, DF, v. 6, n. 2, p. 1-138, 2018.

EL-RAMADY, H. R.; DOMOKOS-SZABOLCSY, E.; ABSALLA, A.; TAHA, H. S.; FÁRI, M. **Sustainable Agriculture Reviews**. Postharvest management of fruits and vegetables storage, v. 15, p. 65-1527, 2015.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina – PR, v. 20, p. 37-38, 2010.

GEIGENBERGER, P. Response of plant metabolism to too little oxygen. **Current Opinion in Plant Biology**, n. 6, p. 247-256, 2003.

IQBAL, T.; RODRIGUES, F. A. S.; MAHAJAN, P. V.; KERRY, J. P. Mathematical modeling of O₂ consumption and CO₂ production rates of whole mushrooms accounting for effect of temperature and gas composition. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, p.1408-1414, 2009.

JAYAS, D. S.; JEYAMKONDAN. Modified atmosphere storage of grains meats fruits and vegetables. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 3, p. 235-251, 2002.

JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Storage and drying of grain in Canada: low cost approaches. **Food Control**, v. 14, n. 4, p. 255-261, 2003.

KADER, A. A. **Controlled Atmosphere Storage**. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, USDA, U.S., 2002. Disponível em: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/>. Acesso em: 30 ago. 2016.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Published by Van Nostrand Reinhold, New York: p. 532, 1991.

LOPES, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; GÓMEZ-SERRANILLOS, M. P.; PALOMINO, O. M.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 138, p. 547-555, 2013.

NGOH, Y.; GAN, C. Enzyme-assisted extraction and identification of antioxidative and α -amylase inhibitory peptides from Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* cv. Pinto). **Food Chemistry**, v. 190, p. 331–337, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.120>.

OLIVEIRA, D. P.; VIEIRA, N. M. B.; SOUZA, H. C.; MORAIS, A. R.; PEREIRA, J.; ANDRADE, M. J. B. A. Qualidade tecnológica de grãos de cultivares de feijão-comum na safra das águas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina – PR, v. 33, n. 5, p. 1831–1838, 2012.

OLIVEIRA, I. B.; MENDONÇA, G. W.; BINOTTI, F. F. S.; ASCOLI, A. A.; COSTA, E. Fertilizante foliar em feijoeiro de inverno e sua influência na produtividade e qualidade fisiológica das sementes. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia - MS, v. 2, n. 2, p. 57-67, 2015.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; COLPO, E.; POERSCH, N. L. Perfil sensorial de cultivares de feijão sob diferentes tempos de cozimento. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara – SP, v. 24, n. 2, p. 145-152, 2013.

PROLLA, I. R. D.; BARBOSA, R. G.; VEECK, A. P. L.; AUGUSTI, P. R.; SILVA, L. P. RIBEIRO, N. D.; EMANUELLI, T. Cultivar, harvest year, and storage conditions affecting nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and**

- Technology**, v. 30, p. 96- 102, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000500016>.
- ROBERTS, E. H.; ABDALLA, F. H. The influence of temperature, moisture, and oxygen on period of seed viability in barley, broad beans, and peas. **Annals of Botany**, v. 32, p. 97-117, 1968.
- ROJAS-GRAÜ, A.; OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 875-889, 2009.
- SÁNCHEZ-MATA, M. C.; CÁMARA, M.; DÍEZ-MARQUÉS, C. Extending shelf-life and nutritive value of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), by controlled atmosphere storage: macronutrients. **Food Chemistry**, n. 80, p. 309-315, 2003.
- SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, J.; BORÉM, A. (eds.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 41-66.
- SANTOS, S. B.; MATINS, M. A.; FARONI, L. R. A.; JUNIOR BRITO, V. R. Perda de matéria seca em grãos de milho armazenados em bolsas herméticas. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza – CE, v. 43, n. 4, p. 674-682, 2012.
- SILOCHI, R. M. Q.; COELHO, S. R. M.; BISCHOFF, T. Z.; CASSOL, F. D. R.; PRADO, N. V.; BASSINELLO, P. Z. Nutritional technological characterization and secondary metabolites in stored carioca bean cultivars. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 24, p. 2102-2111, 2016. doi: 10.5897/AJAR2016.11013.
- SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara – SP, v. 20, p. 591-598, 2009.
- SIMONCINI, J. B. V. B. Feijão *made in* China. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora - MG, n. 3, p. 199-216, 2015.
- SIQUEIRA, B. S.; VIANELLO, R. P.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Hardness of carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by cooking methods. **Food Science and Technology**, v. 54, p. 13-17, 2013.
- SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F. OLIVEIRA, D. E. C.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 18, n. 4, p. 446–453, 2014.
- SOUZA, A. M., PEREIRA, R. A., YOKOO, E. M., LEVY, R. B., SICHIERI, R. Alimentos mais consumidos no Brasil: Inquérito nacional de alimentação 2008-2009. **Revista Saúde Pública**, São Paulo – SP, v. 47, n. 1, p. 190-199, 2013.
- STEFFENS, C. A.; BRACKMANN, A.; PINTO, J. A. V.; EISERMANN, A. C. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 42, n. 3, p. 313-321, 2007.
- VERMA, M.; SHARMA, P.; GOUR, V. S.; KOTHARI, S. L. Moisture-mediated effects of γ -irradiation on antioxidant properties of mung bean (*Vigna radiate* L.) cultivars. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 59-67, 2016.

WANG, S.; MECKLING, K. A.; MARCONE, M. F.; KAKUDA, Y.; TSAO, R. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 960-968, 2011.

WEBER, E. A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Canoas: Salles, 2005.

YEO, J.; SHAHIDI, F. Critical evaluation of changes in the ratio of insoluble bound to soluble phenolics on antioxidant activity of lentils during germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 379–381, 2015.

ZUCHI, J.; SEDIYAMA, C. S.; LACERDA FILHO, A. F.; REIS, M. S.; FRANÇA NETO, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; ARAÚJO, E. F. Variação da temperatura de sementes de soja durante o armazenamento. **Informe Abrates**, Londrina – PR, v. 21, n. 3, 2011.

ARTIGO 1 – QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DO FEIJÃO CARIOCA SOB ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA CONTROLADA

RESUMO

Conseguir manter as características fisiológicas das sementes durante o armazenamento é um desafio, pois elas podem ser perdidas rapidamente, quando não se tem a condição ideal. O armazenamento em atmosfera controlada com baixo oxigênio pode contribuir para manter a qualidade fisiológica. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade fisiológica das sementes de feijão, em condições de atmosfera controlada. Para tanto, foram utilizadas sementes de feijão carioca, variedade imperador, em que, cada tratamento foi submetido a umidade relativa ambiente e umidade relativa de $70\pm 10\%$, na temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, em diferentes pressões parciais de gás carbônico (3, 6 e 9 kPa), na taxa fixa de oxigênio (1,5 kPa). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial completo, com 4 repetições, com análise de variância e teste de Tukey, a 5% de significância. Foi realizada análise multivariada para verificar a ocorrência de correlação entre as variáveis em estudo: teor de água, porcentagem de germinação, índice de velocidade de emergência, envelhecimento acelerado, tamanho de plântula e tetrazólio. Na condição de maior pressão parcial de CO_2 (9 kPa), em umidade relativa ambiente, preservou melhor a qualidade fisiológica das sementes, o que pode ser confirmado pela maior porcentagem de germinação (98,26%), índice de velocidade de emergência, envelhecimento acelerado (97,26%), crescimento da parte aérea e maior tetrazólio no *shelf life* (97%). Armazenar sementes de feijão carioca sob atmosfera controlada, por 6 meses, em alta pressão parcial de CO_2 é biologicamente eficiente na preservação nas características fisiológicas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., alta pressão parcial CO_2 , germinação, vigor, viabilidade.

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial o feijão, uma Fabaceae, é uma das espécies mais cultivadas e se destaca por seu alto teor de proteínas e valor nutricional e, sendo assim, considerado alimento básico. Depois da soja, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é a segunda leguminosa mais produzida, seguido do feijão-caupi e o grão-de-bico (UEBERSAX; SIDDIQ, 2013; COELHO et al., 2013, FAO, 2019).

O vigor, a viabilidade e a germinação indicam a qualidade fisiológica das sementes. Os fatores que antecedem a colheita e a pós-colheita são primordiais para que as sementes permaneçam com boa qualidade. O vigor confere o potencial para a semente germinar, emergir e gerar plântulas normais com ampla diversidade e condições ambientais. Esse indicador é inversamente proporcional ao processo de deterioração (SIADAT; MOOSAVI; ZADEH, 2012) que envolve alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas a partir da maturidade fisiológica, sempre progressivamente, indicando declínio da qualidade, até chegar à morte das sementes (MARCOS FILHO, 2015; SILVA et al., 2016). O armazenamento afeta a qualidade fisiológica das sementes de feijão, ocorrendo, já no início, a perda do vigor. Moussa et al. (2011), estudando a qualidade fisiológica de sementes de feijão, identificaram perdas de vigor após períodos de armazenamento.

A respiração ocorre em todas as células vivas e é essencial para a manutenção da vida nos produtos pós-colheita. Processos metabólicos das sementes seguem ativos mesmo após a colheita e, na maioria das vezes, esses processos acarretam perda da qualidade, mas podem ser minimizados com a redução do teor de água e a diminuição da temperatura. No entanto, o processo respiratório continua a ocorrer, consumindo a energia armazenada e alterando a massa das sementes, assim, torna-se interessante modificar a quantidade de gases presente na atmosfera de armazenamento, aumentando a quantidade de gás carbônico. As sementes, após a colheita, continuam a viver e, como todos os organismos vivos, respiram (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Por meio desse processo respiratório, as sementes são passíveis de transformações contínuas. O incremento da temperatura pode estar fortemente ligado ao processo de respiração e o aumento da intensidade da respiração é proporcional ao aumento da temperatura, a qual está correlacionada com o teor de água (FARONI et al., 2009). Quanto mais a semente respira mais calor é gerado, elevando a temperatura e acelerando a sua deterioração. Portanto, é um processo de via dupla. Ao utilizar armazenamento com temperaturas baixas e com atmosfera controlada com O₂ e CO₂, as perdas da qualidade são minimizadas (EL-RAMADY et al., 2015).

No ambiente controlado tem-se alteração da composição dos gases da atmosfera e, para melhor manter a qualidade das sementes, é importante reduzir a pressão parcial de

oxigênio e elevar as pressões parciais de nitrogênio e dióxido de carbono, preservando a qualidade das sementes e mantendo a germinação (BRACKMANN et al., 2002). Sementes armazenadas em atmosfera ambiente germinam relativamente menos, quando comparadas a sementes armazenadas em baixo O₂ (GOODESELL; HUEY; ROYCE, 1995).

Assim, informações sobre o comportamento das sementes frente às condições expostas a diferentes pressões parciais de atmosfera podem auxiliar na tomada de decisão sobre o armazenamento adequado. Com base no exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade das sementes de feijão, submetidas a 6 meses de armazenamento, a 20 °C, com diferentes atmosferas controladas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) da variedade Imperador, desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas, produzidas na safra de 2015/2016 em cultivo da região Oeste do Paraná (24° 57' 20" Sul, 53° 27' 19" Oeste), com solo classificado como Vermelho distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, substrato basáltico e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). As sementes foram adquiridas em armazém, onde passaram pelo processo de limpeza e secagem, apresentando ao final teor de água de 16%. Em seguida, as sementes foram armazenadas nas condições propostas na Tabela 1.

2.1 Armazenamento das sementes e condições experimentais

No laboratório da Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul – PR, as sementes permaneceram sob as pressões parciais pré-estabelecidas de gases nas câmaras herméticas sob atmosfera controlada, o seu teor de água foi reduzido a 11% em estufa com circulação de ar, a 50 °C. Foram utilizadas embalagens de ráfia seladas, com amostra de 350 g de feijão, transferidas para câmaras vedadas, armazenadas em sala com controle de temperatura. A temperatura e a umidade dentro de cada câmara de armazenamento foram determinadas por psicrômetros. A temperatura foi mantida em 20 °C e a umidade controlada por umidificador e desumidificador presente dentro de cada câmara.

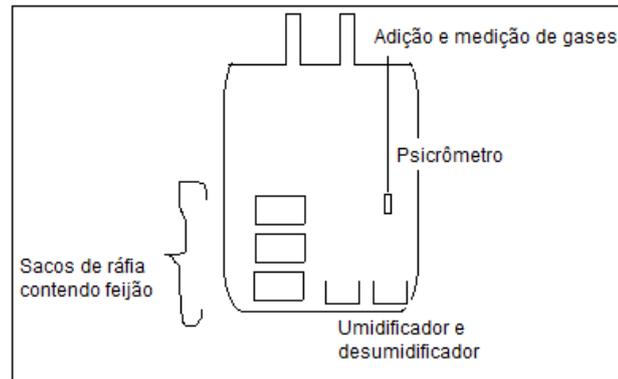


Figura 1 Esquema de armazenamento e controle dos gases.

Na parte superior das câmaras, foram inseridas mangueiras, através das quais foi possível injetar os gases até a pressão parcial ideal e também, o local onde as leituras das pressões parciais foram realizadas.

As pressões parciais de CO_2 e O_2 dentro das câmaras foram monitoradas pelo analisador digital de gases eletrônico de fluxo contínuo de mesa (Marca Kalfritec, modelo Oxidox II). A manutenção das pressões parciais desejada dos gases, nas diferentes condições de armazenamento, foi realizada a cada 4 dias. As avaliações das pressões parciais dos gases foram feitas por meio de analisadores eletrônicos de CO_2 e O_2 e, quando necessário, a correção foi realizada até atingir os níveis pré-estabelecidos (Tabela 1). A regulagem da pressão parcial de oxigênio foi obtida por meio de cilindro de alta pressão do gás de nitrogênio e o gás carbônico por meio de injeção de CO_2 . O nitrogênio consegue eliminar parte do oxigênio do ar por meio da varredura na câmara hermética.

Para atingir a concentração de gases de cada tratamento, as pressões parciais foram obtidas mediante o ar atmosférico no ambiente de armazenamento com injeção de N_2 e posterior injeção de CO_2 , provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível pré-estabelecido para cada tratamento. O tratamento testemunha, com baixo kPa de CO_2 , foi obtido com cal hidratada, que captura o gás carbônico do ambiente e evita o acúmulo de CO_2 .

As condições de armazenamento são descritas na Tabela 1. As sementes armazenadas permaneceram sob essas condições por 6 meses de armazenamento em câmaras de polietileno fechadas hermeticamente. As amostras foram retiradas no final do armazenamento de 180 dias. Cada tratamento foi armazenado em câmaras diferentes.

Tabela 1 Pressões parciais de gases (O_2 mais CO_2) da atmosfera controlada e umidade relativa do ar, dos tratamentos propostos à temperatura de 20 °C

Tratamentos	O_2 (kPa)	CO_2 (kPa)	Umidade relativa
T1	1,5	3	Ambiente ($55\pm 10\%$)
T2	1,5	6	Ambiente ($55\pm 10\%$)
T3	1,5	9	Ambiente ($55\pm 10\%$)
T4 (testemunha)	21	0,04	Ambiente ($55\pm 10\%$)
T5	1,5	3	$70\pm 10\%$
T6	1,5	6	$70\pm 10\%$
T7	1,5	9	$70\pm 10\%$
T8 (testemunha)	21	0,04	$70\pm 10\%$

Antes de passar pelo armazenamento, houve uma avaliação dos grãos, denominada de controle. Outra avaliação ocorreu após o armazenamento em atmosfera controlada. E outra, após o período de armazenamento em atmosfera controlada, com os grãos expostos às condições atmosféricas normais, por sete dias, período denominado *shelf life* e, analisadas após este período.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, com 2 fatores, 4 repetições para cada tratamento, organizados da seguinte forma: as análises realizadas no controle (antes do armazenamento), após o armazenamento e no *shelf life*, sendo o tempo de armazenamento o primeiro fator. A atmosfera controlada, composta pelas pressões parciais dos gases de oxigênio e gás carbônico (1,5 kPa O_2 - 3 kPa CO_2 em umidade relativa ambiente e $70\pm 10\%$, 1,5 kPa O_2 - 6 kPa CO_2 em umidade relativa ambiente e $70\pm 10\%$, 1,5 kPa O_2 - 9 kPa CO_2 em umidade relativa ambiente e $70\pm 10\%$ e 21 kPa O_2 - 0,04 kPa CO_2 em umidade relativa ambiente e $70\pm 10\%$), é o segundo fator em 8 níveis.

2.2 Análise da qualidade fisiológica

As características de vigor e viabilidade foram avaliadas no Laboratório de Controle de Qualidade, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Para tanto, o produto foi retirado da estocagem um dia antes da realização das avaliações e mantido em condições ambientais. Todos os parâmetros foram mensurados em triplicata.

O teor de água foi determinado pelo método padrão da estufa, de acordo com a RAS (BRASIL, 2009), a 105 ± 3 °C por 24 horas.

A germinação foi realizada utilizando-se o papel germitest como substrato, umedecido com água destilada (2,5 vezes sua massa). Sobre ele, foram dispostas 50 sementes. Duas folhas foram utilizadas como base para a distribuição das sementes e uma como cobertura; em seguida, os rolos formados foram inseridos em sacos de polietileno para manter a umidade e colocados em câmara de germinação a 25 ± 1 °C, por

sete dias (BRASIL, 2009). Os feijões considerados germinados apresentaram, no mínimo, 2 mm de raiz primária.

As contagens das sementes germinadas ocorreram após o sétimo dia quando, teoricamente, ocorre a estabilização do número de plântulas, para diagnóstico da qualidade fisiológica (NAKAGAWA, 1999; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005).

Para o índice de velocidade de emergência em areia, foram utilizadas 400 sementes, para cada unidade experimental, divididas em 4 repetições de 100 sementes. As sementes foram levadas à casa de vegetação e mantidas sob temperatura média de 27 ± 2 °C e umidade relativa de $70\pm 5\%$, semeadas em bandejas plásticas, com 3 cm de profundidade, com dimensões 0,70 m x 0,35 m x 0,10 m, com 200 células, utilizando como substrato areia fina peneirada. As parcelas foram examinadas diariamente à mesma hora e a contagem feita a partir do dia em que ocorreu a emergência da primeira plântula. Depois de contabilizadas, após atingirem 2 cm de altura, as plântulas foram retiradas do substrato. O índice de velocidade de emergência (IVE) resultou da multiplicação do número de plântulas normais, obtidas em cada dia, pelo inverso do número de dias, após o início do teste e, então, os valores obtidos foram somados para a obtenção do IVE (VIEIRA; CARVALHO, 1994).

Para a obtenção do envelhecimento acelerado foram utilizadas 400 sementes, para cada unidade experimental, divididas em 4 repetições de 100 sementes. As sementes foram levadas à casa de vegetação sob temperatura média de 27 ± 2 °C e umidade relativa de $70\pm 5\%$ e semeadas em bandejas plásticas, com dimensões 0,70m x 0,35m x 0,10m, com 200 células, preenchidas com o substrato areia fina peneirada. Esse processo se deu à profundidade de 3 cm. As parcelas foram examinadas diariamente à mesma hora e a contagem feita a partir do dia em que ocorreu a emergência da primeira plântula. Depois de contabilizadas, após atingirem 2 cm de altura, as plântulas foram retiradas do substrato.

O tamanho de plântulas é composto pelo comprimento médio de raiz (CMR) e comprimento médio de parte aérea (CMPA), que foram medidos no último dia de avaliação do teste de germinação. Para tanto, foram utilizados quatro rolos com 10 sementes cada, dispostas no terço inferior do papel de germinação. Foram medidas a raiz e a parte aérea após sete dias e o cálculo do valor médio por repetição foi expresso em centímetros.

O teste de tetrazólio foi realizado com amostras de 400 sementes, divididas em 4 repetições de 100 sementes. Dessa forma, as sementes foram pré-condicionadas em rolos de papel germitest umedecido, por 24 horas, à temperatura de 25 °C, visando à embebição lenta das sementes, de modo a estimular o processo de germinação e o preparo das mesmas. Em seguida, foram seccionadas longitudinalmente, com o objetivo de facilitar o contato do sal de tetrazólio (2, 3, 5 trifenil cloreto de tetrazólio) com os tecidos das mesmas. Após essa fase de preparação, as sementes foram imersas em sal de tetrazólio preparado na concentração de 0,075% e levadas ao germinador, no escuro, com temperatura de

25 °C, por seis horas até atingirem a coloração ideal para avaliação. Em seguida, foram retiradas do germinador, lavadas em água corrente e imediatamente analisadas (BRASIL, 2009).

2.3 Análise estatística

Os dados foram verificados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e igualdade das variâncias (Teste de Bartlett), no nível de 5% de significância. Foi realizada a análise de variância e, para comparação de médias, foi utilizado o Tukey, ao nível de 5% de significância. Para os dados que não atenderam aos pressupostos de normalidade e igualdade de variâncias, utilizou-se a transformação box-cox. A comparação de média foi realizada pela aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, pelo pacote Expdes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011).

Após essas análises, os resultados foram submetidos à análise multivariada para verificar a ocorrência de correlação entre as variáveis em estudo. Foi realizado o teste de comparação múltipla de médias pela correlação linear de Pearson. Também foi realizada a análise dos componentes principais, pois é o método mais usado para realizar dados multivariados (MILLER; MILLER, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 visualizam-se os índices médios do teor de água, porcentagem de germinação, velocidade de emergência, envelhecimento acelerado, tetrazólio, crescimento médio de raiz da testemunha e crescimento médio da parte aérea, após o armazenamento e *shelf life* de cada tratamento, que também pode ser visualizado no apêndice A.

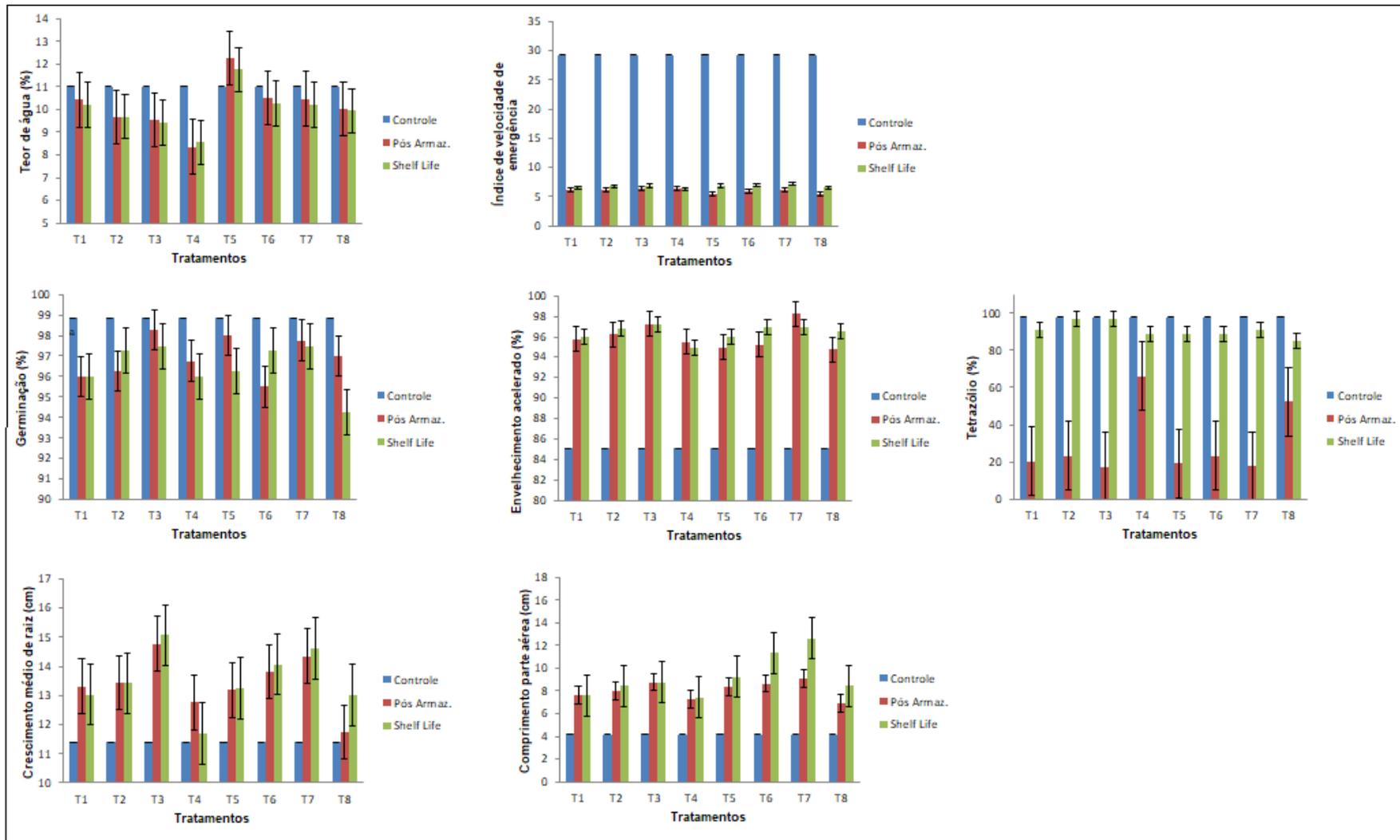


Figura 2 Médias dos parâmetros fisiológicos avaliados em sementes de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e *shelf life*), armazenadas a 20 °C em condições controladas.

Notas: Tratamento 1 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 2 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 3 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 4 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa. (UR ambiente). Tratamento 5 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 6 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 7 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 8 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR de 70±10%).

Para o teor de água, a interação entre as análises realizadas e o tratamento foi significativa. As sementes recém-colhidas (controle) apresentaram teores de 11,00% e, no *shelf life*, T4 com condições de O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa, em umidade relativa ambiente, 8,35%. Pelas médias observadas na Figura 2, verifica-se tendência da umidade relativa 70±10% apresentar maiores teores de água em comparação com a umidade relativa ambiente, apesar de serem estatisticamente iguais.

Apesar das igualdades observadas estatisticamente, os números da alta pressão parcial de CO₂ (9 kPa) em umidade relativa ambiente e 70±10%, remete à diminuição das perdas de qualidade, tendo níveis de teor de água inferiores ao dos tratamentos com pressão parcial de 3 e 6 kPa, indicando o equilíbrio higroscópico das sementes, assim, conservando as características fisiológicas das sementes por período prolongado. Já em menor pressão parcial de CO₂ (3 kPa) em umidade de 70±10%, há maior perda de qualidade. A conservação em sementes de feijão se dá com teores de água de até 13%, pois teores maiores provocam mudanças no metabolismo celular, aumentando a atividade enzimática e respiratória, o que leva ao desenvolvimento de fungos (VIEIRA; YOKOYAMA, 2000; VIEIRA; RAVA, 2000; SCARIOT et al. 2017), observados neste estudo, nas análises após o armazenamento e no *shelf life*.

O teor de água nas sementes é uma das medidas mais importantes utilizadas, pois está relacionada com a qualidade fisiológica e o armazenamento adequado. Com teor de água mais elevado, a respiração é mais intensa. Nesse processo há geração de água, aumentando o teor de água do produto, gerando um ciclo, pois quanto mais água maior o teor de água, promovendo a mobilidade de substâncias que aumentam a atividade de enzimas e outras substâncias responsáveis pela degradação; com a maior taxa respiratória, aumenta o calor vital, influenciado pelo aumento da temperatura (MAGAN; SANCHIS; ALDRED, 2004; FARONI et al., 2009; ALENCAR et al., 2009). Para conservar as sementes armazenadas por mais tempo, reduzindo a atividade respiratória e o consumo das reservas, é interessante diminuir o teor de água, pois este importante fator afeta a velocidade e intensidade da perda de qualidade nas sementes de feijão, com influência direta na sua capacidade de germinação (WEINBERG et al., 2008; MENEZES; VILLELA, 2009; AVACI et al., 2010; CARDOSO; BINOTTI; CARDOSO, 2012; EL-RAMADY et al., 2015).

A germinação determina o potencial fisiológico das sementes, sendo conduzido em condições ótimas (MARCOS FILHO, 2015). Como é possível observar na Figura 2, os níveis de CO₂ e umidade relativa não foram significativos, mas o que teve influência foram as diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*). As sumas porcentagens de germinação ocorreram nas sementes do controle (98,88%). Não é possível melhorar a qualidade das sementes durante o armazenamento, mas sim, preservar quando as condições no processo são favoráveis (SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005; CASSOL et al., 2012; SILVA et al., 2012; CASSOL et al., 2016). Pressão parcial de 1,5 kPa de oxigênio

e 9 kPa de gás carbônico, tanto para umidade relativa ambiente, como para umidade relativa de $70\pm 10\%$, nos dois momentos de análises; após o armazenamento (98,26 - 97,76) e *shelf life* (97,50), apresentaram elevadas porcentagens de germinação, indicando que o tratamento aplicado foi eficiente, apresentando melhor viabilidade das sementes.

Vale ressaltar que todos os valores observados são considerados altos para germinação, indicando boa qualidade fisiológica das sementes de feijão. Cassol et al. (2016) verificaram uma redução de 5% na germinação de sementes de feijão armazenadas por 180 dias em condições ambientais de umidade relativa e sem controle de temperatura, nas quais, no tempo zero a germinação era de 94% e após 180 dias de 89%, redução maior que a encontrada neste trabalho, no qual se observou queda de 98,9% para 96% nas sementes armazenadas em condições ambientes e 97,50% em sementes com 9 kPa de CO₂.

A emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis, são definidos como germinação, que é um processo biológico. O objetivo do teste de germinação é determinar o potencial máximo de germinação de um lote (BRASIL, 2009). A deterioração causada por fatores de temperatura e umidade do ambiente de armazenamento, teor de água das sementes, danos físicos, tempo de armazenamento, ataque de insetos, infecção por fungos podem ser indicados através da porcentagem de germinação. Valores reduzidos deste teste indicam deficiências no processo conservativo, pois, pós-colheita as sementes apresentam alta viabilidade e são perdidas por mau condicionamento. A perda do vigor e da capacidade de germinação são comuns durante o armazenamento (DELOUCHE, 2002; FLEURAT-LESSARD, 2002; ELIAS, 2008; PALABIYIK; PEKSEN, 2008; CARDOSO et al., 2012; CASSOL et al., 2016). Para manutenção da capacidade de germinação, pode-se armazenar as sementes com temperaturas baixas e atmosfera controlada de O₂ e CO₂, minimizando as perdas da qualidade na pós-colheita (JAYAS; JEYAMKONDAN, 2002; JONES, 2007; EL-RAMADY et al., 2015).

Grãos de soja com teor de água entre 9,8 e 13,8% b.u., armazenados em condições tropicais (30° C e 82% UR), apresentaram acentuada redução na germinação aos nove meses de armazenamento, principalmente nas sementes com maior teor de água inicial (LOCHER; BUCHELI, 1998). A mesma situação pôde ser observada neste estudo, em que, nos tratamentos com menores teores de água (T1, T2, T3 e T4), a porcentagem de germinação foi superior (Figura 2), preservando a germinação de sementes de feijão. Justamente essa superioridade da porcentagem de germinação ocorreu no armazenamento com pressão parcial de CO₂ (9 kPa), indicando que esta é a melhor forma de armazenar sementes de feijão sob atmosfera controlada, pois o vigor, representado pela porcentagem de germinação, se mantém.

As sementes armazenadas em todas as pressões parciais de gases, ao final dos 6 meses, apresentaram germinação acima do padrão mínimo exigido pelo ministério da

agricultura para comercialização, que é de 80% (MAPA, 2013). Assim, nas condições propostas por este trabalho, é possível fazer o armazenamento das sementes de feijão carioca em qualquer tratamento, pois o padrão mínimo exigido é alcançado, sendo a condição mais indicada 1,5 kPa de oxigênio e 9 kPa, de gás carbônico.

Benefícios foram encontrados, em longo prazo, por Glass et al. (1959), na manutenção da germinação do trigo durante o armazenamento em baixa pressão parcial de O₂, a 30 °C e 20% de umidade. As sementes armazenadas em CO₂ e nitrogênio mantiveram sua viabilidade, o que não ocorreu no armazenamento no ar ambiente. Di Magio; Shejbbal e Rambelli (1976) observaram maior germinação com maior pressão parcial de CO₂ quando comparado com o ar natural. Sementes ortodoxas se mostram melhores conservadas quando submetidas a ambientes secos e frios (BRACKMANN et al., 2002), pois quando armazenadas com baixos teores de água, menor que 10%, mantêm a longevidade.

No índice de velocidade de emergência, os níveis de CO₂ e umidade relativa não foram significativos, mas o que teve influência foram as diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*), sendo que os três foram distintos, a 5% de significância. Assim como a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de emergência apresentou valores superiores na fase inicial do experimento (controle). No *shelf life* os valores foram superiores aos analisados após o armazenamento, isso pode ter ocorrido pelo fato de a semente apresentar volta das atividades respiratória e enzimática. Os tratamentos que envolveram 1,5 kPa de O₂ e 9 kPa de CO₂, em umidade relativa ambiente e 70±10%, apresentaram valores do índice de velocidade de emergência maior que nas demais pressões parciais de gases. Umidade relativa do ar maior pode ter desencadeado o fim do estado de dormência ou do repouso fisiológico, entrando em atividade enzimática, dando maior resposta. O armazenamento em umidade de 70±10% funciona como um condicionamento osmótico, que consiste na hidratação das sementes em solução de baixo potencial osmótico, visando desencadear eventos metabólicos iniciais da germinação. Os resultados podem estar relacionados ao estímulo e à síntese de enzimas antioxidantes, bem como à ativação de componentes energéticos para a síntese de novos RNA e proteínas, estando disponível para as sementes substâncias precursoras na produção das macromoléculas (WAHDID et al., 2008; KIMBINZA et al., 2011; SILVA et al., 2016).

O teste de envelhecimento acelerado traz o efeito acentuado pela exposição das sementes às condições de alta umidade relativa do ar e elevada temperatura, fazendo com que ocorra redução acentuada da qualidade das sementes (AVACI et al., 2010; BARBOSA; COSTA; SÁ, 2011; MARCOS FILHO, 2015). Os níveis de CO₂ e umidade relativa não foram significativos, mas o que teve influência foram as diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*). Os tratamentos com umidade relativa de 70±10% apresentaram valores mais elevados, em comparação aos de umidade relativa ambiente, indicando que a umidade relativa alta pode induzir à reativação da atividade metabólica das

sementes, aumentando tal atividade. O teor de água das sementes tem influência acentuada e direta na sua longevidade, pois estimula a atividade metabólica do embrião (MACEDO; GROTH; SOAVE, 1999). A primeira atividade metabólica que acompanha o aumento do teor de água é a respiração que, quanto maior o teor de água, maior é a intensidade deste processo, ocorrendo aumento no metabolismo e ativação de enzimas respiratórias e hidrolíticas (AUMONDE et al., 2012). Quando o processo respiratório se mantém baixo, a manutenção da qualidade do produto armazenado é prolongada. O baixo teor de umidade reduz a atividade metabólica, assim possibilita a manutenção da qualidade fisiológica por período mais longo e baixa deterioração (CARDOSO; BINOTTI; CARDOSO, 2012).

Silva et al. (2014) observaram que o armazenamento de feijão por 12 meses em embalagem de polietileno (impermeável) vedada, em câmara fria a 10 °C e 65% de umidade relativa do ar, causou declínio no vigor das sementes, diminuindo o potencial fisiológico não somente da capacidade de germinação, mas também, fica mais lenta com as sementes submetidas ao envelhecimento acelerado. Desse mesmo modo, foi observado neste estudo, em que as porcentagens médias do envelhecimento acelerado são menores do que as porcentagens médias da germinação.

Sob condições climáticas adversas no condicionamento de sementes, existe uma técnica denominada condicionamento osmótico, que consiste na hidratação de sementes em água ou substratos umedecidos, induzindo a ativação dos processos metabólicos essenciais à germinação, sem que ocorra a emergência da raiz primária. Assim, no condicionamento osmótico ocorre ação de mecanismos de reparo de macromoléculas danificadas e de estruturas celulares, fazendo com que as sementes germinem de forma uniforme (RAMOS et al., 2015). Por esse motivo, podem ter ocorrido valores maiores da porcentagem de germinação após o armazenamento e no *shelf life*.

Para o crescimento médio de raiz, os níveis de CO₂ e umidade relativa não foram significativos, mas o que teve influência foram as diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*). Nas sementes avaliadas no controle, apresentaram valores reduzidos do que no pós-armazenamento e no *shelf life*, em todas as condições de armazenamento estudadas. O valor mais considerável de crescimento médio de raiz encontrado foi em T3 e T7 (com pressão parcial de 9 kPa de CO₂, a 20 °C, em (UR) ambiente e UR 70±10%).

O teste do comprimento de plântulas, juntamente com o teste de germinação, determina o potencial fisiológico das sementes, avaliando o vigor das sementes (NAKAGAWA, 1999). A interação entre as análises realizadas (controle, pós- armazenamento e *shelf life*) e tratamento foi significativa. O controle e o pós-armazenamento foram iguais estatisticamente em todos os tratamentos. No entanto, o *shelf life* se diferenciou dos demais. Desta maneira é possível recomendar o plantio das sementes de feijão 6 dias após saírem do armazenamento (*shelf life*), pois o crescimento da

parte aérea mostrou-se mais desenvolvido no *shelf life*, no T6 e T7 (6 e 9 kPa de CO₂, a 20 °C, com (UR) de 70±10%), com valores de 11,36 cm e 12,61 cm, respectivamente. O tratamento testemunha T8 (0,04 kPa de CO₂), pós-armazenamento e *shelf life*, pode ter tido o valor reduzido em consequência da atividade metabólica mais intensa pela condição normal de gases. Aumento do crescimento médio da raiz e parte aérea foi observado por Cassol et al. (2012), em estudo com feijão armazenado em 90 dias. Sendo a parte aérea responsável por captar energia advinda da luz, resultando em plantas de melhor qualidade e mais resistentes quando levadas a campo, que apresentam maior índice de sobrevivência e melhor desempenho, determinando futuramente maior estande de plantas, influenciando no grau de infestação de plantas daninhas e produção por unidade de área.

O teste de tetrazólio avalia o vigor das sementes mediante as enzimas desidrogenases e, quando a semente fica avermelhada, é indicativo da ocorrência de atividade respiratória nas mitocôndrias, indicando que a célula está viva (BRASIL, 2009). A interação entre as análises realizadas e o tratamento foi significativa. Os tratamentos T1, T2, T3 e T7 do controle e do *shelf life* são iguais entre si. Já T4, T5 e T6, em todas as análises, são estatisticamente diferentes. Santos, Menezes e Villela (2005) encontraram aumento da atividade da enzima malato desidrogenase e glutamato desidrogenase em sementes de feijão, pois o metabolismo respiratório foi aumentado, tendo em vista o aumento da umidade relativa do ar. Na análise após o armazenamento, os tratamentos que apresentaram atividade da enzima mais acelerado foram as testemunhas T4 e T8, submetidas à menor pressão parcial de CO₂ (0,04 kPa).

É possível observar que, após sete dias em que as sementes ficaram fora do armazenamento, retomaram sua atividade metabólica e, por isso, os valores médios para o teste de tetrazólio foram superiores, quando comparados ao período pós-armazenamento. Mas no *shelf life*, tratamento com 0,04 kPa CO₂ T4 e T8, ocorreu indício de perda da viabilidade das sementes.

Resende et al. (2003), estudando sementes de feijão armazenadas na presença de equipamento redutor de inóculo (dois cilindros herméticos com ar tratado a partir de equipamentos redutores de inóculo e dois cilindros herméticos sem tratamento do ar, durante oito semanas), observaram aumento das concentrações de CO₂, em virtude da respiração das sementes de feijão e diminuição acentuada nas porcentagens de sementes vigorosas ao longo do período, com elevação das sementes inviáveis.

Sob condições não apropriadas de armazenamento, ocorre o envelhecimento das sementes, que apresentam como consequência redução da viabilidade até a completa perda do poder germinativo, produção de plântulas de menor tamanho, produção de plântulas anormais (MATTEWS, 1985; PÁDUA, 1998).

Na Tabela 2 são apresentados os valores do coeficiente de correlação linear de Pearson das variáveis pesquisadas. O envelhecimento acelerado (EA) apresentou

correlação linear positiva com comprimento médio de raiz (CR). O tetrazólio (TZ) teve correlação baixa, com todas as variáveis, índice de velocidade de emergência (IVE) e teor de água (TA), evidenciando que esta variável não influenciou nenhum outro teste.

Tabela 2 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis: germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), comprimento médio de raiz (CR), comprimento médio da parte aérea (CPA), tetrazólio (TZ), índice de velocidade de emergência (IVE), teor de água (TA), das sementes de feijões carioca, armazenadas em diferentes pressões de CO₂, em umidade relativa ambiente e em 70±10%

	EA	CR	CPA	TZ	IVE	TA
GER	-0,33	0,14	-0,06	-0,04	0,47	0,21
EA		0,68	0,71*	-0,22	-0,92*	-0,24
CR			0,73*	-0,21	-0,44	0,01
CPA				0,04	-0,56	0,06
TZ					0,32	-0,19
IVE						0,21

Nota: *significativo em 5% de probabilidade, pelo teste t.

O teste do envelhecimento acelerado (EA) apresentou forte correlação com o comprimento médio da parte aérea (CPA), indicando que, quando a porcentagem de envelhecimento acelerado aumenta, aumenta também o comprimento médio da parte aérea, indicando alto vigor das sementes nos tratamentos com melhor porcentagem de germinação do envelhecimento acelerado. De modo semelhante, é possível observar que, quando ocorre o aumento do comprimento médio de raiz (CR), há aumento do comprimento médio da parte aérea (CPA), pois estes apresentaram alta e forte correlação positiva.

Já o envelhecimento acelerado (EA) apresentou forte correlação negativa com índice de velocidade de emergência (IVE), isso quer dizer que eles apresentam comportamentos contrários, em que, quando o índice de velocidade diminui o envelhecimento acelerado tende a aumentar. Tal observação pode ser constatada na Figura 1, em que o índice de velocidade de emergência do controle para as demais análises (pós-armazenamento e *shelf life*) teve redução de valores e, o envelhecimento acelerado apresentou aumento dos valores.

Um modelo usando dois componentes principais foi construído e 76% da variância dos dados foi explicada, pois estes explicam mais de 70% da variabilidade total. O primeiro componente principal (CP1) descreveu 56% da variância, enquanto o segundo componente (CP2) descreveu um adicional de 20%.

Na Figura 3 está representado o que foi observado na Tabela 2, com melhor visualização. O CP 1 no eixo x e o eixo y com as ordenadas do CP 2. A maior parte das análises estão projetadas paralelas ao eixo do CP 1. Observando as setas paralelas ao eixo x, conclui-se que o CP 1 é representado principalmente pelas variáveis envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência que possuem os maiores vetores e que influencia o CP, sendo que o envelhecimento acelerado tem influência inversa no CP 1 e

comportamento contrário ao índice de velocidade de emergência, possui influência direta, indicando que quando um aumenta o outro tende a diminuir.

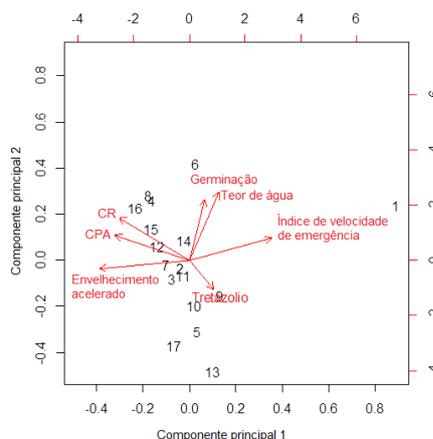


Figura 3 Gráficos biplot de distribuição dos scores das análises e vetores das variáveis entre os componentes principais CP1 e CP2.

Nota: Comprimento médio de raiz (CR), comprimento médio da parte aérea (CPA).
 1 = Controle. 2 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. 3 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa, 4 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. 5 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR ambiente, pós-armazenamento). 6 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. 7 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. 8 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. 9 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR de 70±10%, após o armazenamento). 10 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. 11 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. 12 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. 13 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR ambiente no tempo de armazenamento *shelf life*). 14 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. 15 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. 16 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. 17 = O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR de 70±10%, no tempo de armazenamento *shelf life*).

Observa-se que o comprimento médio de raiz e comprimento médio da parte aérea têm comportamento parecido. O mesmo ocorre com a germinação e o teor de água.

Os tratamentos com maior destaque são: T1 (controle), T6 (O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa, com (UR) de 70±10%, no tempo de armazenamento pós-armazenamento), T13 (O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa, em (UR) ambiente, no tempo de armazenamento *shelf life*) e T17 (O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa, com (UR) de 70±10%, no tempo de armazenamento *shelf life*). Os testes de germinação, teor de água e tetrázólio não apresentaram correlação, mas seguiu-se uma tendência, pois o teste de tetrázólio é um teste subjetivo, instável, difícil de avaliar.

4 CONCLUSÕES

- A qualidade fisiológica das sementes de feijão carioca manteve-se durante o armazenamento em todos os tratamentos.
- O armazenamento com umidade relativa de 70±10% influenciou positivamente as sementes, principalmente nas análises *shelf life*, pois o processo respiratório e as atividades enzimáticas voltaram a apresentar atividade que se apresentavam baixas pelo repouso fisiológico gerado pela pressão parcial de gás carbônico.

- As sementes armazenadas com pressão parcial de 9 kPa de CO₂ tiveram o processo respiratório e atividade da peroxidase baixas, conservando a integridade das membranas celulares, permitindo que as sementes permanecessem com alto poder de germinação, viabilidade, vigor e, conseqüente, a produção no campo.
- A atmosfera controlada é uma alternativa eficiente na manutenção da germinação e do vigor das sementes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os resultados obtidos neste estudo poderão contribuir com trabalhos futuros em relação à semente de feijão armazenada sob atmosfera controlada, com pressões parciais de CO₂, com a necessidade de realização de mais testes da fisiologia, envolvendo vigor e viabilidade.
- Como não ocorreu diferenciação estatística e a observação da manutenção da qualidade das sementes com 9 kPa de CO₂, em futuras pesquisas pode-se variar a pressão parcial do CO₂ a partir de 9 kPa de CO₂.
- Fazer testes futuros com aumento do tempo de armazenamento (9 meses ou 10 meses), verificando o comportamento das sementes, bem como verificando o comportamento das sementes ao longo do armazenamento.
- Fazer teste com diferentes tempos de *shelf life*, não apenas 7 dias após o armazenamento.
- Para outros cultivares fazer a verificação de qual pressão parcial utilizar e quanto tempo deve permanecer em armazenamento e *shelf life*.
- Não fazer o plantio das sementes de feijão armazenadas com diferentes pressões parciais de gases logo após a saída do armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; LACERDA, A. F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 13, n. 5, p. 606-613, 2009.
- AUMONDE, T. Z.; MARINI, P.; MORAES, D. M.; MAIA, M. S.; PEDÓ, T.; TILLMANN, M. A. A.; VILLELA, F. A. Classificação do vigor de sementes de feijão-miúdo pela atividade respiratória. **Interciência**, Caracas – Venezuela, v. 37, n. 1, p. 55-58, 2012.
- AVACI, B. A.; COELHO, S. R. M.; NÓBREGA, L. H. P.; ROSA, D. M.; CHRIST, D. Qualidade fisiológica de sementes de feijão envelhecidas em condições de alta temperatura e umidade relativa. **Publicatio UEPG**, Ponta Grossa – PR, n. 16, v. 1, p. 33-38, 2010.
- BARBOSA, R. M.; COSTA, D. S.; SÁ, M. E. Envelhecimento acelerado de sementes de espécies oleráceas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia – GO, v. 41, n. 3, p. 328-335, 2011.
- BRACKMANN, A.; GIEHL, R. F. H.; SESTARI, I.; STEFFENS, C. A. Condições de atmosfera controlada, temperatura e umidade relativa no armazenamento de maçãs Fuji. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v. 29, p. 803-809, 2005.
- BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D.; MEDEIROS, E. A. A. Condição de armazenamento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca “Ft Bonito”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa – MG, v. 27, p. 16-20, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 2009. 365 p.
- CARDOSO, R. B.; BINOTTI F. F. S.; CARDOSO, E. D.; Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia – GO, v. 42, p. 272-278, 2012.
- CASSOL, F. D. R.; FORTES, A. M. T.; MENDONÇA, L. C.; BUTURI, C. V.; MARCON, T. R. Physiological behavior of bean's seeds and grains during storage. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro – RJ, v. 88, n. 2, p. 1070-1077, 2016.
- CASSOL, F. D. R.; FORTES, A. M. T.; NUNES, J. V.D.; VEIT, M. R.; CRUZ, M. Qualidade fisiológica de lotes de sementes de feijão em função do armazenamento. **Cultivando o Saber**, Cascavel – PR, v. 5, n. 2, p. 85-97, 2012.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005.
- COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C.; SCHOENINGER, V. Physico-chemical properties of common beans under natural and accelerated storage conditions. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago – Chile, v. 40, n. 3, p. 637-644, 2013.
- DELOUCHE, J. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, Pelotas – RS, n. 6, p. 24-31, 2002.
- DI MAGGIO, D.; SHEJBBAL, J.; RAMBELLI, A. Studio della sisterratica della fira fungina in frumento a diversa umidita conservato in atmosfera controllata. **Inf Fitopatol**, v. 26, p. 11-18, 1976.

- ELIAS, M. C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. Pelotas: Santa Cruz, 2008.
- EL-RAMADY, H. R.; DOMOKOS-SZABOLCSY, E.; ABSALLA, A.; TAHA, H. S.; FÁRI, M. Sustainable agriculture reviews. **Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage**, v. 15, p. 65-1527, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 412 p.
- FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R.; PAES, J. L.; COSTA, A. R.; ROMA, R. C. C. Armazenamento de soja em silos tipo bolsa. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 1, p. 91-100, 2009.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto – MG, v. 1, n. 1, p. 1-9. 2011.
- FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v. 38, n. 2, p. 191-218, 2002.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Phaseolus bean post-harvest operations**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-av015e.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.
- GLASS, R. L.; PONTE, J. G.; CHRISTENSEN, C. M.; GEDDES, W. F. Grain storage studies XXVII. The influence of temperature and moisture level on the behavior of wheat stored in air or nitrogen. **Cereal Chem**, v. 36, p. 341-356, 1959.
- GOODSELL, S.F., HUEY, G., ROYCE, R. The effect of moisture and temperature during storage on cold test reactions of Zea mays seed stored in air, carbon dioxide, or nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 47, p. 61-64, 1995.
- JAYAS, D. S.; JEYAMKONDAN. Modified atmosphere storage of grains meats fruits and vegetables. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 3, p. 235-251, 2002.
- JONES, R. B. Effects of postharvest handling conditions and cooking on anthocyanin, lycopene, and glucosinolate content and bioavailability in fruits and vegetables. **Journal of crop and Horticultural Science**, v. 35, n. 2, p. 219-227, 2007.
- KIMBINZA, S.; BAZIN, J.; BAILLY, C.; FARRANT, J. M.; CORBINEAU, F.; BOUTEAU, H. M. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. **Plant Science**, v. 181, n. 3, p. 309-315, 2011.
- LOCHER, R.; BUCHELI, P. Comparison of soluble sugar degradation in soybean seed under simulated tropical storage conditions. **Crop Science**, v. 38, n. 5, p. 1229-1235, 1998.
- MACEDO, E.C.; GROTH, D.; SOAVE, J. Influência da embalagem do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina – PR, v. 21, n. 1, p. 67-65, 1999.
- MAGAN, N.; SANCHIS, V.; ALDRED, D. **Role of spoilage fungi in seed deterioration**. In: Aurora, D. K. (Ed.), *Fungal Biotechnology in Agricultural, Food and Environmental Applications*. Marcell Dekker, p. 311–323., 2004.

- MARCOS FILHO, J. M. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.
- MATTHEWS, S. Physiology of seed ageing. **Outlook on Agriculture**, v.14, n. 2, p. 89-94, 1985.
- MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. O potencial de armazenamento de cada semente. **Seed News**, Pelotas – RS, v. 1, n. 4, p. 22-25, 2009.
- MILLER, J. N.; MILLER, J. C. **Statistics and chemometrics for analytical chemistry** (4th Ed.). United Kingdom: Pearson Education Limited, 2000.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA - **Instrução normativa Nº 45**, de 17 de setembro de 2013. Anexo XXIII - Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão. (*Phaseolus vulgaris* L.). Disponível em: http://www.lex.com.br/legis_24861657_InstruçãoNormativa_N_45_DE_17_desetembro_de_2013.aspx. Acesso em: 04 mai. 2018.
- MOUSSA, B.; LOWENBERG-DEBOER, J.; FULTON, J.; BOYS, K. The economic impact of cowpea research in West and Central Africa: A regional impact assessment of improved cowpea storage technologies. **Journal of Stored Products Research**, v.47, p.147-156, 2011.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. **Informativo Abrates**, Londrina – PR, v. 9, p. 2.1-2.24. 1999.
- PÁDUA, G. P. Vigor de sementes e seus possíveis efeitos sobre a emergência em campo e a produtividade. **Informativo ABRATES**, v. 8, n. 1/2/3, p.46-48, 1998.
- PALABIYIK, B.; PEKSEN, E. Effects of seed storage periods on electrical conductivity of seed leakage, germination and field emergence percentage in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Asian Journal of Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 3033-3041, 2008.
- RAMOS, A. R.; BINOTTI, F. F. S.; SILVA, T. R.; SILVA, U. R. Bioestimulante no condicionamento fisiológico e tratamento de sementes de feijão. **Revista Biociências**, Taubaté – SP, v. 21, n. 1, p. 76-88, 2015.
- RESENDE, O.; BORÉM, F. M.; CARVALHO, M. L. M.; GRIS, C. F. Análises fisiológicas em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) armazenadas na presença de equipamento redutor de inóculo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande - PB, v. 5, n. 2, p. 133-144, 2003.
- SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina – PR, v. 27, n. 1, p.104-114, 2005.
- SCARIOT, M. A.; TIBURSKI, G.; REICHERT JUNIOR, F. W.; RADÜNZ, L. L.; MENEGUZZO, M. R. R. Moisture content at harvest and drying temperature on bean seed quality. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia – GO, v. 47, n. 1, p. 93-101, 2017.
- SIADAT, S. A.; MOOSAVI, A.; ZADEH, M. S. Effects of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of maize seeds under different aging treatments. **Research Journal of Seed Science**, v. 5, n. 2, p. 51-62, 2012.

SILVA, C. D.; PAZETO, M. S. R.; VIEIRA, R. D. Electrical conductivity and mineral composition of the Imbibition solution of bean seeds during storage. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v. 36, n. 1, p. 147-155, 2012.

SILVA, M.; SOUZA, H. R. T.; DAVID, H. M. S. S.; SANTOS, L. M.; SILVA, R. F.; AMARO, H. T. R. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão-comum produzidas no norte de Minas Gerais. **Revista Agro@Ambiente**, Boa Vista – RR, v. 8, p. 97-103, 2014.

SILVA, T. A.; SILVA, P. B.; SILVA, E. A. A.; NAKAWA, J.; CAVARIANI, C. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 46, n. 2; p. 227-232, 2016.

UEBERSAX, M. A.; SIDDIQ, M. **Postharvest storage quality, packaging and distribution of dry beans**. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. Dry beans and pulses: production, processing and nutrition. Ames: Jonh Wiley & Sons, 2013. p. 75-10.

VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. (Ed.). **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 233-248.

VIEIRA, E. H. N.; YOKOYAMA, M. Colheita, processamento e armazenamento. In: VIEIRA E. H. N.; RAVA, C. A. (Ed). **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 233-247.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de; **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal - SP: FUNEP, 1994. 164 p.

WAHID, A.; NOREEN, A.; BASRA, S. M. A.; GELANI, S.; FAROOQ, M. Priming-induce metabolic changes in sunflower (*Helianthus annuus* L) achene improve germination and seedling growth. **Botanical Studies**, v. 49, n. 2, p. 343-350, 2008.

WEINBERG, Z. G.; YAN, Y.; CHEN, Y.; FINKELMAN, S.; ASHBELL, G.; NAVARRO, S. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions - in vitro studies. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, p. 136-144, 2008.

ARTIGO 2 – QUALIDADE TECNOLÓGICA DO FEIJÃO CARIOCA SUBMETIDO À ATMOSFERA CONTROLADA

RESUMO

O uso de técnicas apropriadas de armazenamento, como a atmosfera controlada, permitem que as características de qualidade dos grãos de feijão sejam preservadas para o consumo. A escassez de informações sobre a conservação da qualidade físico-química dos grãos de feijão sob a atmosfera controlada durante o armazenamento instigam pesquisas em torno dessa temática. Nesse sentido, o feijão é amplamente passível de deterioração e susceptível a alterações durante o armazenamento, sendo o objetivo do presente estudo avaliar a qualidade dos grãos de feijão armazenados em condições de atmosfera controlada. Assim, foram utilizados grãos de feijão carioca, variedade imperador, sendo cada tratamento submetido à umidade relativa ambiente e à umidade relativa de $70\pm 10\%$, na temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob diferentes pressões parciais de gás carbônico (3, 6 e 9 kPa), com taxa fixa de oxigênio (1,5 kPa). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial completo, com 4 repetições para cada tratamento. Os testes realizados para tais avaliações foram: respiração, teor de água, capacidade de hidratação, tempo de cozimento, cor dos grãos, acidez titulável, sólidos solúveis totais, textura do grão cozido, capacidade antioxidante, taninos e atividade da peroxidase. Nos grãos armazenados em maior pressão parcial, com 9 kPa de CO_2 , preservou-se melhor a qualidade físico-química, mecânica e enzimática, que pode ser confirmada pela menor respiração, teor de água, tempo de cozimento, parâmetros a^* e b^* , textura, taninos e atividade da peroxidase, maior capacidade de hidratação e capacidade antioxidante. O armazenamento dos grãos em atmosfera controlada por 6 meses mostrou-se favorável na preservação nas características do feijão carioca.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., *shelf life*, respiração, textura, capacidade antioxidante, atividade da peroxidase, tempo de cozimento.

1 INTRODUÇÃO

As condições de armazenamento alteram as características físico-químicas dos grãos de feijão e, conseqüentemente, trazem mudanças importantes no amido, fibras e outros componentes (SILOCHI et al., 2016). Os produtos colhidos estão na sua maturidade fisiológica, período em que a umidade do grão é elevada e imprópria para o armazenamento, propiciando o desenvolvimento de fungos e insetos, gerando rápida degradação. A secagem correta dos grãos, até a diminuição da umidade para um nível adequado e seguro no armazenamento, é o processo mais importante, pois, desse modo, é possível a manutenção da qualidade, suas propriedades, permitindo que os grãos estocados permaneçam em excelente estado de conservação (JAYAS; JEYAMKONDAN, 2002; WEBER, 2005; SILVA, 2008).

A deterioração da massa de grãos armazenados é resultado da interação entre variáveis físicas, como temperatura, umidade relativa do ar e propriedades físicas da massa de grãos. Também é resultado de variáveis químicas como a disponibilidade de oxigênio no ar intergranular e, de variáveis biológicas de fontes internas (longevidade, respiração, maturidade pós-colheita e germinação) e de fontes externas (fungos, leveduras, bactérias, insetos, ácaros, roedores e pássaros) (FARONI et al., 2009; HERRMANN et al., 2009).

A temperatura é um fator que afeta grandemente a armazenagem dos grãos. Em conjunto com o teor de água, ela é considerada importante na interação entre fatores que promovem a deterioração de grãos, pois pode causar efeito na taxa de respiração. As reações químicas envolvidas no processo respiratório são controladas por enzimas e o aumento do teor de água dos grãos favorece a atividade biológica, pois as enzimas são facilmente mobilizadas para o processo. Quanto maior for a temperatura, maior será a atividade respiratória e maior a atividade metabólica e reações pela atividade enzimática dos grãos, aumentando, assim, a deterioração, pois há aumento do calor vital, sendo necessário entrar com o controle de temperatura (KAYS, 1991; SÁNCHEZ-MATA; CÁMARA; DíEZ-MARQUÉS, 2003; MAGAN; SANCHIS; ALDRED, 2004; AGUIAR et al., 2004; CHITARRA; CHITARRA, 2005; ELIAS, 2008; ELIAS, 2009; ZUCHI et al., 2011; EL-RAMADY et al., 2015).

Os grãos, depois de colhidos, continuam a viver e, como todos os organismos vivos, respiram, assim envelhecem pela ocorrência de haver reações oxidativas. A taxa de respiração indica a taxa global do metabolismo da planta. Todas as alterações metabólicas que ocorrem pós-colheita são importantes, especialmente aquelas que têm influência direta sobre a qualidade do produto (GOYETTE et al., 2012), em que os grãos estão passíveis de

transformações contínuas (SÁNCHEZ-MATA; CÁMARA; DÍEZ-MARQUÉS, 2003; FARONI et al., 2009).

Ao armazenar produtos perecíveis, como é o caso de grãos, deve-se buscar ao máximo retardar a perda de qualidade, nutrientes e vitaminas importantes no produto. Ao utilizar armazenamento com temperaturas baixas e com atmosfera controlada com oxigênio (O_2) e gás carbônico (CO_2), as perdas da qualidade dos grãos, na pós-colheita são minimizadas (JAYAS; JEYAMKONDAN, 2002; JONES, 2007; EL-RAMADY et al., 2015).

No armazenamento em atmosfera controlada, as perdas de qualidade reduzem, pois são controlados continuamente os gases do meio de armazenamento. É um dos métodos de conservação de alimentos que mantém a qualidade natural dos produtos alimentares, além de aumentar a vida útil de armazenamento (JAYAS; JEYAMKONDAN, 2002; JAYAS; WHITE, 2003). Para aumentar a vida útil dos produtos armazenados em atmosfera controlada, reduzem-se as pressões parciais de O_2 entre 1% e 3% e aumentam-se os níveis de CO_2 , entre 2% e 20%, reduzindo, assim, a intensidade respiratória, as reações, as transformações metabólicas e o calor vital (BRACKMANN, 2007). No entanto, a mistura de gás irá mudar constantemente, devido à respiração e atividade metabólica do produto, sendo necessário acompanhar e manter os níveis de gases pré-estabelecidos, ao longo do processo de armazenagem. O monitoramento é realizado por meio de analisadores de gases, através dos quais é conduzido um fluxo contínuo do gás da câmara de atmosfera controlada (CHITARRA; CHITARRA, 2005), que é a estrutura de armazenagem empregada nessas condições.

Neste sentido, além de manter as características físico-químicas, mecânicas e atividade enzimática no armazenamento de grãos sob atmosfera controlada, busca-se produtos de qualidade, com maior aceitação dos consumidores. Por isso, os trabalhos na área são necessários, para que possam ser orientadas novas pesquisas e processos em torno da atmosfera controlada com grãos de feijão. Considerando o exposto, estabeleceu-se como objetivo do presente trabalho avaliar as alterações de qualidade tecnológica, enzimática do feijão, após o armazenamento em condições de atmosfera controlada dos grãos de feijão carioca, na temperatura de 20 °C, com diferentes pressões parciais de gás carbônico, na taxa fixa de oxigênio (1,5 kPa), em umidade relativa ambiente e umidade relativa de $70 \pm 10\%$.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados grãos de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) da variedade Imperador, desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas - SP. Os grãos foram produzidos na safra de 2015/2016, cultivados na região Oeste do Paraná (24° 57' 20" Sul, 53° 27' 19" Oeste), solo classificado como Vermelho distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, substrato basáltico, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). Adquiridos em armazém, onde passaram pelo processo de limpeza e secagem, apresentando ao final teor de água de 16%. Em seguida, os grãos foram armazenados nas condições propostas na Tabela 1.

2.1 Armazenamento dos grãos e condições experimentais

No laboratório da Universidade Federal da Fronteira Sul, de Laranjeiras do Sul – PR, os grãos permaneceram sob as pressões parciais pré-estabelecidas de gases nas câmaras herméticas sob atmosfera controlada, o teor de água foi reduzido a 11% em estufa com circulação de ar, a 50 °C. Foram utilizadas embalagens de rafia seladas, com amostra de 350 g de feijão, transferidos para câmaras vedadas, armazenadas em sala com controle de temperatura. A temperatura e a umidade dentro das câmaras de armazenamento foram determinadas por psicrômetros. A temperatura foi mantida em 20 °C e a umidade controlada por umidificador e desumidificador presente dentro de cada câmara.

Na parte superior das câmaras, foram inseridas mangueiras, através das quais, foi possível injetar os gases até a pressão parcial ideal e também, o local onde as leituras das pressões parciais foram realizadas.

As pressões parciais de CO₂ e O₂ dentro das câmaras foram monitoradas pelo analisador digital de gases eletrônico de fluxo contínuo de mesa (marca Kalritec, modelo Oxidox II). Para a manutenção das pressões parciais desejada dos gases, nas diferentes condições de armazenamento, realizou-se a cada 4 dias. As avaliações das pressões parciais dos gases foram feitas por meio de analisadores eletrônicos de CO₂ e O₂ e, caso houvesse necessidade, a correção era realizada até atingir os níveis pré-estabelecidos (Tabela 1). A regulação da pressão parcial de oxigênio foi obtida por meio de cilindro de alta pressão do gás de nitrogênio e o gás carbônico por meio de injeção de CO₂. O nitrogênio consegue eliminar parte do oxigênio do ar por meio da varredura na câmara hermética.

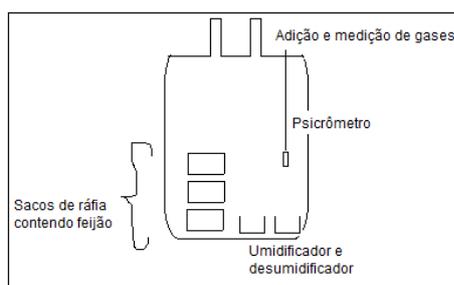


Figura 1 Esquema de armazenamento e controle dos gases.

Para atingir a concentração de gases de cada tratamento, as pressões parciais dos gases foram obtidas mediante o ar atmosférico no ambiente de armazenamento com injeção de N_2 e posterior injeção de CO_2 , provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível pré-estabelecido para cada tratamento. O tratamento testemunha, com baixo kPa de CO_2 , foi obtido com cal hidratada, que por sua vez captura o gás carbônico do ambiente e evita o acúmulo de CO_2 .

As condições de armazenamento são descritas na Tabela 1, em umidade relativa ambiente e umidade relativa de $70 \pm 10\%$. Os grãos armazenados permaneceram sob estas condições por 6 meses de armazenamento em câmaras de polietileno fechadas hermeticamente. As amostras foram avaliadas antes, ao final do armazenamento de 180 dias e 7 dias após o armazenamento (*shelf life*). Cada tratamento foi armazenado em câmaras diferentes.

Tabela 1 Pressões parciais de gases (O_2 mais CO_2) da atmosfera controlada e umidade relativa do ar, dos tratamentos propostos à temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$

Tratamentos	O_2 (kPa)	CO_2 (kPa)	Umidade relativa
T1	1,5	3	Ambiente ($55 \pm 10\%$)
T2	1,5	6	Ambiente ($55 \pm 10\%$)
T3	1,5	9	Ambiente ($55 \pm 10\%$)
T4 (testemunha)	21	0,04	Ambiente ($55 \pm 10\%$)
T5	1,5	3	$70 \pm 10\%$
T6	1,5	6	$70 \pm 10\%$
T7	1,5	9	$70 \pm 10\%$
T8 (testemunha)	21	0,04	$70 \pm 10\%$

Antes de passar pelo armazenamento, houve uma avaliação dos grãos, denominada de controle. Outra avaliação ocorreu após o armazenamento em atmosfera controlada. E outra, após o período de armazenamento em atmosfera controlada, os grãos foram expostos às condições atmosféricas normais, por sete dias, período denominado *shelf life* e, analisadas após este período.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, com 2 fatores, 4 repetições para cada tratamento, organizados da seguinte forma: as análises realizadas no controle (antes do armazenamento), após o armazenamento e no *shelf life*, sendo o

tempo de armazenamento o primeiro fator. A atmosfera controlada, composta pelas pressões parciais dos gases de oxigênio e gás carbônico (1,5 kPa O₂ - 3 kPa CO₂ em umidade relativa ambiente e 70±10%, 1,5 kPa O₂ - 6 kPa CO₂ em umidade relativa ambiente e 70±10%, 1,5 kPa O₂ - 9 kPa CO₂ em umidade relativa ambiente e 70±10% e 21 kPa O₂ - 0,04 kPa CO₂ em umidade relativa ambiente e 70±10%), é o segundo fator em 8 níveis.

As análises foram realizadas no laboratório de controle de qualidade da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Para realização de algumas análises, foi necessário o preparo, de modo que os grãos passaram por moinho de facas refrigerado, na temperatura de 16 °C. Após este procedimento, as amostras foram peneiradas em peneira de 50 mesh.

2.2 Determinações da qualidade tecnológica dos grãos de feijão

As características físicas dos grãos, tais como cor, tamanho, forma e qualidade culinária, incluindo a hidratação rápida e baixo tempo de cozimento, caldo grosso, sabor e textura são fatores importantes (BASSINELLO, 2008). A qualidade do feijão pode ser determinada pela aceitabilidade do consumidor, sendo mensurado pelas características do tempo de cozimento, absorção de água, cor do produto e suas características nutricionais (SCHOENINGER et al., 2013).

2.3 Taxa de respiração

O teste da taxa de respiração baseia-se na determinação indireta da taxa respiratória dos grãos após o *shelf life*, através da leitura da concentração de CO₂ no frasco de vidro diariamente, através da produção de gás carbônico pelos grãos. Para tanto, foram utilizadas 4 repetições de 0,350 kg de grãos para cada tratamento. O acondicionamento foi feito em frasco de vidro, de volume 0,6 L, herméticos e adaptados para a realização da leitura da pressão parcial de gases no seu interior. A cada 24 horas, foi realizada a leitura da pressão parcial de CO₂ dentro de cada frasco, com auxílio do determinador de gases. Após a leitura, eles foram abertos por, aproximadamente, 2 minutos para normalizar a pressão parcial de O₂ e CO₂ no seu interior. Em seguida, os frascos foram fechados para que, após 24 horas, fosse possível nova leitura. Os resultados foram expressos em mol de CO₂.kg grão⁻¹. h⁻¹.

O teor de água dos grãos foi determinado utilizando-se o método padrão de estufa na temperatura 105 ± 3 °C, até a massa constante de uma amostra inicial contendo 5,0 g de grãos (BRASIL, 2009) e os valores (bulbo seco) foram expressos em porcentagem (%).

A capacidade de hidratação (CH), antes do cozimento, foi determinada aplicando-se a metodologia proposta por Ertas (2011). As amostras foram pesadas com, aproximadamente, 30 gramas e, em seguida, foram acondicionadas em béqueres com capacidade de 250 mL, no qual foram adicionados 100 mL de água destilada. O produto foi mantido em condições de temperatura ambiente, durante o período de 16 horas. Após o processo de hidratação, os grãos foram drenados e mantidos durante 15 minutos sobre papel toalha e então pesados novamente. Calculou-se o valor de CH através da relação entre a massa dos grãos hidratados e a massa seca. A capacidade de hidratação, com base nos valores da massa dos grãos, obtida antes e após o processo, foi calculada e expressa em porcentagem.

O tempo de cozimento (minutos) foi avaliado nos grãos, utilizando-se o aparelho cozedor de Mattson modificado, em condições atmosféricas ambientais, seguindo o método proposto por Proctor e Watts (1987). O tempo de cozimento foi considerado quando, no mínimo, 50% (TC_{50}) dos grãos foram perfurados pelas hastes metálicas do aparelho.

A cor dos grãos crus foi determinada pela leitura direta em aparelho colorímetro (Konica Minolta ®) CR410), com abertura de 50 mm, o qual considera no seu sistema as coordenadas L^* , a^* e b^* , responsáveis pela luminosidade, teor de vermelho e teor de amarelo, respectivamente. O aparelho foi previamente calibrado em placa cerâmica de acordo com padrões pré-estabelecidos pelo fabricante ($Y= 85,8$; $x=0,3195$; $y= 0,3369$), utilizando-se o iluminante D65 que representa a média da luz do dia. Os grãos foram então colocados sob o acessório de acomodação de amostras do tipo granulares (modelo CR-A50) e as leituras realizadas em triplicata para cada tratamento (OOMAH et al., 2011).

O teor de sólidos solúveis foi determinado na água e obtido na determinação da capacidade de hidratação através da leitura direta da graduação em °brix em refratômetro de bancada tipo Abbé (MATELLA; MISHRA; DOLAN, 2013).

2.4 Propriedades mecânicas dos grãos de feijão

Os testes de textura foram realizados nos grãos recém-colhidos (tempo inicial) e, ao final do período de armazenamento, submetidos ao cozimento. Os grãos passaram pelo processo de hidratação, na relação 1:10 em água destilada, pelo período de 16 horas, em

temperatura ambiente de 25 °C. Após esse período, a água foi drenada e o excesso removido com papel toalha, por 2 minutos (PAIXÃO, 2011).

Os grãos de feijão foram submetidos à cocção em 250 mL de água destilada a 100 °C. Em cada condição experimental, 25 grãos de feijão passaram pelo processo de cozimento, seguindo a média da análise do tempo de cozimento e, somente 10 grãos foram levados individualmente ao texturômetro, sendo que a finalização do teste se deu quando o corpo de prova perfurou o grão de feijão com a respectiva força no ponto de repouso (COELHO et al., 2009).

Através do aparelho texturômetro *Stable Micro Systems*, modelo TAX.T.*plus* (*Texture Analyser*), com corpo de prova tipo agulha, a textura do feijão foi determinada. Para tanto, os grãos foram analisados individualmente, colocados no aparelho e pela força de compressão igual a 0,05 N, fundo de escala ("range") de 20 como "probe", utilizando cilindro de alumínio de 35 mm, em velocidade constante de 2,0 mm.s⁻¹ (COELHO et al., 2009; GHASEMLOU; GHARIBZAHEDI; EMAM-DJOMEH, 2013). A máxima força de compressão (N.grão⁻¹) é indicador de dureza do feijão (SIQUEIRA et al., 2014).

2.5 Característica química dos grãos de feijão

O método para avaliar a acidez titulável consistiu em titular soluções de álcali padrão com NaOH 0,01 M a acidez do produto, que foi expressa em mL de solução molar por cento (IAL, 2008).

A determinação dos compostos fenólicos nos grãos foi realizada pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu. A solução metanol:água (2:1) foi utilizada como extrator, em procedimento de agitação em vórtex por 5 minutos, banho ultrassônico por 25 minutos e centrifugação por 15 minutos a 3.600 rpm. O sobrenadante foi transferido para um balão de 10 mL e repetiu-se o processo, ao final, completou-se o volume do balão com a solução extratora. Foi colocado 1 mL do adquirido em tubo de ensaio e adicionado 100 µL do reagente Folin-Ciocalteu e 300 µL da solução saturada de Na₂CO₃, estes permaneceram em banho maria a 40 °C por 30 minutos e, em seguida, foi feita a leitura em espectrofotômetro a 765 nm. Os resultados estão expressos em miligrama equivalente de ácido tânico por 100 gramas de amostra (base seca) (HORWITZ, 2005).

A capacidade antioxidante foi determinada pelo método fotométrico de sequestro de radicais livres (DPPH - 2,2 difenil-1-picrilhidrazil) (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSSET, 1995). Para tanto, utilizou-se o extrato da amostra preparada na determinação dos compostos fenólicos e, em tubo de plástico, tipo Falcon, foram adicionados 0,10 mL do extrato preparado para a determinação dos compostos fenólicos, juntamente com 2,90 mL

de solução padrão DPPH (na concentração de 103,2 μM). Esta mistura foi deixada no escuro e, em mesa agitadora, à temperatura ambiente por 24 horas (CEVALLOS-CASALS; CISNEROS-ZEVALLOS, 2003). A absorvância das amostras foi medida em espectrofotômetro a 515 nm, utilizando o metanol como branco. Foi utilizada curva padrão de Trolox (6 – hidroxil – 2,5,7,8 – tetrametilcromano – 2- ácido carboxílico), para o cálculo e a expressão dos resultados em micrograma Trolox equivalente por grama de matéria seca ($\mu\text{g TEAC. g}^{-1}$) (REYES; VILLARREAL; CISNEROS-ZEVALLOS, 2007).

2.6 Atividade enzimática dos grãos de feijão

Antes da atividade da peroxidase, os grãos de feijão foram preparados para tanto. Por isso, foram liofilizados por 24 horas e deixados no congelador até a realização das análises. Preparo que foi realizado para que a atividade enzimática dos grãos paralisasse. Para a extração da amostra, os grãos foram submetidos ao moinho de facas e peneirados a 50 mesh. Foram pesadas 0,3 gramas de amostra. A atividade da enzima peroxidase foi determinada de acordo com metodologia de Teisseire e Guy (2000). O sistema de reação foi composto por 30 mL de extrato enzimático diluído; tampão fosfato de potássio 50 mmol.L^{-1} pH 6,5; pirogalol 20 mmol.L^{-1} e peróxido de hidrogênio 5 mmol.L^{-1} . A reação foi conduzida a temperatura ambiente por 5 minutos. A leitura realizada em espectrofotômetro na absorvância de 430 nm. Considerou-se uma unidade enzimática como a quantidade de enzima que aumentou 0,001 unidade de absorvância por minuto de reação. A atividade enzimática da peroxidase foi expressa em unidade/g de farinha/minuto.

2.7 Análise estatística

Os dados relativos quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade foram testados pelo Teste de Bartlett e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA). Para os dados que não atenderam aos pressupostos de normalidade e igualdade de variâncias, utilizou-se a transformação box-cox. A comparação de média foi realizada por meio da aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, pelo pacote Expdes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a média dos valores da taxa de respiração dos grãos de feijão carioca, armazenados por 6 meses sob condições de atmosfera modificada.

A produção de CO_2 pelos grãos de feijão armazenados a 21 kPa de O_2 e 0,04 kPa CO_2 foi maior, seguido de 3, 6 e 9 kPa de CO_2 , apresentando um pico da respiração climatérica, com elevação drástica da taxa respiratória no terceiro dia após a abertura das câmaras. Quanto maior a taxa respiratória, ou seja, maior liberação de CO_2 e menor pressão parcial de kPa de CO_2 , há aumento no metabolismo, gerando alterações nas características físicas e químicas, reduzindo a vida útil do produto (BRACKMANN et al., 2010).

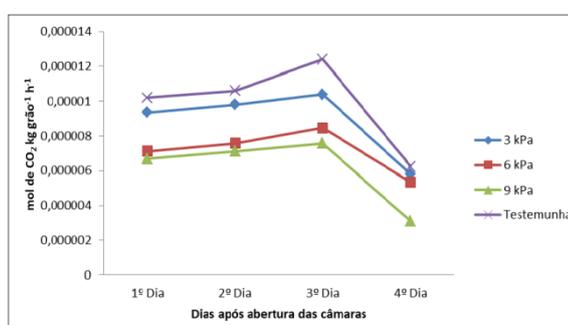


Figura 2 Taxa respiratória dos grãos de feijão armazenados por 180 dias, imediatamente após a abertura das câmaras de armazenamento.

O grão utiliza o oxigênio existente nos espaços intergranulares para o processo respiratório. Juntamente com esse processo acontece a degradação de substâncias nutritivas. A velocidade da degradação e o processo respiratório estão relacionados à temperatura, ao teor de água dos grãos e à condição atmosférica na armazenagem. Quanto maior a quantidade de água existente no grão, maior sua degradação (BRAGANTINI, 2005). Conforme se visualiza na Figura 3, a maior porcentagem de teor de água estava nos tratamentos com o armazenamento a umidade relativa de $70 \pm 10\%$. Os tratamentos com maior teor de água foram observados em 0,04, 3, 6 e 9 kPa de CO_2 , respectivamente, indicando maior respiração nestes mesmos tratamentos. Tendo-se assim uma relação, quanto maior o teor de água, maior a respiração dos grãos armazenados. Durante a respiração há geração de água, aumentando assim o teor de água do produto, gerando um ciclo, pois quanto mais água, maior o teor de água, promovendo mobilidade de substâncias que aumentam a atividade de enzimas e de outras substâncias responsáveis pela degradação, sendo maior a taxa respiratória e aumentando o calor vital, que é influenciada pelo aumento da temperatura (ALENCAR et al., 2009).

Estudos com maçãs comprovaram que a menor taxa respiratória se dá em condições com baixo O₂ e alto CO₂ (STEFFENS et al., 2007). Concentrações elevadas de CO₂ inibem algumas enzimas do ciclo dos ácidos tricarbóxicos, diminuindo assim o metabolismo e a respiração (BRACKMANN; CHITARRA, 1998), o que foi observado para os grãos de feijão na condição de 9 kPa de CO₂.

Na pós-colheita, a fotossíntese torna-se limitada, sendo que para os produtos permanecerem vivos e manterem as reações de síntese, utilizam das reservas metabólicas. O metabolismo do grão pode ser influenciado pela temperatura, umidade relativa, pressão parcial de oxigênio e gás carbônico, sendo refletido diretamente na taxa respiratória, que está intimamente ligada à longevidade do armazenamento. Quanto maior a temperatura, principalmente maior que 25 °C, menores pressões parciais de CO₂, maior o nível respiratório, assim maiores reservas dos grãos (amido) são consumidos (CHITARRA; CHITARRA, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Ambientes com alta pressão parcial de CO₂ e baixa em O₂ podem reduzir a atividade metabólica dos grãos, pois diminuem a respiração do grão, mantendo-os conservados, minimizando perdas pela oxidação do produto (AGUIAR et al., 2004; SANTOS et al., 2012).

Na Figura 3 estão apresentadas as médias dos parâmetros avaliados antes do armazenamento (controle), logo após o armazenamento em atmosfera controlada (pós-armazenamento) e após sete dias de armazenamento sem atmosfera controlada (*shelf life*). As médias dos parâmetros avaliados também podem ser observadas no apêndice A.

O teor de água é determinante durante o armazenamento, pois causa alterações na qualidade do produto e nos seus subprodutos. A diminuição do teor de água assegura a qualidade e a estabilidade de processos químicos e físicos, além da atividade biológica durante o armazenamento (KONG et al., 2008; MALAKER et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2013; SMANIOTTO et al., 2014).

Houve interação significativa entre as análises realizadas e tratamento. As diferenças das pressões parciais não foram suficientes para ocorrer uma diferença significativa. Apesar das igualdades observadas estatisticamente, os números do teor de água tiveram redução do controle para o pós-armazenamento e *shelf life*, com tendência ao equilíbrio higroscópico. Nas condições de armazenamento herméticas, os grãos apresentam menos variações por não haver trocas com o ambiente, permitindo a estabilidade higroscópica representada pelas pequenas variações do teor de água que, neste caso, foram em torno do valor médio de 3,2% para o *shelf life*. Em trabalhos realizados, que não buscavam o equilíbrio do teor de água no armazenamento, verificou-se que os teores reduziam ao longo do tempo de armazenamento (SCHULTZ et al., 2014; SMANIOTTO et al., 2014; SILOCHI et al., 2016).

Os tratamentos com 70±10% umidade relativa, apresentaram valores superiores de teor de água em comparação com a umidade relativa ambiente. O aumento do teor de água,

geralmente, é atribuído à atividade respiratória dos grãos e da microflora a eles associada. É mais intensa a respiração dos grãos quando são altos os teores de água, temperatura e umidade relativa. No processo respiratório há geração de água, aumentando o teor de água do produto, gerando um ciclo, pois quanto mais água maior o teor de água do grão e maior a taxa respiratória (FARONI et al., 2009; MENEZES; VILLELA, 2009).

Armazenar grãos com baixo teor de água, além de ser ideal para a manutenção da qualidade e prolongamento da vida útil dos produtos, controla a respiração. Assim, as fontes de reserva são preservadas (KAYS, 1991; CHITARRA; CHITARRA, 2005; STEFFENS et al., 2007). Porém, a respiração e o consumo de energia, ainda que diminuídos na atmosfera controlada, continuam a ocorrer, ocasionando processos metabólicos nos grãos, levando à perda da qualidade.

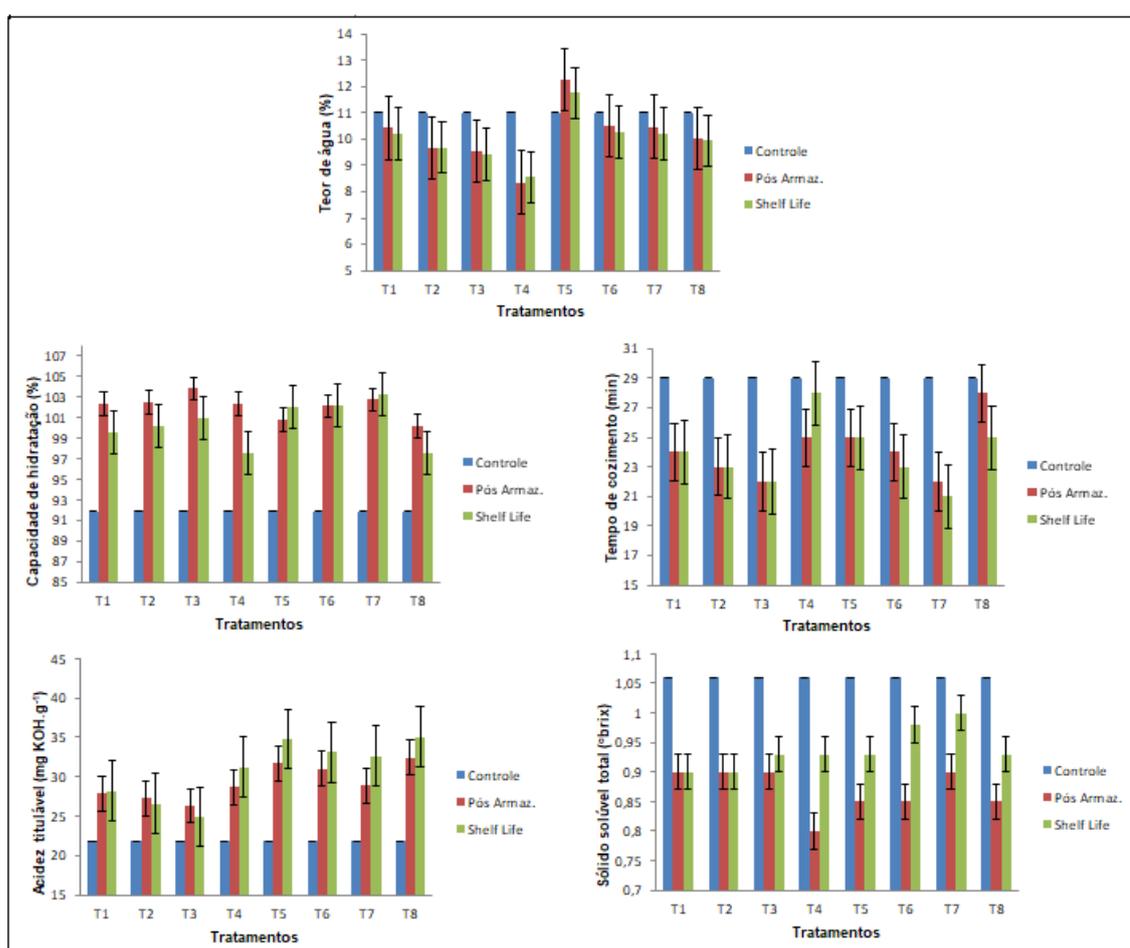


Figura 3 Médias dos parâmetros físico-químicos avaliados em grãos de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e *shelf life*), armazenados a 20 °C em condições controladas.

Notas: Tratamento 1 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 2 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 3 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 4 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa. (UR ambiente). Tratamento 5 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 6 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 7 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 8 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR de 70±10%).

A qualidade tecnológica dos grãos de feijão é determinada pela capacidade de hidratação e o tempo de cozimento. A interação entre as análises realizadas e o tratamento

foi significativa. O controle foi estatisticamente igual no pós-armazenamento e no *shelf life* nos tratamentos T3, T6 e T7. O controle, que são os grãos recém-colhidos, apresentou numericamente valores reduzidos da capacidade de hidratação, quando se fez um comparativo com as análises pós-armazenamento e *shelf life*. Em umidade relativa ambiente, houve melhor capacidade de hidratação. Já no *shelf life*, a umidade relativa $70\pm 10\%$ pode ter desencadeado a volta da atividade metabólica do grão. Também, foi possível observar que, nas análises pós-armazenamento e *shelf life*, em umidade relativa ambiente ou em umidade relativa $70\pm 10\%$, os maiores valores estão nos tratamentos com maior pressão parcial de CO_2 (9 kPa).

O feijão com maior capacidade de hidratação apresentou tendência ao menor tempo de cozimento, o que é bom e positivo, tendo-se em vista o menor dispêndio de tempo no preparo. Esses resultados, que são relações inversamente proporcionais, foram observados nesta pesquisa (SCHOLZ; FONSECA JÚNIOR, 1999; DALLA CORTE et al., 2003; RODRIGUES et al., 2005; BORDIN et al., 2010; BASINELLO, 2016). O menor tempo de cozimento se deu em umidade relativa $70\pm 10\%$ no *shelf life*, com 21 minutos para o cozimento dos grãos de feijão, significando redução de 27,58%. Os menores tempos de cozimento ocorreram visualmente no armazenamento com maior pressão parcial CO_2 , pela possível manutenção das características iniciais da qualidade dos grãos, haja vista que, com maior pressão de CO_2 , há menor degradação.

Feijões em armazenamento inadequado tornam-se endurecidos e resistentes ao cozimento, perdendo sua permeabilidade por modificações químicas que ocorrem durante o armazenamento. Assim, foi possível observar que, pressões parciais menores de CO_2 (3 e 6 e, principalmente 0,04 kPa), são menos eficientes para conservar os grãos, tornando o tempo de cozimento mais oneroso. Embora as pressões parciais tenham apresentado menor eficiência para conservar os grãos, todos os tratamentos tiveram grau de maciez desejável para o consumo, sendo muito positivo para a aceitação do consumidor. A literatura aponta relação entre o percentual da capacidade de hidratação e o tempo de cozimento com média para a capacidade de hidratação pelo grão superior a 80%, associados à rápida cocção (SCHOLZ; FONSECA JÚNIOR, 1999; DALLA CORTE et al., 2003; RODRIGUES et al., 2005; RAMÍREZ-CÁRDENAS; LEONEL; COSTA, 2008; BORDIN et al., 2010; SCHOENINGER et al., 2014). Oliveira et al. (2011), pesquisando a qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração, observaram que ao final de 6 meses de armazenamento, os feijões tipo preto e carioca, mantiveram a qualidade para o tempo de cozimento em armazenamento refrigerado. Morais et al. (2010) avaliaram o armazenamento por 360 dias, em sacos de papel e embalagem de polietileno em câmara fria e à temperatura ambiente sobre o tempo de cocção de dois genótipos de feijão (BRS Supremo e Pérola). Os grãos em câmara fria mantiveram o tempo de cozimento, independentemente da embalagem utilizada.

Do mesmo modo, Lopes (2011) alcançou cozimento com tempo médio de 39 minutos nos 60 genótipos pesquisados e Schoeninger et al. (2013) e Mariotto-Cezar et al. (2013), com 42 e 30 minutos para o controle de IAPAR 81. Esses dados mostram grãos mais resistentes ao amaciamento, quando comparados aos resultados deste trabalho. Menor tempo de cozimento foi obtido nas avaliações feitas em estudo com armazenamento em atmosfera controlada e refrigerada, quando comparado com armazenamento em ar ambiente (NEUWALD et al., 1999; BRACKMANN et al., 2002).

A acidez avalia a deterioração em grãos armazenados e tem na sensibilidade a principal vantagem. Como nos grãos ocorre a formação de ácidos graxos livres e o resultado é a hidrólise de gorduras, esta análise permite, além da quantificação do processo deteriorativo, obter esses sinais nos estágios iniciais (FARHOOSH; EINAFSHAR; SHARAYEI, 2009). Na acidez titulável houve interação significativa entre as análises realizadas e o tratamento. No T1, T2, T4, T5, T6, T7 e T8 os resultados são estatisticamente iguais para o pós-armazenamento e *shelf life*. T1 e T2 são os tratamentos com menor pressão parcial de CO₂ e os tratamentos 5, 6, 7 e 8 são os que apresentam umidade relativa 70±10%. Os tratamentos armazenados com 9 kPa de CO₂ apresentaram menor valor numérico, tanto para pós-armazenamento quanto para *shelf life*.

O aumento da acidez também foi verificado por Park et al. (2012), no armazenamento de grãos de arroz polido, durante quatro meses. Aumentos nos teores são resultados da ação de lipases e fosfolipases presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada, que contribuem para o rompimento das ligações éster dos triglicerídeos e da oxidação de cadeias carbônicas insaturadas nos ácidos graxos (NAZ et al., 2004).

Neste estudo, pôde ser notado o aumento do índice de acidez no grão de feijão armazenado por 6 meses, principalmente naqueles tratamentos que foram submetidos à alta umidade relativa, pois houve a formação de ácidos durante o período de armazenamento, em que a menor pressão parcial de CO₂, aumentaram a atividade respiratória, indicando maior deterioração do grão de feijão carioca.

No sólido solúvel total, os níveis de CO₂ e umidade relativa não foram significativos, mas o que apresentou influência foram as diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*), houve redução numérica do controle para o tempo de análises pós-armazenamento e *shelf life*. No entanto, pouco foi influenciado ao longo do armazenamento. Como foi observado por Harb e Streif (2004), em mirtilos os teores de sólidos solúveis totais foram pouco influenciados pelo tempo e pelas condições de armazenamento.

Os tratamentos com menor pressão parcial de CO₂ (T4 e T8), tanto no pós-armazenamento quanto no *shelf life*, apresentaram valores reduzidos, pois houve aumento da respiração, ocorrendo consumo de açúcar para provimento de energia.

Na Figura 4 estão apresentadas as médias dos parâmetros avaliados antes do armazenamento (controle), logo o armazenamento em atmosfera controlada (pós-armazenamento) e após sete dias de armazenamento sem atmosfera controlada (*shelf life*). As médias dos parâmetros avaliados também podem ser observadas no apêndice A.

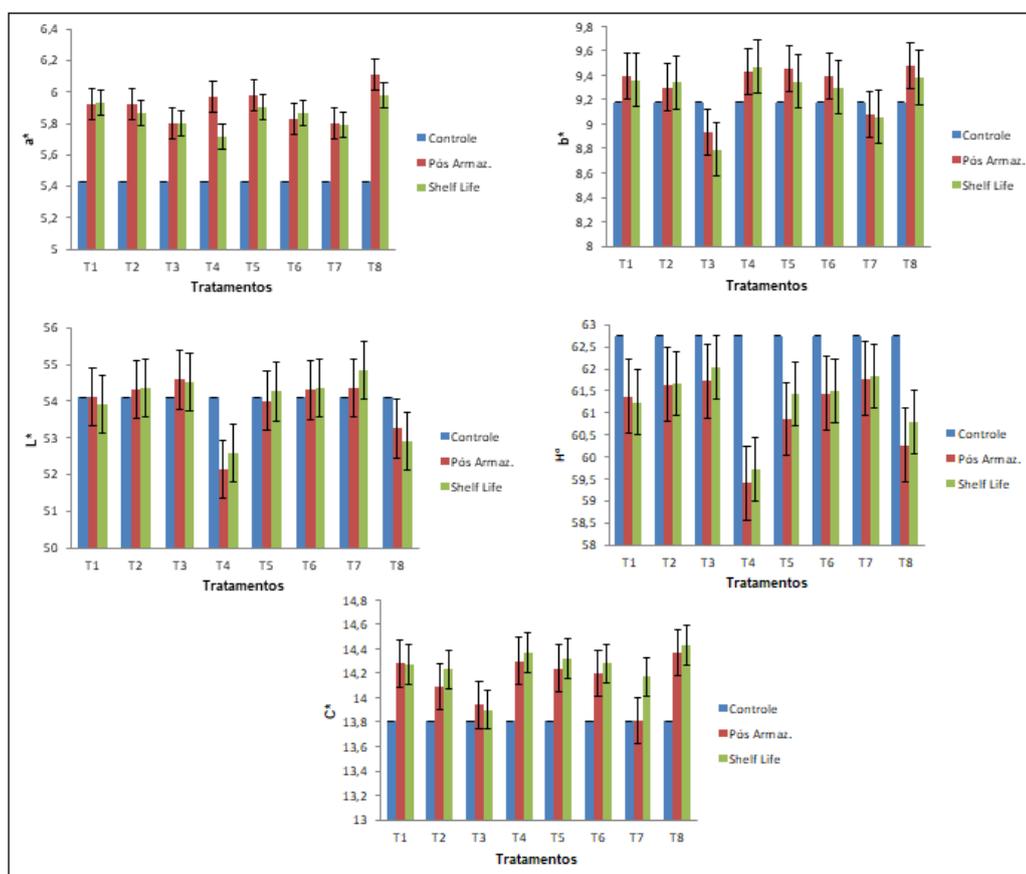


Figura 4 Médias dos parâmetros de cor dos grãos de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e *shelf life*), armazenados a 20 °C em condições controladas.

Notas: Tratamento 1 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 2 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 3 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 4 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa. (UR ambiente). Tratamento 5 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 6 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 7 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 8 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR de 70±10%).

Os níveis de CO₂ e umidade relativa não afetaram significativamente o parâmetro de cor a*, mas foi influenciado pelas diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*). Esse parâmetro assume valores positivos para cores avermelhadas e valores negativos para as tonalidades esverdeadas (-60 a 60). Observou-se tendência de aumento da cor avermelhada nos grãos armazenados em relação aos grãos controle e redução da cor esverdeada. O aumento da cor vermelha tem como explicação a oxidação de compostos fenólicos e causa o escurecimento do tegumento (VANIER et al., 2014). Tanto no tempo de análise após o armazenamento como no *shelf life*, houve elevado aumento da cor avermelhada no tratamento com umidade relativa 70±10% e com a menor pressão parcial de CO₂ (1,5 kPa de O₂ e 0,04 kPa de CO₂). O aumento mais tímido da cor avermelhada foi

observado nos tratamentos que apresentaram maior pressão parcial de CO₂ (pós-armazenamento (T3 - 5,80) e (T7 - 5,80) e *shelf life* (T3 - 5,80) e (T7 - 5,79).

No componente b* houve interação significativa entre as análises realizadas e o tratamento. Este assume valores positivos para cores em tom amarelo e negativos para tons em azul (-60 a 60), diferentes ao longo do período de armazenagem. Observando os valores do controle para os tempos de análise pós-armazenamento e *shelf life*, houve incremento de colorações tendentes ao amarelo durante o armazenamento, configurando tendência ao escurecimento. No entanto, os tratamentos com maior pressão parcial de CO₂, em umidade relativa ambiente e 70±10%, tanto nas análises pós-armazenamento, quanto no *shelf life*, tiveram valores menores que o controle (9,18), pós-armazenamento (T3 - 8,93) e (T7 - 9,08) e *shelf life* (T3 - 8,79) e (T7 - 9,06). Isso mostra que a maior pressão parcial de CO₂ no armazenamento consegue manter a cor dos grãos de feijão, o que significa que esses grãos possuíam menor tendência à cor avermelhada.

Valores do componente a* e b* em grãos do tipo carioca, apresentados na literatura, ficam na média de: a* 7,21 e b* 12,92, índices obtidos por Silva, Rocha e Canniatti-Brazaca (2009); a* 8,20 e b* 14,36, obtidos por Schoeninger et al. (2012) e médias de a* 6,85 e b* 12,05, em grãos do tipo carioca cultivados na época das águas, obtidas por Lopes (2011).

Na luminosidade L*, a interação entre as análises realizadas e tratamento foi significativa. Os valores variam entre 0% - negro e 100% - branco. Grãos que apresentam L* acima de 55 são os mais requeridos pelo mercado e, conseqüentemente, têm os melhores valores (RIBEIRO; STORCK; POERSCH, 2008), por apresentarem brilho mais intenso no tegumento. O valor mais próximo a 55 foi observado no tratamento que permaneceu armazenado com a maior quantidade de CO₂, em umidade relativa ambiente, no pós-armazenamento (T3 - 54,59). Isso é um indicativo que, para este tratamento, houve maior claridade do tegumento nos grãos de feijão e, mesmo submetido ao período de 6 meses de armazenagem, apresentou grãos mais claros, pois dentre as principais características negativas nos feijões do grupo carioca está a tendência ao escurecimento.

Nos tratamentos em que a luminosidade foi maior, apresentando grãos mais claros, observou-se grãos menos avermelhados para o componente a*, pois quanto menos avermelhados os grãos de feijão do tipo carioca, maior o seu índice de luminosidade L*. Isso também foi observado por outros autores, como Silochi et al. (2016). Valor mais alto de a* que coincide com menores valores de L*, indicam um escurecimento no tegumento dos grãos de feijão (SIQUEIRA et al., 2014). A redução de valores de L* em feijões carioca foi relatada por Brackmann et al. (2002), com armazenagem dos grãos em atmosfera controlada por 19 meses; por Siqueira et al. (2014), que armazenaram 6 cultivares por cinco meses e por Ávila et al. (2015), com 12 meses em feijão caupi armazenado.

O escurecimento do grão na ausência de oxigênio, está relacionada com a oxidação enzimática, através da reação de compostos fenólicos pela polifenoxidase (BRACKMANN et al., 2002).

Para julgar a direção da diferença de cor entre duas amostras na mesma situação ou entre uma mesma amostra em duas situações diferentes, é usual calcular seus ângulos de coloração (H°), que apresentou interação entre as análises realizadas e o tratamento e foi significativa; croma (C^*), em que os níveis de CO_2 e umidade relativa não foram significativos, mas o que teve influência foram as diferentes análises (controle, pós-armazenamento e *shelf life*). O ângulo de coloração inicia-se no eixo de a^* e é expresso em graus. O H° vale zero quando $+a^*$ (vermelho), 90° é definido como $+b^*$ (amarelo), 180° é $-a^*$ (verde) e 270° , $-b^*$ é azul (HEIMDAL et al., 1995). Os valores numéricos pós o armazenamento foram mais baixos que o controle. Nos tratamentos testemunha T4 e T8, no tempo de análise pós-armazenamento e no *shelf life*, apresentaram valores menores.

Juntamente com o ângulo de coloração H° , o índice de croma C^* avalia a direção da diferença, a intensidade e a pureza da cor. Quanto maior o valor de C^* , mais perceptível será o produto à visão humana, pois apresenta maior tonalidade cromática (GRANATO; MASSON, 2010), sendo sua qualidade reduzida. Assim, é possível observar que os tratamentos com maior pressão parcial de CO_2 , durante o armazenamento, mantiveram menores intensidades de cor, sendo menos perceptíveis ao olho humano, indicando que sua qualidade se preservou; pesquisadores, em diversos estudos, constataram que quanto maior a intensidade da cor, maior a dureza dos grãos, levando assim, maior tempo para atingir a cocção (COELHO et al., 2009; SILOCHI et al., 2016).

Após 14 meses de armazenamento, feijões do cultivar FT Bonito mantiveram menor escurecimento do tegumento, além de baixo tempo de cozimento, em baixa pressão parcial de O_2 , quando comparado com ar ambiente (NEUWALD et al., 1999). Ao longo do armazenamento foi encontrado aumento desse parâmetro para feijão carioca (SILOCHI et al., 2016). Resultados maiores que os encontrados neste estudo foram observados nos feijões controle (19,04) no experimento de Shoeninger et al. (2013). Já, sob armazenamento refrigerado, Rigueira, Lacerda Filho e Volk (2009) não verificaram alteração para C^* . A cor dos alimentos é um parâmetro muito importante, juntamente com o sabor e a textura e, muitas vezes, é vista como o principal fator de qualidade na aceitação dos produtos e pelos consumidores (BERRIOS et al., 2004; SCHOENINGER et al., 2014).

Na Figura 5 estão apresentadas as médias dos parâmetros avaliados antes do armazenamento (controle), logo após o armazenamento em atmosfera controlada (pós-armazenamento) e após sete dias de armazenamento sem atmosfera controlada (*shelf life*). As médias dos parâmetros avaliados também podem ser observadas no apêndice A.

Na textura, a interação entre as análises realizadas e tratamento foi significativa, sendo que T2, T3, T4, T5, T6 e T8 foram iguais no pós-armazenamento e no *shelf life*. O

valor numérico mais baixo da textura ocorreu no T7 (1,5 kPa de O₂ e 9kPa de CO₂), tanto no pós-armazenamento (3,68) quanto no *shelf life* (3,35). Os maiores valores ocorreram no T8 (1,5 kPa de O₂ e 0,04 kPa de CO₂), tanto no pós-armazenamento (4,27) quanto no *shelf life* (4,59). Em condições de maior pressão parcial do CO₂, ou seja, atmosfera controlada com alta pressão parcial de CO₂, esse feijão apresentou menores texturas que em atmosfera com baixa pressão parcial de CO₂. Assim, foi possível verificar que a textura é mais preservada com atmosfera controlada com alta pressão parcial CO₂, mantendo melhor a maciez do grão.

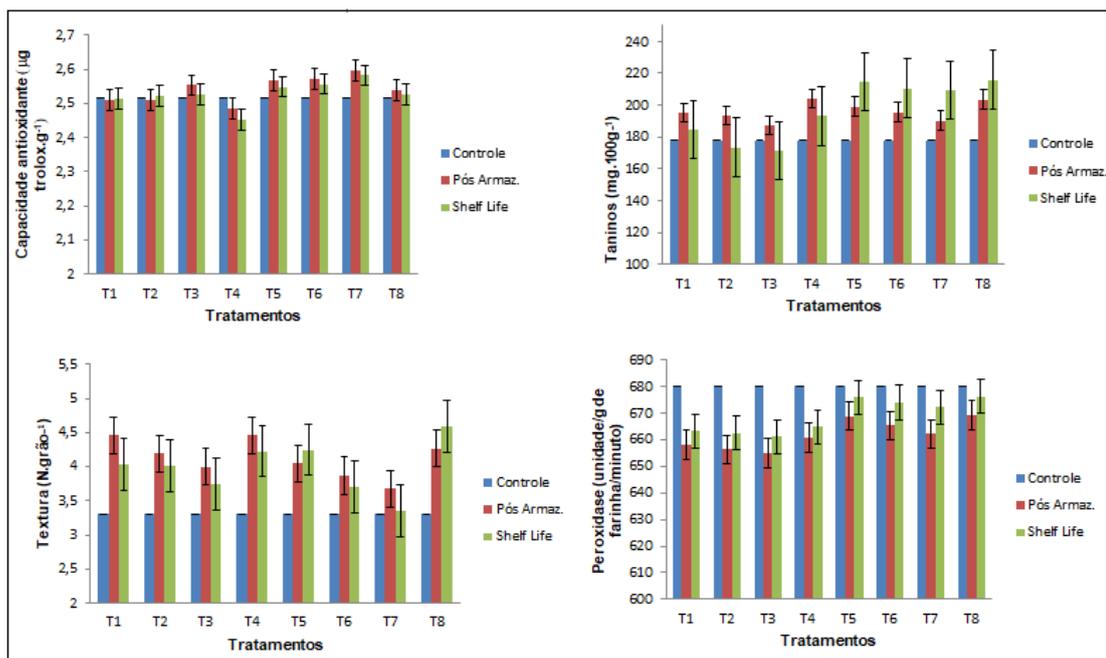


Figura 5 Médias da capacidade antioxidante, tanino, textura e atividade da peroxidase dos grãos de feijão carioca em diferentes períodos de avaliação (controle, pós-armazenamento e *shelf life*), armazenados a 20 °C em condições controladas.

Notas: Tratamento 1 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 2 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 3 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 4 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa. (UR ambiente). Tratamento 5 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa. Tratamento 6 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa. Tratamento 7 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa. Tratamento 8 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa (UR de 70±10%).

A quantificação da maciez ou da firmeza do produto, juntamente com a palatabilidade, é determinante para a escolha do produto pelo consumidor. A textura consegue mensurar medidas de dureza média do grão de feijão e determinar sua maciez ou firmeza (KHANAL et al., 2015). A análise da textura permite quantificar números significativos de amostras em pouco tempo, com praticidade e agilidade, sendo utilizada cada vez mais para a verificação do endurecimento em feijões (NASAR-ABBAS et al., 2008; SAHA et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2014).

Em estudo que analisou a dureza de grãos de feijão carioca cozidos e recém-colhidos de diferentes genótipos, os pesquisadores encontraram valores próximos a 10,49 N.grão⁻¹ e, ainda, ao longo do armazenamento, os índices de dureza foram maiores

por fatores genéticos e ambientais (SIQUEIRA *et al.*, 2014). Ávila *et al.* (2015) observaram aumento na textura em grãos de feijão caupi armazenados em condições ambientais após 12 meses e não sob atmosfera controlada. O mesmo não foi possível observar no presente estudo. Em condições de armazenamento ambiental para grãos de feijão carioca, Coelho *et al.* (2009) verificaram que existe aumento da dureza associado ao tempo de armazenamento e, quanto maior o tempo de armazenamento, maior a dureza e maior a susceptibilidade ao aparecimento do defeito difícil de cozinhar. A dureza está relacionada com vários mecanismos, como a acidificação do tecido, desnaturação da proteína, perda de frações da parede celular, gelatinização do amido, entre outros (SHIGA; LAJOLO; FILISETTI, 2004). Em grãos de feijão carioca, é comum ocorrer o endurecimento e o escurecimento pela ocorrência de desordens fisiológicas, quando estes são armazenados. Isso ocorre devido a reações complexas em diferentes partes e componentes moleculares do grão, tais como tegumento, cotilédone, parede celular, lamela média, compostos fenólicos, amido, proteína, enzimas e outros (LANNA *et al.*, 2014).

Ao longo do armazenamento os grãos vão endurecendo e aumentando o seu tempo de cozimento. É desejável que a firmeza do tegumento não seja elevada, tendo-se assim grãos mais macios. Dessa forma, valores menores da textura configuram grãos com menor firmeza do tegumento e do cotilédone, com menor dureza e, conseqüentemente, apresentando menor tempo de cozimento, como foi possível observar na Figura 3.

O método DPPH baseia-se na captura do radical DPPH por antioxidantes presentes na amostra. A maior parte da capacidade antioxidante nos vegetais é devida à grande quantidade de compostos fenólicos presentes (CASTELO-BRANCO; TORRES, 2011). Neste teste, houve significativa interação entre as análises realizadas e o tratamento. Em todos os tratamentos, o controle, pós-armazenamento e *shelf life* foram estatisticamente iguais. Os valores para a capacidade antioxidante tiveram pequeno aumento do controle para o tempo de análise pós-armazenamento e *shelf life*. Os maiores valores foram encontrados no T7 (1,5 kPa de O₂ e 9 kPa de CO₂), tanto para pós-armazenamento (2,596) quanto para o *shelf life* (2,582). Já o T4, em que os grãos de feijão foram armazenados com menor pressão parcial de CO₂, os valores da capacidade antioxidante foram menores.

Como os valores do T7 foram mais elevados, houve maior captura do radical DPPH por radicais na amostra. Quanto maior a captura do radical DPPH por radicais na amostra, melhor é a conservação dos grãos de feijão carioca. No T4, houve menor captura, provavelmente, devido aos antioxidantes já se terem oxidado, não tendo como o radical DPPH capturar radicais na amostra, por não mais existirem esses radicais.

Para o teste dos compostos fenólicos, a interação entre as análises realizadas e tratamento foi significativa, sendo que T2 e T3 do *shelf life* foram diferentes das demais análises. A grande maioria dos valores aumentou após 6 meses de armazenamento sob atmosfera controlada, exceto o T3 do *shelf life* (171,34). Pôde-se observar que quanto maior

a pressão parcial de CO₂ no armazenamento (9 kPa) mais os valores foram reduzidos para taninos, apresentando menos escurecimento e antinutricionais, tanto no pós-armazenamento quanto no *shelf life*. Também, nestes dois últimos tempos de análises, em umidade relativa ambiente, os valores foram menores quando comparados aos feijões submetidos à umidade relativa de 70±10%.

Os grãos de feijão contêm compostos secundários, como os taninos, que são considerados compostos antinutricionais e que, em altas concentrações, podem comprometer nutricionalmente a dieta alimentar. Com o armazenamento, o teor de taninos tende a aumentar, como verificaram Silochi et al. (2016), em que, na média entre os genótipos para cada tempo de armazenamento, encontraram teores de taninos de 225 mg.100g⁻¹ aos 60 dias, 288 mg.100g⁻¹ aos 90 dias, 289 mg.100g⁻¹ aos 135 dias e 342 mg.100g⁻¹ ao final do período. O aumento é esperado ao longo do armazenamento, pois considerando que quanto maior for esse tempo, mais escuros irão se tornando os grãos de feijão do grupo carioca, que tem associação ao aumento do teor de taninos presente no tegumento (MARIOTO-CEZAR et al., 2013). Os taninos são encontrados em maior quantidade no tegumento, sendo responsáveis pela coloração (OOMAH et al., 2010; VANIER et al., 2014). O conteúdo de taninos pode ser influenciado pela maturidade na colheita, condições de pós-colheita e armazenamento (WANG et al., 2011).

Quantidades superiores de taninos foram observadas neste estudo, quando comparados com outros como os de Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008), que verificaram em diferentes cultivares valores de 61,01 a 182,60 mg.100⁻¹ e Schoeninger et al. (2013) que encontraram concentração de taninos de 0,721 mg.100⁻¹.

Características relacionadas à qualidade do grão regem a aceitabilidade comercial. A cor, o tempo de cocção, o escurecimento e o endurecimento dos grãos armazenados são alguns dos parâmetros avaliados que vêm ganhando importância frente a maior exigência dos consumidores. O aumento desse parâmetro (concentração de taninos) não é desejável pelo efeito antinutricional, responsável pela mudança na coloração. Os tratamentos com menores teores de taninos apresentaram L* maiores, com maior claridade, como pode ser visto na Figura 5. Desse modo, o armazenamento mais adequado para feijões carioca é sob atmosfera controlada, com 1,5 kPa de O₂ e 9 kPa de CO₂, pois os grãos são mais claros, mais chamativos aos consumidores, com menor efeito antinutricional.

Na atividade da peroxidase a interação entre as análises realizadas e o tratamento foi significativa sendo, no pós-armazenamento e no *shelf life*, os tratamentos 1, 2, 3, 5, 6, 7 e 8 iguais entre si. Numericamente, os valores reduziram no tempo de análises pós-armazenamento e *shelf life*, sendo o menor valor encontrado no T3 (1,5 kPa de O₂ e 9 kPa de CO₂), com 654,94 unidade.g⁻¹ de farinha.minuto⁻¹, do pós-armazenamento. Valor mais expressivo foi no *shelf life* (676,26 unidade.g⁻¹ de farinha.minuto⁻¹), observado no T8

(1,5 kPa de O₂ e 0,04 kPa de CO₂), ou seja, grãos armazenados sob atmosfera controlada têm menor deterioração.

A peroxidação é o efetivo marcador bioquímico do estresse oxidativo, medido pelas espécies reativas de oxigênio (EROs), em tecidos de plantas com ferimentos ou sob estresse ambiental, através de transformações bioquímicas de compostos fenólicos pelas enzimas polifenoloxidase e peroxidase, formando substâncias coloridas. Várias características no grão estão entrelaçadas e uma associação feita é quanto à cor do tegumento e às características de textura, que estão relacionadas à parede celular do grão, em que, o grau de solubilidade dos polissacarídeos e a despolimerização no cozimento são as mais importantes, assim a complexação com proteínas de parede celular causa o endurecimento. Sabe-se que o escurecimento e o endurecimento ocorrem por múltiplos mecanismos bioquímicos e pela produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), este último é o evento primário para desencadear tais eventos. As principais EROs são distribuídas em dois grupos, os radicalares (hidroxila (OH), superóxido (O₂⁻), peroxila (ROO) e alcoxila (RO) e os não radicalares (oxigênio singleto (O₂) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (LANNA et al., 2014; BORGES et al., 2014).

Em estudos de grãos submetidos a diferentes tipos de estresse (deficiência hídrica, salinidade), ocorreu menor produção de EROs em genótipos tolerantes do que em genótipos sensíveis (BHOMIKA et al., 2013). Na atividade da peroxidase as células, há tendência das membranas celulares do grão de feijão sofrerem danos (peroxidação de lipídeos). Atividade da peroxidase aumentada foi observada em espécies de plantas sob estresse, tais como amora, tomate e ervas (CHAITANYA et al., 2002; CAMEJO et al., 2006; DU; ZHOU; HUANG, 2013).

Como observado na Figura 3, o teor de água foi mais elevado no controle. Sendo que, quanto maior o teor de água dos grãos, maior a detecção da atividade metabólica, ocorrendo maior estresse oxidativo, medido pela atividade da enzima antioxidante peroxidase. Dados observados na Figura 2, nos tratamentos com menor respiração, por apresentarem maior pressão parcial de CO₂ e, conseqüentemente, menor teor de água, a via aeróbica, meio em que ocorre a oxidação, foi reduzida, produzindo menor quantidade de radicais livres. Desse modo, foram obtidos valores reduzidos da atividade da peroxidase nos tratamentos cuja pressão parcial de CO₂ foi igual a 9 kPa. E, valores mais elevados pela intensa atividade da peroxidase, por haver grande produção de radicais livres nos tratamentos com pressão parcial de CO₂ de 0,04 kPa.

O escurecimento dos grãos de feijão no armazenamento pode ser consequência da atividade da enzima polifenoloxidase associada com a atividade da peroxidase e ao aumento de compostos fenólicos (RIOS; ABREU; CORRÊA, 2002).

Além de a peroxidase ter relação direta com o teor de água, apresenta relação com o escurecimento, em que grãos que apresentaram alto escurecimento, também apresentam

elevada atividade enzimática, indicando que os feijões são vulneráveis à alta concentração da atividade da peroxidase, perdendo qualidade e sendo rejeitados pelo consumidor. O endurecimento, dado pela textura e pelo tempo de cozimento, indica que as enzimas podem estar envolvidas em processos bioquímicos relacionados com o escurecimento e endurecimento do grão. Maior atividade enzimática em grãos de feijão carioca possui maior formação de EROs com conseqüente instalação de processos oxidativos, como a oxidação de compostos fenólicos durante o armazenamento. O acúmulo em excesso da atividade enzimática pode ser uma das principais conseqüências de estresse abiótico, que ocorre durante o armazenamento de grãos. Quando produzidas em altas concentrações, as EROs são tóxicas e, quando em baixas concentrações, são como sinal de alerta para dar início às respostas preventivas contra os fatores estressantes (ARA et al., 2013).

4 CONCLUSÕES

Os maiores problemas de degradação foram mais perceptíveis com pressões parciais de CO₂ de 0,04, 3 e 6 kPa, respectivamente. O armazenamento sob atmosfera controlada, sob pressões parciais de 9 kPa, em umidade relativa ambiente e em 70±10%, foi favorável na preservação nas características físicas, químicas, mecânica e enzimática dos grãos de feijão carioca, mantidos nesta condição por 6 meses, mantendo a qualidade dos grãos de feijão armazenados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os resultados obtidos neste estudo poderão contribuir para trabalhos futuros em torno de feijão armazenado sob atmosfera controlada com altas pressões de CO₂, com a necessidade de realização de mais testes de atividade enzimática, características nutricionais.
- Testes futuros com aumento do tempo de armazenamento, verificando o comportamento das sementes, serão importantes, bem como a verificação do comportamento das sementes ao longo do armazenamento.
- Do mesmo modo, o teste com diferentes tempos de *shelf life*, não apenas 7 dias após o armazenamento.
- Também será relevante, verificar quanto tempo é necessário para que ocorra equilíbrio das pressões parciais dos gases no armazenamento.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. W. S.; SARMENTO, R. A.; VIEIRA, S. M.; DIDONET, J. Controle de pragas em grãos armazenados utilizando atmosfera modificada. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 1, p. 21-27, 2004.
- ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; LACERDA, A. F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 13, n. 5, p. 606-613, 2009.
- ARA, N.; NAKKANONG, K.; L. V, W.; YANG, J.; HU, Z.; ZHANG, M. Antioxidant enzymatic activities and gene expression associated with heat tolerance in the stems and roots of two cucurbit species ("Cucurbita maxima" and "Cucurbita moschata") and their interspecific inbred line "Maxchata". **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, p. 24008-24028, 2013.
- ÁVILA, B. P.; SANTOS, M. S.; NICOLETTI, A. N.; ALVES, G. D.; ELIAS, M. C.; MONKS, J.; GULARTE, M. A. Impact of different salts in soaking water on the cooking time, texture and physical parameters of cowpeas. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 70, n. 4, p. 463-469, 2015.
- BASSINELLO, P. Z. Qualidade na escolha de variedades de feijão para o mercado consumidor. **Atualidades em micotoxinas e armazenagem qualitativas de grãos II**. 1. ed. Florianópolis: Imprensa Universitária, 2008. 586 p.
- BASSINELLO, P. Z. **Qualidade dos grãos**. 2016. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_2_28102004161635.html. Acesso em: 24 set. 2018.
- BERRIOS, J. J.; WOOD, D. F.; WHITELAND, L.; PAN, J. Sodium bicarbonate and the microstructure, expansion and color of extruded black beans. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 28, p. 321-335, 2004.
- BHOOMIKA, K.; PYNGROPE, S.; DUBEY, R. S. Differential responses of antioxidant enzymes to aluminum toxicity in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with marked presence and elevated activity of Fe SOD and enhanced activities of Mn SOD and Catalase in aluminum tolerant cultivar. **Plant Growth Regulation**, v. 71, p. 235-252, 2013.
- BORGES, P. S.; LOPES, O. C.; KOAKUZU, S. N.; HEINEMANN, A. B.; PELOSO, M. J. D.; BASSINELLO, P. Z.; LANNA, A. C. Efeito do armazenamento sobre atributos associados à qualidade de feijão tipo carioca. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, n. 11, 2014, Londrina. **Anais...** Londrina, Embrapa Arroz e Feijão, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/214019/1/conafe.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- BORDIN, L. C.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; ZILIO, M. Diversidade genética para a padronização do tempo e percentual de hidratação preliminar ao teste de cocção de grãos de feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 30, n.4, p. 890-896, 2010.
- BRACKMANN, A. Uso da atmosfera controlada é recente no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba - SP, n. 7, p. 50-52, 2007.

BRACKMANN, A.; CHITARRA, A. B. Atmosfera controlada e atmosfera modificada. In: BORÉM, F.M. **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas**. Lavras: LA/SBEA, 1998. 282 p.

BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D.; FREITAS, S. T. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 32, n. 6, 2002.

BRACKMANN, A.; WEBER, A.; GIEHL, R. F. H.; EISERMANN, A. C.; SAUTTER, C. K.; GONÇALVES, E. D.; ANTUNES, L. E. C. Armazenamento de mirtilo 'Bluegem' em atmosfera controlada e refrigerada com absorção e inibição do etileno. **Revista Ceres**, Viçosa – MG, v. 57, n. 1, p. 6-11, 2010.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Documento 187/ Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, 28 p., 2005.

BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER ME, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm Wiss Tech**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, p. 365, 2009.

CASTELO-BRANCO, V. N.; TORRES, A. G. Capacidade antioxidante total de óleos vegetais comestíveis: determinantes químicos e sua relação com a qualidade dos óleos. **Revista de Nutrição**, Campinas - SP, v. 24, n. 1. p. 173-187, 2011.

CEVALLOS-CASALS, B. A.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Stoichiometric and kinetic studies of phenolic antioxidants from Andean purple corn and red-fleshed sweet potato. **Journal Agricultural Food Chemical**, v. 51, n.11, p. 3313–3319, 2003.

CAMEJO, D.; JIMÉNEZ, A.; ALARCÓN, J. J.; TORRES, W.; GÓMEZ, J. M.; SEVILLA, F. Changes in photosynthetic parameters and antioxidant activities following heat-shock treatment in tomato plants. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 177-187, 2006.

CHAITANYA, K.; SUNDAR, D.; MASILAMANI, S.; REDDY, A. R. Variation in heat stress-induced antioxidant enzyme activities among three mulberry cultivars. **Plant Growth Regulation**, v. 36, p. 175-180, 2002.

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

COELHO, S. R. M.; PRUDÊNCIO, S. H.; NÓBREGA, L. H. P.; LEITE, C. F. R. Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v. 33, p 2, p. 539 - 544, 2009.

COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C.; SCHOENINGER, V. Physical-chemical properties of common beans under natural and accelerated storage conditions. **Ciencia e Investigacion Agraria**, Santiago, v. 40, n. 3, p. 637-644, 2013.

DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding an Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.

DU, H.; ZHOU, P.; HUANG, B. Antioxidant enzymatic activities and gene expression associated with heat tolerance in a cool-season perennial grass species. **Environmental Experience Botany**, v. 87, p. 159-166, 2013.

- ELIAS, M. C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. Pelotas.: Santa Cru, 2008. 362 p.
- ELIAS, M. C.; LOPES, V.; GUTKOSKI, L. C.; OLIVEIRA, M.; MAZZUTTI, S.; DIAS, A. R. G. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv. 'Embrapa 16'). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2009.
- EL-RAMADY, H. R.; DOMOKOS-SZABOLCSY, E.; ABSALLA, A.; TAHA, H. S.; FÁRI, M. **Sustainable Agriculture Reviews**. Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage, v. 15, p. 65-1527, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 412 p.
- ERTAS, N. The effects of aqueous processing on some physical and nutritional properties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Health and Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 21-27, 2011.
- FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R.; PAES, J. L.; COSTA, A. R.; ROMA, R. C. C. Armazenamento de soja em silos tipo bolsa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 1, p. 91-100, 2009.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto - MG, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2011.
- FARHOOSH, R.; EINAFSHAR, S.; SHARAYEI, P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. **Food Chemistry**, v. 115, p. 933-938, 2009.
- GHASEMLOU, M.; GHARIBZAHEDI, S. M. T.; EMAM-DJOMEH, Z. Relating consumer preferences to textural attributes of cooked beans: Development of an industrial protocol and microstructural observations. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 88-98, 2013.
- GOYETE, B.; VIGNEAULT, C.; RAGHAVAN, V.; CHARLES, M-T. Hyperbaric treatment on respiration rate and respiratory quotient of tomato. **Food Bioprocess Technol.**, v. 5, p. 3066-3074, 2012.
- GRANATO, D.; MASSON, M. L. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 30, n. 4, p. 1090-1096, 2010.
- HARB, J. Y.; STREIF, J. Controlled atmosphere storage of high bush blueberries cv. 'Duke'. **European Journal of Horticultural Science**, v. 69, p. 66-72, 2004.
- HEIMDAL, H.; KÜHN, B. F.; POLL, L.; LARSEN, L. M. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA packaged iceberg lettuce. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 6, p. 1265-68, 1995.
- HERRMANN, D. R.; CARVALHO, M. J. DE; ZACHOW, K.; SCHOLZ, F.; RABBERS, D.; TSUTSUMI, C. Y.; ZONIN, W. Avaliação da resistência de cultivares de milho ao ataque de *Sitophilus* sp. em grãos armazenados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas – RS, v. 4, n. 1, p. 4290-4293, 2009.

- HORWITZ, H. Official method of analysis of the association of official agricultural chemists. **Agricultural Chemistry**, p. 144, 1995.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. 4 ed. 1. ed. digital. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 2008.
- JAYAS, D. S.; JEYAMKONDAN. Modified atmosphere storage of grains meats fruits and vegetables. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 3, p. 235-251, 2002.
- JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Storage and drying of grain in Canada: low cost approaches. **Food Control**, v. 14, n. 4, p. 255-261, 2003.
- JONES, R. B. Effects of postharvest handling conditions and cooking on anthocyanin, lycopene, and glucosinolate content and bioavailability in fruits and vegetables. **Journal of crop and Horticultural Science**, v. 35, n. 2, p. 219-227, 2007.
- KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Published by Van Nostrand Reinhold, New York: p. 532, 1991.
- KHANAL, R.; BURT, A. J.; WOODROW, L.; BALASUBRAMANIAN, P.; NAVABI, A. Genotypic association of parameters commonly used to predict canning quality of dry bean. **Crops Science**, v. 54, p. 2564-2573, 2015.
- KONG, F.; CHANG, S. K. C.; LIU, Z. WILSON, L. A. Changes of soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 3, p. 134-144, 2008.
- LANNA, A. C.; CARVALHO, R. N.; FERREIRA, M. E. O.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; COELHO, G. R. C. Estresse oxidativo em grãos de feijão carioca recém-colhidos. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, n. 11, 2014, Londrina. **Anais...** Londrina, Embrapa Arroz e Feijão, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105957/1/177-1.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- LOPES, R. L. T. **Características tecnológicas de genótipos de feijoeiro em razão de épocas de cultivo e períodos de armazenamento**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo - IAC, Campinas, 2011.
- MAGAN, N.; SANCHIS, V.; ALDRED, D. Role of spoilage fungi in seed deterioration. *In*: Aurora, D.K. (Ed.). **Fungal Biotechnology in Agricultural, Food and Environmental Applications**. Marcell Dekker, p. 311–323, 2004.
- MALAKER, P. K; MIAN, I. H.; BHUIYAN, K. A.; AKANDA, A. M.; REZA, M. M. A. Effect of storage containers and time on seed quality of wheat. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 33, n. 3, p. 469-477, 2008.
- MATELLA, N. J.; MISHRA, D. K.; DOLAN, K. D. Hydration, blanching and thermal processing of dry beans. *In*: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 129-154.
- MARIOTTO-CEZAR, T. C.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SCHOENINGER, V.; ALMEIDA, A. J. B. Nutritional and antinutritional factors during the storage process of common bean. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11, n. 1, p. 268-272, 2013.
- MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. O potencial de armazenamento de cada semente. **SEED News**, Pelotas – RS, v. 1, n. 4, p. 22-25, 2009.

MORAIS, P. P. P.; VALENTINI, G.; GUIDOLIN, A. F.; BALDISSERA, J. N. C.; COIMBRA, J. L. M. Influência do período e das condições de armazenamento de feijão no tempo de cocção. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 41, n. 4, p. 593-598, 2010.

NAZ, S.; SHEIKH, H.; SIDDIQI, R.; SAYEED, S. A. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. **Food Chemistry**, v. 88, p. 253-259, 2004.

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDIQUE, K. H. M. Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 113-118, 2008.

NEUWALD, D. A., MEDEIROS, E. A. A., RIBEIRO, N. D.; BRACKMANN, A. Feijão cv. FT Bonito armazenado em atmosfera inertizada e controlada. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 14, 1999, Santa Maria, RS. **Anais...**Santa Maria : UFSM, 1999. p. 670.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E. Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 41, n. 5, p. 746-752, 2011.

OOMAH, B. D.; CORBÉ, A.; BALASUBRAMANIAN, P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 8225-8230, 2010.

PAIXÃO, A. A. **Propriedades físicas e qualidade do feijão tratado com cera de carnaúba durante o armazenamento**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

PARK, C.; KIM, Y.; PARK, K.; KIM, B. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, p. 25-29, 2012.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L. A.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 28, p.200-213, 2008.

REYES, L. F., VILLARREAL, J. E., CISNEROS-ZEVALLOS, L. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. **Food Chemical, Easton**, v. 101, p. 1254–1262, 2007.

RIBEIRO, N. D.; STORCK, L.; POERSCH, N. L. Classificação de lotes comerciais de feijão por meio da claridade do tegumento dos grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 38, n. 7, p. 2042-2045, 2008.

RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; VOLK, M. B. S. Evaluation of the quality beans stored in a refrigerated environment. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara –SP, v. 20, n. 4, p. 649-655, 2009.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v. 26, n. 3, p. 550-558, 2002.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A. TRENTIN, M.; LONDERO, P. M. G. Qualidade para o cozimento de grãos de feijão obtidos em diferentes épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas – SP, v. 64, n. 3, p. 369-376, 2005.

SAHA, S.; SINGH, G.; MAHAJAN, V.; GUPTA, H.S. Variability of nutritional and cooking quality in bean (*Phaseolus vulgaris* L) as a function of genotype. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 64, n. 1, p. 174-180, 2009.

SÁNCHEZ-MATA, M. C.; CÁMARA, M.; DÍEZ-MARQUÉS, C. Extending shelf-life and nutritive value of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), by controlled atmosphere storage: macronutrients. **Food Chemistry**, n. 80, p. 309-315, 2003.

SANTOS, S. B.; MATINS, M. A.; FARONI, L. R. A.; JUNIOR BRITO, V. R. Perda de matéria seca em grãos de milho armazenados em bolsas herméticas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 43, n. 4, p. 674-682, 2012.

SCHOENINGER, V. **Otimização de parâmetros de pré-processamento para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C.; ALMEIDA, A. J. B. Pre-processing of aged carioca beans: Soaking effect in sodium salts in the cooking and nutrition quality. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 11, n. 1, p. 184-189, 2013.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S.R.M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S.C. Processing parameter optimization for obtaining dry beans with reduced cooking time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 49-57, 2014.

SCHOLZ, M. B. S.; FONSECA JÚNIOR, N. S. Efeito de ambientes, dos genótipos e da interação genótipos x ambientes na qualidade tecnológica de feijão do grupo de cores no estado do Paraná. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO FEIJÃO, 6., 1999a, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Embrapa, 1999. p. 339-342.

SCHULTZ, R. A.; CORADI, P. C.; BRENTAN, L. O; CAMILO, L. J.; PEREIRA, T. L. Alterações da qualidade de grãos de soja armazenados em diferentes ambientes. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 47., 2014, Campo Grande - MS. **Anais...** Campo Grande – MS: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014. p. 1-8.

SHIGA, T. M.; LAJOLO, F. M.; FILISETTI, T. M. C. C. Changes in the cell wall polysaccharides during storage and hardening of beans. **Food Chemistry**, v. 84, p. 53-64, 2004.

SILOCHI, R. M. H Q.; COELHO, S. R. M.; BISCHOFF, T. Z.; CASSOL, F. D. R.; PRADO, N. V. DO; BASSINELLO, P. Z. Nutritional technological characterization and secondary metabolites in stored carioca bean cultivars. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 24, p. 2102-2111, 2016.

SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. 2. ed. Viçosa-MG: Aprenda Fácil Editora, 2008. v. 1. 560 p.

SILVA, A. G.; ROCHA. L. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara – SP, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.

SIQUEIRA, B. S.; VIANELLO, R. P.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Hardness of carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by cooking methods. **Food Science and Technology**, v. 54, p. 13-17, 2013.

SIQUEIRA, B. S.; PEREIRA, W. J.; BATISTA, K. A.; OOMAH, D. B.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Influence of storage on darkening and hardening of slow - and regular – carioca bean (*Phaseolus vulgaris* l.) genotypes. **Journal of Agricultural Studies**, v. 2, n. 2, p. 2166-0369, 2014.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F.; OLIVEIRA, D. E. O.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014.

STEFFENS, C.A.; BRACKMANN, A.; PINTO, J.A.V.; EISERMANN, A.C. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 42, p. 313-321, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed. **Plant Science**, v. 153, p. 65-72, 2000.

VANIER, N. L.; RUPOLLO, G.; PARAGINSKI, R. T.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Effects of nitrogen-modified atmosphere storage on physical, chemical and technological properties of Carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Current Agricultural Science and Technology**, v. 20, p. 10-20, 2014.

WANG, S.; MECKLING, K. A.; MARCONE, M. F.; KAKUDA, Y.; TSAO, R. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 960-968, 2011.

WEBER, E. A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Canoas: Salles, 2005.

ZUCHI, J.; SEDIYAMA, C. S.; LACERDA FILHO, A. F.; REIS, M. S.; FRANÇA NETO, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; ARAÚJO, E. F. Variação da temperatura de sementes de soja durante o armazenamento. **Informe Abrates**, Londrina - PR, v. 21, n. 3, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Comparação de médias de grãos e sementes de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada, avaliados em diferentes períodos: antes de ser armazenado (controle), logo após sair do armazenamento em atmosfera controlada (pós-armazenamento), após sete dias fora do armazenamento em atmosfera controlada (*shelf life*).

Nota geral sobre os dados das tabelas:

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. T1 = Tratamento 1 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa, a 20 °C, em umidade relativa (UR) ambiente. T2 = Tratamento 2 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa, a 20 °C, em (UR) ambiente. T3 = Tratamento 3 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa, a 20 °C, em (UR) ambiente. T4 = Tratamento 4 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa, a 20 °C, em (UR) ambiente. T5 = Tratamento 5 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 3 kPa, a 20 °C, com (UR) de 70±10%. T6 = Tratamento 6 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 6 kPa, a 20 °C, com (UR) de 70±10%. T7 = Tratamento 7 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 9 kPa, a 20 °C, com (UR) de 70±10%. T8 = Tratamento 8 - O₂ 1,5 kPa e CO₂ 0,04 kPa, a 20 °C, com (UR) de 70±10%.

Teor de água

Tabela Valores médios da porcentagem do teor de água nas sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

Teor de água	Controle	Pós Armaz	Shelf life
T1	11,00 ± 0,04 ^{aA}	10,44 ± 0,05 ^{bcAB}	10,21 ± 0,08 ^{bcB}
T2	11,00 ± 0,04 ^{aA}	9,67 ± 0,09 ^{cdB}	9,69 ± 0,03 ^{bcB}
T3	11,00 ± 0,04 ^{aA}	9,54 ± 0,08 ^{dB}	9,42 ± 0,05 ^{cB}
T4	11,00 ± 0,04 ^{aA}	8,35 ± 0,02 ^{eB}	8,56 ± 0,02 ^{dB}
T5	11,00 ± 0,04 ^{aA}	12,27 ± 0,03 ^{aB}	11,76 ± 0,08 ^{aB}
T6	11,00 ± 0,04 ^{aA}	10,51 ± 0,07 ^{bAB}	10,28 ± 0,02 ^{bB}
T7	11,00 ± 0,04 ^{aA}	10,48 ± 0,01 ^{bcAB}	10,20 ± 0,07 ^{bcB}
T8	11,00 ± 0,04 ^{aA}	10,02 ± 0,06 ^{bcdB}	9,94 ± 0,06 ^{bcB}

Porcentagem de germinação

Tabela Valores médios da porcentagem de germinação das sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

Germinação	Controle	Pós Armaz	Shelf life
T1	98,88 ± 0,14 ^a	96,00 ± 0,99 ^b	96,00 ± 0,88 ^b
T2	98,88 ± 0,14 ^a	96,26 ± 0,95 ^b	97,26 ± 0,83 ^b
T3	98,88 ± 0,14 ^a	98,26 ± 0,92 ^b	97,50 ± 0,85 ^b
T4	98,88 ± 0,14 ^a	96,76 ± 0,98 ^b	96,00 ± 0,81 ^b
T5	98,88 ± 0,14 ^a	98,00 ± 0,96 ^b	96,26 ± 0,84 ^b
T6	98,88 ± 0,14 ^a	95,50 ± 0,97 ^b	97,26 ± 0,88 ^b
T7	98,88 ± 0,14 ^a	97,76 ± 0,93 ^b	97,50 ± 0,87 ^b
T8	98,88 ± 0,14 ^a	97,00 ± 0,91 ^b	94,26 ± 0,82 ^b

Índice de velocidade de emergência

Tabela Valores médios do índice de velocidade de emergência (cm) das sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

IVE	Controle	Pós Armaz	Shelf life
T1	29,23 ± 0,98 ^a	6,08 ± 0,47 ^c	6,52 ± 0,33 ^b
T2	29,23 ± 0,98 ^a	6,14 ± 0,42 ^c	6,75 ± 0,39 ^b
T3	29,23 ± 0,98 ^a	6,34 ± 0,46 ^c	6,81 ± 0,31 ^b
T4	29,23 ± 0,98 ^a	6,46 ± 0,40 ^c	6,29 ± 0,36 ^b
T5	29,23 ± 0,98 ^a	5,49 ± 0,45 ^c	6,85 ± 0,38 ^b
T6	29,23 ± 0,98 ^a	5,89 ± 0,49 ^c	6,95 ± 0,32 ^b
T7	29,23 ± 0,98 ^a	6,20 ± 0,43 ^c	7,14 ± 0,37 ^b
T8	29,23 ± 0,98 ^a	5,41 ± 0,48 ^c	6,52 ± 0,35 ^b

Envelhecimento acelerado

Tabela Valores médios da porcentagem do envelhecimento acelerado das sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

Envelhecimento Acelerado	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
T1	85,06 ± 1,36 ^a	95,76 ± 0,96 ^b	96,00 ± 0,89 ^b
T2	85,06 ± 1,36 ^a	96,26 ± 0,91 ^b	96,76 ± 0,83 ^b
T3	85,06 ± 1,36 ^a	97,26 ± 0,94 ^b	97,26 ± 0,87 ^b
T4	85,06 ± 1,36 ^a	95,50 ± 0,92 ^b	95,00 ± 0,85 ^b
T5	85,06 ± 1,36 ^a	95,00 ± 0,93 ^b	96,00 ± 0,81 ^b
T6	85,06 ± 1,36 ^a	95,26 ± 0,98 ^b	97,00 ± 0,86 ^b
T7	85,06 ± 1,36 ^a	98,26 ± 0,99 ^b	97,00 ± 0,82 ^b
T8	85,06 ± 1,36 ^a	94,76 ± 0,97 ^b	96,50 ± 0,88 ^b

Crescimento médio de raiz

Tabela Valores médios do crescimento médio de raiz (cm) das sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

Crescimento de Raiz	Controle	Pós Armaz	Shelf life
T1	11,39 ± 1,01 ^a	13,31 ± 1,22 ^b	13,03 ± 1,17 ^b
T2	11,39 ± 1,01 ^a	13,44 ± 1,26 ^b	13,42 ± 1,21 ^b
T3	11,39 ± 1,01 ^a	14,77 ± 1,33 ^b	15,07 ± 1,33 ^b
T4	11,39 ± 1,01 ^a	12,76 ± 1,24 ^b	11,69 ± 1,14 ^b
T5	11,39 ± 1,01 ^a	13,18 ± 1,27 ^b	13,24 ± 1,25 ^b
T6	11,39 ± 1,01 ^a	13,82 ± 1,21 ^b	14,07 ± 1,29 ^b
T7	11,39 ± 1,01 ^a	14,35 ± 1,29 ^b	14,61 ± 1,34 ^b
T8	11,39 ± 1,01 ^a	11,75 ± 1,26 ^b	13,00 ± 1,22 ^b

Crescimento médio da parte aérea

Tabela Valores médios do crescimento médio da parte aérea (cm) das sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

Crescimento Parte Aérea	Controle	Pós Armaz	Shelf life
T1	4,16 ± 0,30 ^{aA}	7,60 ± 0,81 ^{bA}	7,58 ± 0,79 ^{bC}
T2	4,16 ± 0,30 ^{aA}	7,99 ± 0,88 ^{bA}	8,45 ± 0,83 ^{bC}
T3	4,16 ± 0,30 ^{aA}	8,78 ± 0,92 ^{bA}	8,73 ± 0,86 ^{bBC}
T4	4,16 ± 0,30 ^{aA}	7,26 ± 0,76 ^{bA}	7,43 ± 0,74 ^{bC}
T5	4,16 ± 0,30 ^{aA}	8,32 ± 0,84 ^{bA}	9,26 ± 0,89 ^{bBC}
T6	4,16 ± 0,30 ^{aA}	8,66 ± 0,85 ^{bA}	11,36 ± 0,93 ^{cAB}
T7	4,16 ± 0,30 ^{aA}	9,12 ± 0,96 ^{bA}	12,61 ± 0,97 ^{cA}
T8	4,16 ± 0,30 ^{aA}	6,89 ± 0,77 ^{bA}	8,46 ± 0,85 ^{bC}

Tetrazólio

Tabela Valores médios do tetrazólio (%) das sementes de feijão carioca armazenadas sob atmosfera controlada por 180 dias

Tetrazólio	Controle	Pós Armaz	Shelf life
T1	97,95 ± 0,48 ^{aA}	20,25 ± 18,61 ^{bB}	95,00 ± 5,50 ^{aA}
T2	97,95 ± 0,48 ^{aA}	23,25 ± 15,32 ^{bB}	97,00 ± 5,78 ^{aA}
T3	97,95 ± 0,48 ^{aA}	17,25 ± 20,78 ^{bB}	97,00 ± 5,24 ^{aA}
T4	97,95 ± 0,48 ^{aA}	66,00 ± 9,57 ^{aC}	89,00 ± 7,43 ^{abB}
T5	97,95 ± 0,48 ^{aA}	19,00 ± 19,36 ^{cC}	89,00 ± 7,45 ^{abB}
T6	97,95 ± 0,48 ^{aA}	23,25 ± 15,78 ^{cC}	89,00 ± 6,87 ^{abB}
T7	97,95 ± 0,48 ^{aA}	17,75 ± 20,53 ^{bB}	91,00 ± 6,21 ^{abA}
T8	97,95 ± 0,48 ^{aA}	52,25 ± 10,39 ^{bB}	85,00 ± 5,88 ^{bB}

Capacidade de hidratação e tempo de cozimento

Tabela Comparação de médias dos grãos de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada

Tratamentos	Tempo das análises		
	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
	Capacidade de hidratação (%)		
T1	91,83 ± 0,63 ^{cA}	102,33 ± 1,32 ^{aABC}	99,49 ± 2,49 ^{bCD}
T2	91,83 ± 0,63 ^{cA}	102,44 ± 1,33 ^{aABC}	100,23 ± 2,47 ^{bBC}
T3	91,83 ± 0,63 ^{cA}	103,81 ± 1,35 ^{aA}	100,92 ± 2,45 ^{bABC}
T4	91,83 ± 0,63 ^{cA}	102,32 ± 1,34 ^{aABC}	97,59 ± 2,43 ^{bD}
T5	91,83 ± 0,63 ^{bA}	100,78 ± 1,33 ^{aBC}	102,03 ± 2,44 ^{aABC}
T6	91,83 ± 0,63 ^{bA}	102,12 ± 1,32 ^{aABC}	102,14 ± 2,48 ^{aAB}
T7	91,83 ± 0,63 ^{bA}	102,74 ± 1,33 ^{aAB}	103,22 ± 2,47 ^{aA}
T8	91,83 ± 0,63 ^{bA}	100,13 ± 1,31 ^{aC}	97,53 ± 2,49 ^{bD}
	Tempo de Cozimento (minuto)		
T1	29 ± 2,63 ^{aAB}	24 ± 3,56 ^{bAB}	24 ± 2,85 ^{bAB}
T2	29 ± 2,63 ^{aAB}	23 ± 3,56 ^{bAB}	23 ± 2,83 ^{bAB}
T3	29 ± 2,63 ^{aB}	22 ± 3,57 ^{bB}	22 ± 2,85 ^{bB}
T4	29 ± 2,63 ^{aA}	25 ± 3,54 ^{bAB}	28 ± 2,84 ^{bA}
T5	29 ± 2,63 ^{aAB}	25 ± 3,55 ^{bAB}	25 ± 2,84 ^{bAB}
T6	29 ± 2,63 ^{aAB}	24 ± 3,55 ^{bAB}	23 ± 2,86 ^{bAB}
T7	29 ± 2,63 ^{aB}	22 ± 3,53 ^{bB}	21 ± 2,87 ^{bB}
T8	29 ± 2,63 ^{aAB}	28 ± 3,58 ^{bA}	25 ± 2,85 ^{bAB}

Acidez titulável e sólido solúvel total

Tabela Comparação de médias dos grãos de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada

Tratamentos	Tempo das análises		
	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
	Acidez titulável (mg KOH.g ⁻¹)		
T1	21,78 ± 0,61 ^{bA}	27,84 ± 2,37 ^{aCD}	28,19 ± 3,74 ^{aD}
T2	21,78 ± 0,61 ^{bA}	27,25 ± 2,36 ^{aCD}	26,55 ± 3,73 ^{aDE}
T3	21,78 ± 0,61 ^{bA}	26,31 ± 2,38 ^{aD}	24,91 ± 3,77 ^{aE}
T4	21,78 ± 0,61 ^{cA}	28,66 ± 2,38 ^{bC}	31,25 ± 3,75 ^{aC}
T5	21,78 ± 0,61 ^{cA}	31,72 ± 2,37 ^{bA}	34,77 ± 3,74 ^{aAB}
T6	21,78 ± 0,61 ^{cA}	31,01 ± 2,37 ^{bAB}	33,13 ± 3,73 ^{aABC}
T7	21,78 ± 0,61 ^{cA}	28,90 ± 2,35 ^{bBC}	32,66 ± 3,75 ^{aBC}
T8	21,78 ± 0,61 ^{cA}	32,42 ± 2,39 ^{bA}	35,01 ± 3,76 ^{aA}
Tratamentos	Sólido solúvel total (°brix)		
T1	1,06 ± 0,05 ^a	0,90 ± 0,06 ^c	0,90 ± 0,07 ^b
T2	1,06 ± 0,05 ^a	0,90 ± 0,05 ^c	0,90 ± 0,06 ^b
T3	1,06 ± 0,05 ^a	0,90 ± 0,06 ^c	0,93 ± 0,08 ^b
T4	1,06 ± 0,05 ^a	0,80 ± 0,06 ^c	0,93 ± 0,07 ^b
T5	1,06 ± 0,05 ^a	0,85 ± 0,06 ^c	0,93 ± 0,06 ^b
T6	1,06 ± 0,05 ^a	0,85 ± 0,07 ^c	0,98 ± 0,08 ^b
T7	1,06 ± 0,05 ^a	0,90 ± 0,05 ^c	1,00 ± 0,07 ^b
T8	1,06 ± 0,05 ^a	0,85 ± 0,06 ^c	0,93 ± 0,07 ^b

Cor

Tabela Comparação de médias dos grãos de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada

Tratamentos	Tempo das análises		
	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
	Componente a*		
T1	5,43 ± 0,12 ^a	5,92 ± 0,17 ^b	5,93 ± 0,16 ^b
T2	5,43 ± 0,12 ^a	5,92 ± 0,18 ^b	5,87 ± 0,16 ^b
T3	5,43 ± 0,12 ^a	5,80 ± 0,16 ^b	5,80 ± 0,15 ^b
T4	5,43 ± 0,12 ^a	5,97 ± 0,18 ^b	5,72 ± 0,14 ^b
T5	5,43 ± 0,12 ^a	5,98 ± 0,16 ^b	5,90 ± 0,16 ^b
T6	5,43 ± 0,12 ^a	5,83 ± 0,17 ^b	5,87 ± 0,17 ^b
T7	5,43 ± 0,12 ^a	5,80 ± 0,15 ^b	5,79 ± 0,17 ^b
T8	5,43 ± 0,12 ^a	6,11 ± 0,19 ^b	5,98 ± 0,16 ^b
	Componente b*		
T1	9,18 ± 0,17 ^{aA}	9,39 ± 0,25 ^{aA}	9,36 ± 0,28 ^{aA}
T2	9,18 ± 0,17 ^{aA}	9,30 ± 0,25 ^{aA}	9,34 ± 0,29 ^{aA}
T3	9,18 ± 0,17 ^{aB}	8,93 ± 0,22 ^{aB}	8,79 ± 0,24 ^{aB}
T4	9,18 ± 0,17 ^{aA}	9,43 ± 0,28 ^{aA}	9,47 ± 0,27 ^{aA}
T5	9,18 ± 0,17 ^{aA}	9,45 ± 0,26 ^{aA}	9,35 ± 0,26 ^{aA}
T6	9,18 ± 0,17 ^{aA}	9,39 ± 0,27 ^{aA}	9,30 ± 0,25 ^{aA}
T7	9,18 ± 0,17 ^{aAB}	9,08 ± 0,24 ^{aAB}	9,06 ± 0,23 ^{aAB}
T8	9,18 ± 0,17 ^{aA}	9,48 ± 0,26 ^{aA}	9,38 ± 0,29 ^{aA}
	Luminosidade L*		
T1	54,11 ± 0,57 ^{aA}	54,12 ± 0,96 ^{aAB}	53,92 ± 0,85 ^{aAB}
T2	54,11 ± 0,57 ^{aA}	54,32 ± 0,95 ^{aAB}	54,35 ± 0,83 ^{aA}
T3	54,11 ± 0,57 ^{aA}	54,59 ± 0,92 ^{aA}	54,51 ± 0,85 ^{aA}
T4	54,11 ± 0,57 ^{aA}	52,14 ± 0,97 ^{bC}	52,58 ± 0,84 ^{bC}
T5	54,11 ± 0,57 ^{aA}	54,01 ± 0,96 ^{aAB}	54,26 ± 0,84 ^{aA}
T6	54,11 ± 0,57 ^{aA}	54,30 ± 0,97 ^{aAB}	54,35 ± 0,85 ^{aA}
T7	54,11 ± 0,57 ^{aA}	54,36 ± 0,96 ^{aAB}	54,85 ± 0,86 ^{aA}
T8	54,11 ± 0,57 ^{aA}	53,26 ± 0,95 ^{abBC}	52,92 ± 0,83 ^{bBC}
	Índice de coroma H^o		
T1	62,75 ± 0,26 ^{aA}	61,38 ± 0,93 ^{bA}	61,24 ± 0,78 ^{bAB}
T2	62,75 ± 0,26 ^{aA}	61,64 ± 0,95 ^{bA}	61,67 ± 0,79 ^{bAB}
T3	62,75 ± 0,26 ^{aA}	61,72 ± 0,92 ^{abA}	62,03 ± 0,75 ^{bA}
T4	62,75 ± 0,26 ^{aA}	59,40 ± 0,91 ^{bC}	59,72 ± 0,71 ^{bC}
T5	62,75 ± 0,26 ^{aA}	60,86 ± 0,94 ^{bAB}	61,43 ± 0,74 ^{bAB}
T6	62,75 ± 0,26 ^{aA}	61,44 ± 0,93 ^{bA}	61,50 ± 0,78 ^{bAB}
T7	62,75 ± 0,26 ^{aA}	61,78 ± 0,93 ^{bA}	61,84 ± 0,77 ^{bAB}
T8	62,75 ± 0,26 ^{aA}	60,27 ± 0,94 ^{bBC}	60,90 ± 0,72 ^{bB}
	Índice de coroma C*		
T1	13,81 ± 0,23 ^a	14,28 ± 0,34 ^b	14,27 ± 0,26 ^b
T2	13,81 ± 0,23 ^a	14,09 ± 0,35 ^b	14,23 ± 0,23 ^b
T3	13,81 ± 0,23 ^a	13,94 ± 0,32 ^b	13,90 ± 0,25 ^b
T4	13,81 ± 0,23 ^a	14,30 ± 0,38 ^b	14,37 ± 0,22 ^b
T5	13,81 ± 0,23 ^a	14,24 ± 0,36 ^b	14,32 ± 0,24 ^b
T6	13,81 ± 0,23 ^a	14,20 ± 0,37 ^b	14,28 ± 0,27 ^b
T7	13,81 ± 0,23 ^a	13,81 ± 0,33 ^b	14,17 ± 0,26 ^b
T8	13,81 ± 0,23 ^a	14,37 ± 0,34 ^b	14,43 ± 0,25 ^b

Textura

Tabela Comparação de médias dos grãos de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada

Tratamentos	Tempo das análises		
	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
	Textura grão cozido (N.grão ⁻¹)		
T1	3,31 ± 0,18 ^{cA}	4,46 ± 0,31 ^{aA}	4,04 ± 0,40 ^{bBC}
T2	3,31 ± 0,18 ^{bA}	4,19 ± 0,31 ^{aAB}	4,01 ± 0,43 ^{aBC}
T3	3,31 ± 0,18 ^{bA}	4,00 ± 0,32 ^{aBC}	3,74 ± 0,41 ^{aCD}
T4	3,31 ± 0,18 ^{bA}	4,46 ± 0,33 ^{aA}	4,23 ± 0,41 ^{aAB}
T5	3,31 ± 0,18 ^{bA}	4,05 ± 0,30 ^{aABC}	4,25 ± 0,42 ^{aAB}
T6	3,31 ± 0,18 ^{bA}	3,87 ± 0,31 ^{aBC}	3,71 ± 0,40 ^{aCD}
T7	3,31 ± 0,18 ^{bA}	3,68 ± 0,33 ^{aC}	3,35 ± 0,40 ^{abD}
T8	3,31 ± 0,18 ^{bA}	4,27 ± 0,31 ^{aAB}	4,59 ± 0,42 ^{aA}

Capacidade antioxidante e tanino

Tabela Comparação de médias dos grãos de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada

Tratamentos	Tempo das análises		
	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
	Capacidade antioxidante (%DPPH)		
T1	2,517 ± 0,05 ^{aAB}	2,509 ± 0,05 ^{aAB}	2,515 ± 0,05 ^{aAB}
T2	2,517 ± 0,05 ^{aAB}	2,509 ± 0,05 ^{aAB}	2,523 ± 0,05 ^{aAB}
T3	2,517 ± 0,05 ^{aAB}	2,554 ± 0,06 ^{aAB}	2,526 ± 0,05 ^{aAB}
T4	2,517 ± 0,05 ^{ab}	2,485 ± 0,04 ^{ab}	2,453 ± 0,04 ^{ab}
T5	2,517 ± 0,05 ^{aAB}	2,567 ± 0,06 ^{aAB}	2,549 ± 0,04 ^{aAB}
T6	2,517 ± 0,05 ^{aAB}	2,571 ± 0,05 ^{aAB}	2,557 ± 0,06 ^{aAB}
T7	2,517 ± 0,05 ^{aA}	2,596 ± 0,07 ^{aA}	2,582 ± 0,06 ^{aA}
T8	2,517 ± 0,05 ^{aAB}	2,538 ± 0,05 ^{aAB}	2,526 ± 0,05 ^{aAB}
	Taninos (mg.100g ⁻¹)		
T1	177,89 ± 7,25 ^{aA}	195,10 ± 16,85 ^{aA}	184,61 ± 23,11 ^{aAB}
T2	177,89 ± 7,25 ^{aA}	193,11 ± 16,85 ^{aA}	173,32 ± 23,18 ^{aB}
T3	177,89 ± 7,25 ^{aA}	187,35 ± 16,87 ^{aA}	171,34 ± 23,20 ^{aB}
T4	177,89 ± 7,25 ^{aA}	203,78 ± 16,90 ^{aA}	192,95 ± 23,11 ^{aAB}
T5	177,89 ± 7,25 ^{bA}	198,96 ± 16,80 ^{abA}	214,61 ± 23,14 ^{aA}
T6	177,89 ± 7,25 ^{bA}	195,50 ± 16,84 ^{abA}	210,48 ± 23,13 ^{aA}
T7	177,89 ± 7,25 ^{bA}	190,14 ± 16,86 ^{abA}	209,32 ± 23,10 ^{aA}
T8	177,89 ± 7,25 ^{aA}	203,46 ± 16,88 ^{abA}	215,73 ± 23,15 ^{aA}

Atividade da peroxidase

Tabela Comparação de médias dos grãos de feijão carioca armazenados com a combinação dos gases de oxigênio e gás carbônico, em atmosfera controlada

Tratamentos	Tempo das análises		
	Controle	Pós-armazenamento	Shelf life
	Peroxidase (unidade/g de farinha/minuto)		
T1	680,17 ± 0,70 ^{aA}	658,16 ± 5,26 ^{cD}	663,18 ± 6,13 ^{bDE}
T2	680,17 ± 0,70 ^{aA}	656,35 ± 5,29 ^{cDE}	662,55 ± 6,19 ^{bE}
T3	680,17 ± 0,70 ^{aA}	654,94 ± 5,20 ^{cE}	661,25 ± 6,10 ^{bE}
T4	680,17 ± 0,70 ^{aA}	660,93 ± 5,21 ^{cC}	664,96 ± 6,16 ^{bD}
T5	680,17 ± 0,70 ^{aA}	668,93 ± 5,28 ^{cA}	675,90 ± 6,13 ^{bAB}
T6	680,17 ± 0,70 ^{aA}	665,31 ± 5,30 ^{cB}	673,99 ± 6,14 ^{bBC}
T7	680,17 ± 0,70 ^{aA}	662,14 ± 5,26 ^{cC}	672,18 ± 6,17 ^{bC}
T8	680,17 ± 0,70 ^{aA}	669,21 ± 5,24 ^{cA}	676,26 ± 6,15 ^{bA}