

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
CAMPUS ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**RESPIRAÇÃO DO FEIJÃO DURANTE O ARMAZENAMENTO SOB  
CONDIÇÕES CONTROLADAS E COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA.**

Fernanda Pereira Gomes

ANÁPOLIS – GOIÁS

JUNHO DE 2019

**RESPIRAÇÃO DO FEIJÃO DURANTE O ARMAZENAMENTO SOB  
CONDIÇÕES CONTROLADAS E COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA.**

FERNANDA PEREIRA GOMES

Engenheira Agrícola

ORIENTADOR: PROF. DR. IVANO ALESSANDRO DEVILLA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

ANÁPOLIS – GOIÁS

JUNHO DE 2019

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO .....	5
2.1.1 A produção de feijão.....	6
2.1.2 O mercado de feijão no Brasil e a comercialização.....	7
2.1.3 O mercado internacional de feijão.....	9
2.1.4 A importância do feijão na alimentação.....	9
2.1.5 Métodos para impulsionar a qualidade dos grãos de feijão.....	9
2.2 SECAGEM E ARMAZENAMENTO.....	11
2.2.1 Métodos e importância da secagem.....	11
2.2.2 Fatores que influenciam a qualidade dos grãos durante a secagem.....	11
<b>2.2.2.1 Temperatura do ar de secagem.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2.2 Umidade relativa do ar.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2.3 Fluxo de ar e teor de água.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2.4 Taxa de secagem.....</b>	<b>13</b>
2.2.3 Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos.....	13
2.2.4 Armazenamento Hermético.....	13
2.3 A RESPIRAÇÃO.....	14
2.3.1 Os princípios da respiração.....	15
2.3.2 Consequências da respiração.....	16
2.3.3 Aparelho medidor.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA.....	18
3.2 O EXPERIMENTO.....	18
3.2.1 Caracterização do experimento.....	19
3.2.2 Medição de Respiração dos Grãos de Feijão.....	22
3.2.3 Análise de Matéria Seca.....	26
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	27
3.3.2 Análise Estatística.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1 DADOS INICIAIS.....	28
4.2 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE MATÉRIA SECA, TAXA RESPIRATÓRIA, PRODUÇÃO DE CO <sub>2</sub> E CONSUMO DE O <sub>2</sub> .....	28
4.2.1 Determinação da Perda de Matéria Seca.....	29
4.2.2 Determinação da Taxa Respiratória em grãos de feijão.....	34
4.2.3 Determinação da Produção de CO <sub>2</sub> em grãos de feijão.....	37
5. CONCLUSÕES.....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## RESUMO

GOMES, F.P. **Determinação da taxa respiratória e perda de matéria seca em grãos de feijão em diferentes teores de água e temperaturas durante o armazenamento.** 2019. 49p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

A população brasileira, cerca de 70%, consome feijão diariamente. A produção de grãos com elevada qualidade requer entre outras recomendações que, o produto seja colhido sadio e antecipadamente, visando minimizar as perdas ocasionadas no campo pelos ataques de insetos e microrganismos. Síntese das estratégias de armazenamento de grão adequada é a chave para ativá-los por um longo período de retenção sem sofrer quaisquer prejuízos como perda de peso, perda de qualidade, risco para a saúde e perda econômica. Dentre as atividades de culturas, durante o seu armazenamento, que pode ser medido de forma independente, está a respiração do grão. O trabalho tem por objetivo avaliar a taxa respiratória e perda de matéria seca de grãos de feijão em diferentes teores de água e temperaturas de armazenamento. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás, situado no Campus CCET - Henrique Santillo, Anápolis - GO. Utilizou-se seis quilos de grãos de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L), cultivar BRS MG REALCE, advindos de um outro experimento na (Emater Anápolis). Seis quilos de grãos de feijão comum, foram colhidos com umidade de campo, e em sequência foram secos, utilizando secagem artificial com ventilação natural (empregando energia solar e eólica), até atingirem os teores de água de 21, 18, 15 e 12% b.u. As amostras foram levadas para câmaras tipo B.O.D sendo armazenadas nas temperaturas de 25 e 30°C. Durante 90 dias, com um intervalo de sete dias, as amostras foram levadas para um analisador multicanal de gás o qual quantificou os teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, assim como também, a taxa respiratória. Para a perda de matéria seca, as amostras foram pesadas em intervalos de sete dias, e posteriormente, calculadas por meio de fórmula. O experimento desenvolveu-se em delineamento inteiramente casualizado com parcela subdividida com fatorial na parcela. Sendo a interação dos tratamentos, Teores de água (21, 18, 15 e 12% b.u) e Temperatura de armazenamento (25 e 35°C) na parcela, com três repetições, totalizando 24 observações, e o fator Tempo na subparcela, com avaliações semanais durante 90 dias de armazenamento, totalizando 13 análises. Após a coleta de dados foi realizada a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e quando significativos, foram submetidos a análise de regressão para fatores quantitativos e teste de comparação de médias de Tukey para fatores qualitativos. Na secagem artificial por ventilação natural foram atingidos os teores de 12,56; 15,30; 18,08 e 21,46% b.u. Os teores de água mais elevados (18,08 e 21,46% b.u) ganharam massa seca até a quinta semana de armazenamento. O teor de água de 15,30% b.u obteve comportamento polinomial, e foi verificado que o mesmo não apresentou perdas consideráveis por todo o armazenamento. Este mesmo fato aconteceu para o teor de água de 12,56%. Todos os teores de água, na primeira semana de armazenamento, para as duas temperaturas, obtiveram 0,02% de perda de matéria seca em grãos de feijão comum da cultivar BRSMG REALCE. A produção de CO<sub>2</sub> foi maior para o teor de água de 21,46%b.u na temperatura de 30°C com um valor de 254,23 mg CO<sub>2</sub>. O consumo de O<sub>2</sub> apresentou normalidade nos dados, e seu coeficiente de variação foi de 47,09, considerado muito alto. O teor de água e temperatura que melhor se adequa a um armazenamento seguro para grãos de feijão comum da cultivar BRSMG REALCE é de 12,56%b.u e 25°C, respectivamente.

**Palavras - chave:** Respiração; Dióxido de Carbono; *BRSMG REALCE*.

## ABSTRACT

The Brazilian population, about 70%, consume beans daily. The production of high quality grains requires, among other recommendations, that the product be harvested in good time and in advance, in order to minimize the losses caused in the field by insect and microorganism attacks. Synthesis of proper grain storage strategies is the key to activating them for a long retention period without suffering any losses like weight loss, loss of quality, health risk and economic loss. Among the crop activities, during storage, which can be measured independently, is the breath of the grain. The objective of this study was to evaluate the respiratory rate and dry matter loss of bean grains at different water contents and storage temperatures. The experiments were carried out at the Laboratory of Drying and Storage of Vegetable Products of the State University of Goiás, located at the Campus CCET - Henrique Santillo, Anápolis - GO. Six kilos of beans (*Phaseolus vulgaris* L), cultivar BRS MG ENERGE, were obtained from another experiment in (Emater Anápolis). Six kilos of common bean grains were harvested with field moisture, and in sequence were dried using artificial ventilation with natural ventilation (using solar and wind energy) until reaching water contents of 21, 18, 15 and 12% bu Samples were taken to B.O.D type chambers being stored at temperatures of 25 and 30 ° C. For 90 days, with a seven day interval, the samples were taken to a multi-channel gas analyzer which quantified the CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> contents, as well as the respiratory rate. For the loss of dry matter, the samples were weighed in intervals of seven days, and later, calculated by means of formula. The experiment was developed in a randomized design with subdivided plot with factorial in the plot. The interaction of the treatments, Water contents (21, 18, 15 and 12% bu) and Storage temperature (25 and 35 ° C) in the plot, with three replications, totaling 24 observations, and Time factor in the subplot, with weekly evaluations during 90 days of storage, totaling 13 analyzes. After data collection, the analysis of variance was performed by the F test at 5% probability and, when significant, were submitted to regression analysis for quantitative factors and Tukey averages comparison test for qualitative factors. In the artificial drying by natural ventilation were reached the contents of 12.56; 15,30; 18.08 and 21.46% b.u. The highest water contents (18.08 and 21.46% b.u) gained dry mass up to the fifth week of storage. The water content of 15.30% b.u obtained polynomial behavior, and it was verified that it did not present considerable losses throughout the storage. This same fact occurred for the water content of 12.56%. All water contents in the first week of storage for both temperatures obtained 0.02% dry matter loss in common bean grains of BRSMG REALCE. The CO<sub>2</sub> production was higher for the water content of 21.46% b.u at the temperature of 30 ° C with a value of 254.23 mg CO<sub>2</sub>. The O<sub>2</sub> consumption presented normality in the data, and its coefficient of variation was of 47.09, considered very high. The water and temperature content best suited to a safe storage for common bean grains of BRSMG REALCE is 12.56% b.u and 25 ° C, respectively.

**Keywords:** Breathing; Carbon dioxide; *BRSMG ENHANCEMENT*.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Mapa (2015), o Brasil vem desenvolvendo uma agricultura comercial de grande escala, consequência do avanço da pesquisa e tecnologia nos campos oferecendo ao produtor sementes melhoradas visando maior produtividade. O país está entre os maiores produtores e exportadores de grãos do mundo, devido a sua alta produtividade, resultado da utilização de alta tecnologia aplicada em agricultura, acompanhada de planejamento agrícola (OSAKI e BATALHA, 2014).

Segundo levantamentos realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção nacional de grãos de feijão na safra de 2017/18 foi de 3.369,5 mil toneladas, com um aumento de 0,9% em relação à safra anterior (CONAB, 2018). Sendo assim é evidente a fundamental importância de estudos acerca do alimento.

A população brasileira, cerca de 70%, consome feijão diariamente, atingindo um consumo médio por pessoa de dezessete quilos por ano. Atualmente o Brasil é o maior provedor do grão no mundo, contando com três safras anuais de feijões: “safra das águas”, “safra da seca” e “safra de inverno”. Presente em praticamente todos os Estados da Federação, a média anual total supera recorrentemente mais de três mil toneladas do grão (MAPA, 2018).

Grande parte da produção de grãos é armazenada durante um determinado período. A temperatura é um dos principais fatores que interferem na qualidade de armazenamento de grãos (REHMAN et al., 2002; REED et al., 2007; PARK et al., 2012). Segundo Sauer (1992), o armazenamento adequado dos produtos agrícolas evita perdas e preserva suas qualidades.

Segundo Rios et al. (2003), o teor de água superior ao recomendado para o armazenamento seguro é uma das principais causas da perda das suas características tecnológicas. As condições ideais para o armazenamento de grãos de feijão são obtidas com o controle do teor de água do grão, da umidade no armazenamento e da temperatura. Assim, para manter a qualidade, o teor de água não deve ser superior a 13% b.u, sob risco de comprometer a qualidade fisiológica do grão devido ao aumento do seu processo respiratório, o que favorece o crescimento de fungos e micotoxinas (EMBRAPA, 2018).

As estratégias de armazenamento de grão adequada, como baixo teor de água, baixas temperaturas, sem infestação de insetos, é a chave para ativá-los por um longo período de retenção sem sofrer quaisquer prejuízos, como perda de massa, perda de qualidade, risco para a saúde e perda econômica. Segundo Correa e Correa (2013), os procedimentos de armazenamento adequado e práticas de gestão são desejáveis.

A produção de grãos de feijão com elevada qualidade requer, entre outras recomendações, que o produto seja colhido sadio e antecipadamente, visando minimizar as perdas ocasionadas no campo pelos ataques de insetos e microrganismos. Dessa maneira, devido ao conteúdo de umidade do feijão ser elevado, após a colheita, faz-se necessário a secagem do grão, a fim de prolongar o seu período de armazenamento (DOYMAZ et al., 2015).

Segundo Forcier et al. (1987), dentre as indicações relacionadas com a atividade de culturas durante o seu armazenamento, que poderia ser medido de forma independente, está a respiração do grão, sendo um parâmetro de interesse para estudos, pois afeta a vida de armazenamento da mercadoria.

A respiração é uma reação oxidativa de um composto orgânico complexo, como a glicose, compostos simples, como o  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , e a energia (KADER e SALTVEIT, 2002), conforme a reação:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 686 \text{ kcal}$ .

A partir da reação anteriormente citada é possível ver a relação entre o processo de respiração e as perdas de substrato ou perda de matéria seca (PMS). Para cada mol de glicose ( $180 \text{ g mol}^{-1}$ ) respirada, são produzidos 6 moles de dióxido de carbono ( $6 \times 44 \text{ g mol}^{-1}$ ). Com esse pressuposto, o  $\text{CO}_2$  envolvido é diretamente proporcional à PMS e 14,66 g de  $\text{CO}_2$  por kg de matéria seca original corresponde a 1% de PMS (BERN et al., 2002).

No Brasil, tornou-se prática comum, a aplicação de índices pelas unidades armazenadoras, para dedução da massa de grãos durante o período de armazenamento. Descontos de até 0,3% em peso, ao mês, independentemente do tipo, das características físicas, do grau de infestação do produto e das condições climáticas locais, eram feitos a título de limite de perda de matéria seca (ALVES, 2004).

Sendo assim, a Conab, como órgão normativo, propôs uma nova sistemática, adotando a partir de 01/07/1992, uma sobretaxa que o depositante paga antecipadamente à depositária, quinzenalmente, para ter a garantia da integridade quantitativa e qualitativa do produto entregue para armazenagem. Essa sobretaxa equivale a 0,15% do preço de mercado do produto (ALVES, 2004).

Conforme Fonseca et al. (2002), o teor de água e temperatura, bem como dióxido de carbono e gás oxigênio, são os principais fatores externos que afetam a taxa de respiração do grão e, conseqüentemente, a deterioração. Quando o teor de água é baixo (11 a 13% b.u), a atividade vital (respiração) é diminuída e o metabolismo reduzido ao mínimo, prolongando a manutenção da qualidade do produto armazenado (RIGUEIRA et al., 2009; BRAGANTINI, 2005).

Para Cardoso et al. (2012), o processo de deterioração é inevitável, mas pode ser retardado dependendo das condições de armazenamento e das características do grão ou semente.

As concentrações de oxigênio e dióxido de carbono, em tanques de armazenamento, também influenciam a taxa de respiração dos grãos. A diminuição da disponibilidade de O<sub>2</sub> diminui a atividade respiratória devido à redução da atividade metabólica. Da mesma forma, a alta concentração de CO<sub>2</sub> nas atmosferas ao redor do grão reduz o metabolismo respiratório, conforme relatado por Herner (1987).

Mesmo sem deterioração, os organismos presentes e sob condições favoráveis de armazenamento, os grãos continuam a respirar e a perder a matéria seca. Portanto, para determinar a vida útil ou os tempos de armazenamento permitidos de uma *commodity* de grãos, é importante medir e modelar sua taxa de PMS em diferentes condições de armazenamento.

Segundo Alves (2004), a temperatura é outro fator que influencia no processo respiratório dos grãos. Dentro de certos limites, há um aumento da intensidade da respiração, proporcional ao aumento da temperatura, isso se deve ao fato de que a oxidação da glicose, fruto do processo da respiração, é um processo exotérmico e libera calor que aquece o ambiente de armazenamento, acelerando, por sua vez, o processo de respiração com o aumento de temperatura (MOHLER,2010).

Elias (2004), expõe que, quanto mais a temperatura se elevar, maior será o risco de deterioração, até os 40°C. Acima de 40°C a respiração pode cessar como resultado dos efeitos destruidores que o calor elevado tem sobre as enzimas, como é possível verificar na figura a seguir.

Relação da temperatura com a taxa de respiração	
Temperatura (°C)	Respiração (mg CO <sub>2</sub> /24h)
25°C	33,6
30°C	39,7
35°C	71,8
40°C	154,7
45°C	13,1

Figura... Relação entre temperatura e taxa de respiração para grão  
Fonte: D'ARCE, 2019.

Embora outros fatores possam exercer influência sobre a conservação dos grãos, o teor de água é o elemento que comanda a qualidade do produto armazenado. Sob índices de alto

teor de água, isto é, superiores a 13-14% b.u., a respiração é aumentada rapidamente nos grãos de feijão e, em consequência, ocorre a deterioração do produto. Para se obter um armazenamento seguro, deve-se ter em vista que o principal fator reside no baixo teor de água (BROOKER et al., 1992).

Portanto, objetivou-se avaliar a taxa respiratória e perda de matéria seca, bem como também o consumo de  $O_2$  e a produção de  $CO_2$  de grãos de feijão da cultivar BRS MG Realce em diferentes teores de água e temperaturas, durante o armazenamento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO

Segundo Vilhordo (1996) o feijoeiro comum (Figura 1) é classificado botanicamente como sendo pertencente a ordem Rosales, família Fabaceae, sub-família Faboideae, tribo Phaseoleae, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L. O centro de origem do gênero *Phaseolus* é o continente americano, sendo o local exato ainda motivo de discussão. As variedades atuais de feijoeiro são resultado de eventos múltiplos de domesticação, com diferentes centros primários, um na América Central e o outro ao Sul dos Andes (Sul do Peru, Bolívia, Norte da Argentina) (EMBRAPA, 2006).



Figura 1. Feijoeiro

Fonte: Priscilla Bellini, 2016.

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de grande importância agrícola e alimentar, amplamente distribuída em todo o território brasileiro, e constitui-se num alimento proteico básico da dieta diária do homem, em especial nos países onde o consumo de proteína animal é limitado, por razões econômicas ou religiosas e culturais (VARASCHIN, 2011).

O feijoeiro comum é cultivado por diversas categorias de agricultores, utilizando poucos ou nenhum insumo e tecnologia ou até as mais modernas tecnologias na produção (SILVA, 2009). É uma cultura de extrema importância para a sociedade brasileira, uma vez que é uma das fontes de proteína mais utilizada pela população mais carente (PAULA JÚNIOR et al., 2008).

O feijoeiro comum possui uma raiz primária, da qual lateralmente se desenvolvem as demais raízes, concentrada na base do caule (SILVA, 1999), se localizam em sua maioria nos primeiros 10 centímetros de profundidade (PORTES, 1988). É uma planta herbácea de crescimento determinado ou indeterminado, cujo caule é formado por uma sequência de nós e entrenós, estando inserido no primeiro nó os cotilédones, no segundo as folhas primárias, e a partir do terceiro as folhas trifolioladas ou definitivas, podendo apresentar pilosidade e pigmentação (EMBRAPA, 2003).

O feijoeiro comum possui uma ampla diversidade de tipo de grãos, considerando coloração, tamanho e forma dos grãos. Essa diferenciação é bem evidente no mercado nacional, onde se cultiva feijões dos grupos Carioca, Preto, Mulatinho, Roxinho, Vermelho, entre outros. Mesmo existindo uma preferência regional para determinada coloração de tegumento, os feijões do grupo carioca são os mais produzidos no Brasil, e representam 63% do total (CONAB, 2015).

O grão, típico da culinária do país, é fonte de proteína vegetal, vitaminas do complexo B e sais minerais, ferro, cálcio e fósforo. O consumo do produto, em média, por pessoa chega a 19 kg de feijão por ano (BRASIL, 2015).

### 2.1.1 A produção de feijão

A produção anual de feijão é dividida entre três safras de cultivo, sendo a 1ª safra também chamada de safra das “águas” cultivada entre os meses de agosto a novembro, nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Tocantins e Rondônia. A safra da “seca” ou 2ª safra é realizada entre os meses de dezembro a abril, sendo utilizada nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Já a 3ª safra, também conhecida como safra irrigada, de inverno ou 3ª época, ocorre entre os meses de abril a julho, sendo tal praticada no Centro-Sul do país (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2016).

Devido à grande variabilidade genética o feijoeiro comum foi subdividido em grupos, carioca, preto e cores. Os feijões do grupo carioca são os mais produzidos no país, representando 63% do total, seguido pelos pertencentes ao grupo preto correspondendo a 18% da produção. A produção dos feijões carioca é uniformemente distribuída entre as três safras, já os feijões pretos possuem produção concentrada na 1ª safra, com 67% e 24% na 2ª safra (CONAB, 2015).

Apesar das amplas possibilidades de produção, o valor comercial e nutritivo do feijão deprecia-se rapidamente após a colheita, perdendo sua qualidade após dois meses de estocagem (ETENE, 2018).

Dada a grande importância da cultura no cenário nacional, muitas são as instituições que buscam lançar novas cultivares que apresentem alto potencial produtivo, sejam adaptadas as condições de cultivo, e apresentem resistência as principais pragas e patógenos (PONCE,2017).

### 2.1.2 O mercado de feijão no Brasil e a comercialização

No Brasil, o feijão se adapta a vários tipos de solo, clima, sistemas de produção, cultivo solteiro, consorciado ou ainda intercalado com outras espécies (YOKOYAMA,1996). Mesmo possuindo ampla adaptação e capacidade de distribuição geográfica, o feijoeiro é uma cultura exigente em relação as características agroclimáticas do local onde é cultivado, sendo imprescindível o conhecimento das particularidades da área a ser utilizada para implantação como mecanismo para evitar perdas e maximizar a produção e rentabilidade da cultura (PEREIRA et al., 2014).

A comercialização do feijão se dá com a venda da safra do produtor para um intermediário, que a revende para um atacadista, que a empacota e vende ao supermercado. A estocagem exige grande controle, já que o prazo de armazenamento é curto, no máximo dois meses. Geralmente, o feijão é estocado em silos e armazéns destinados a outras culturas, necessitando aplicação de produtos para evitar a ação de insetos. A logística de transporte é influenciada pelo gosto do consumidor, que prefere determinados tipos de feijão e pelas diversas safras, que ocorrem em épocas distintas, concentradas em diferentes regiões (a primeira no Sul, a segunda no Nordeste e a terceira no Sudeste), exigindo intenso transporte do produto, realizado, quase que totalmente, por rodovias, o que onera o custo, até chegar aos consumidores finais, onde a comercialização é realizada predominantemente nos supermercados, em pacotes (CIF, 2016).

O mercado do feijão é muito influenciado pelo tipo de grão comercializado, fatores agronômicos e sazonalidade, com o preço dependendo basicamente do mercado interno, já que praticamente não existe exportação. O fato da cultura possuir três safras facilita a mudança na intenção de plantio pelo produtor ao longo do ano, podendo influenciar preços. Uma praça importante na formação destes é o mercado atacadista de São Paulo e, no Nordeste, a de Barreiras-BA (ETENE, 2018).

O preço do feijão sofre grandes oscilações, atribuídas basicamente a fatores climáticos, como a quebra de safra ocorrida em 2016. Nesta situação, os produtores não tiraram proveito da alta dos preços, gerada pela frustração da produção ou pela safra vendida abaixo do custo de produção, em razão da má qualidade do grão, que comprometeu sua renda e os investimentos necessários para plantios futuros (ETENE, 2018). Desta forma a evolução dos preços do feijão nas regiões Sudeste e Nordeste nos anos de 2014 a 2018 são evidenciados na Figura 2.

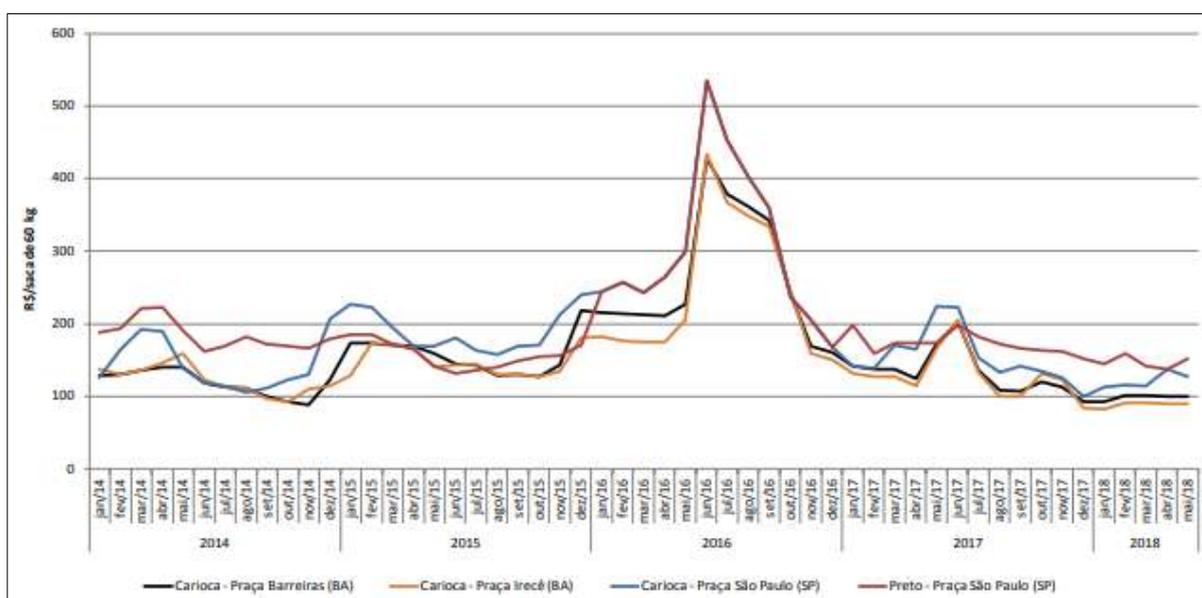


FIGURA 2. Evolução dos preços do feijão em regiões do Brasil nos anos de 2014 a 2018

Fonte: CONAB,2018.

Pode-se notar na figura supracitada que nos anos de 2014 e 2015 há poucas oscilações nos preços da saca de 60 quilos de feijão. É notório em 2016 uma elevação nos valores. Segundo o Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste –ETENE(2018), essa discrepância em maio até outubro de 2016 deve-se ao fato da quebra da safra ocorrida no País.

Ainda conforme a Etene (2018), Eles revelam também que esta quebra teve efeitos mais negativos no nordeste, em razão da seca severa ocorrida nesta região, em virtude do El Niño, que provocou seca nas principais áreas produtoras da Bahia. Os preços continuaram sem grandes oscilações de 2017 a maio de 2018.

### 2.1.3 O mercado internacional de feijão

Os maiores produtores mundiais de feijão, em ordem, são Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia, responsáveis por 56,99% do total produzido no mundo, ou 15,3 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2018). Mas o consumo é pequeno nos países mais desenvolvidos e o fato dos grandes produtores mundiais serem também os maiores consumidores gera poucos excedentes exportáveis, limita o conhecimento do mercado e, conseqüentemente, o comércio internacional do produto (CONAB, 2017).

### 2.1.4 A importância do feijão na alimentação

A importância do feijão extrapola o aspecto econômico devido à sua relevância como componente cultural e alimentício, podendo ser considerado, de acordo com Barbosa e Gonzaga (2012), um dos pilares da dieta brasileira. O feijão também se destaca como uma excelente opção nutricional para a população de baixa renda, pois, além das inúmeras propriedades nutricionais associadas a esse alimento o baixo custo e a grande produção de grãos contribuem para torná-la acessível a toda população.

O feijão é rico em nutrientes essenciais para a dieta humana. É fonte de ferro, proteínas, carboidratos, fibras e compostos vitamínicos e fenólicos que lhe conferem propriedades antioxidantes capazes de reduzir a incidência de doenças (POSSE, 2010).

O feijão é cultivado em quase todos os países de clima tropical e subtropical, razão pela qual assume enorme importância na alimentação humana devido, fundamentalmente, ao seu baixo custo em relação aos produtos de origem animal. Desta forma, trabalhos com feijão continuam sendo prioridade nas pesquisas por se tratar de um alimento rico em proteína, com plena aceitação nos mais diversos hábitos alimentares cujo cultivo se encontra disseminado em todo o país (Mesquita et al., 2007).

### 2.1.5 Métodos para impulsionar a qualidade dos grãos de feijão

Com o intuito de aumentar a produção e melhorar a qualidade de grãos de feijão, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) lançou no primeiro semestre de 2018 algumas cultivares, como a BRS Esteio, BRS ESPLENDOR (preto), BRSFC 402, BRSMG REALCE, BRS ESTILO (carioca) e BRSMG MADREPÉROLA (carioca). Segundo

a Embrapa (2018), elas foram desenvolvidas geralmente para terem resistência à antracnose, ferrugem e mosaico, algumas de porte ereto, facilitando a colheita mecanizada.

A escolha da cultivar adequada está entre os fatores que mais afetam o sucesso da cultura do feijoeiro, sendo que no momento da decisão, alguns pontos devem ser considerados, como a facilidade de comercialização. Outro fator é a resistência a estresses bióticos, especialmente aos patógenos, que reduzem drasticamente a produtividade do feijoeiro como a antracnose (*Glomerella cingulata f.sp. phaseoli*) e a mancha angular (*Phaeroisariopsis griseola*), sendo assim importante dar-se preferência às cultivares resistentes (WANDER et al., 2005).

Outros fatores que devem ser considerados são a altura da vagem para possibilitar uma colheita mecanizada, o hábito de crescimento e o ciclo da cultivar, os quais possibilitam uma condução de forma escalonada na propriedade (PERETTI et al., 2017).

A cultivar BRSMG Realce (Figura 3), segundo a Embrapa (2017), apresenta características que favorecem a sua comercialização e maior desenvolvimento. Possui bom potencial produtivo e alto valor agregado por sua excelente qualidade culinária. As plantas são eretas, adaptadas à colheita mecanizada direta e têm hábito de crescimento determinado tipo I.



FIGURA 3. Feijão - BRSMG Realce

Fonte: Araújo, 2016.

A BRSMG Realce possui resistência a antracnose, é moderadamente resistente à ferrugem, à murcha de *curtobacterium*, à murcha de *fusarium*, ao oídio e apresenta reação intermediária ao crescimento bacteriano comum e à mancha angular (EMBRAPA, 2017).

Desta forma, segundo Andrade et al. (2006), para obter qualidade e maior desenvolvimento parte da água contida na semente após a colheita precisa ser removida; para

isto, a secagem é a etapa, dentro do processamento de sementes, que removerá o excesso de água de forma a propiciar condições adequadas para o beneficiamento, armazenamento e comercialização.

## 2.2 SECAGEM E ARMAZENAMENTO

### 2.2.1 Métodos e importância da secagem

A secagem de alimentos é um processo de conservação que permite a obtenção de produtos de baixo valor de umidade de água e tem por vantagem aumentar a vida útil do produto e ter baixo custo por necessitar apenas de uma bandeja e redes protetoras contra insetos (LEONARDI et al., 2018).

A secagem natural é realizada em regiões com temperaturas médias de 35 °C a 40 °C, e para se ter uma maior qualidade, deve ter sua umidade reduzida de 50% a 70% ao sol, e continuada sua secagem à sombra para se preservar a cor e o aroma natural (CELESTINO, 2010). O processo se faz basicamente através da exposição do alimento à luz solar, permitindo a retirada de parte de sua umidade através da evaporação. Durante todo período de secagem, há um monitoramento do seu peso, para apontar de que o mesmo está ideal, indicando a qualidade no produto (LEONARDI, et al, 2018).

Por sua vez, na secagem artificial são utilizados equipamentos específicos, no qual o alimento é colocado e o processo de desidratação ocorre por um dado período de tempo. Usa-se, geralmente, ar quente com uma velocidade de 0,5 m/s a 3 m/s e baixa umidade quando se tratado de transferência de calor por convecção; mas podem ocorrer também através de transferência de calor por condução e radiação. Vale ressaltar que a retenção de vitaminas em alimentos secos com a secagem artificial é superior à dos alimentos secos ao sol (CELESTINO, 2010).

### 2.2.2 Fatores que influenciam a qualidade dos grãos durante a secagem

Vários parâmetros têm influência na qualidade da secagem e também estão relacionados a custos de operação. Estes parâmetros modificam diretamente o tempo necessário para reduzir a umidade dos grãos ao nível seguro para armazenamento. Os principais fatores a considerar são: temperatura, umidade relativa e vazão do ar, umidade inicial e final, tipo de grão e entre outros (MOHLER,2010).

#### **2.2.2.1 Temperatura do ar de secagem**

Temperaturas elevadas provocam alterações bioquímicas nos grãos e, durante a secagem podem prejudicar a qualidade do produto (TEIXEIRA,2001).

Temperaturas elevadas também afetam a qualidade biológica dos grãos e em umidades relativas mais elevadas, sementes mortas são mais susceptíveis a invasão por fungos. Em grandes volumes de grãos armazenados a granel, o efeito da temperatura é limitado, devido a baixa condutividade térmica dos grãos. No entanto, quando o volume da massa for pequena ou o armazenamento ocorrer em sacaria, o efeito da temperatura ambiente é maior, e ocorre em um tempo mais curto (CERQUEIRA e COSTA, 1981;ELIAS, 2002).

### **2.2.2.2 Umidade relativa do ar**

Na secagem natural ou artificial em baixas temperaturas (até 10°C acima da temperatura ambiente), ou quando se utiliza aeração, a umidade relativa do ar passa a ser um fator muito importante neste processo de secagem. Na secagem ou aeração, em locais de alta umidade relativa, a tendência é que o produto entre em equilíbrio com o teor de água acima do recomendado para o armazenamento, gerando possibilidade de ataque de pragas, fungos e outros microrganismos (WEBER, 2001).

Já no caso da secagem ou aeração ser realizada em locais muito secos (UR baixa), o produto pode entrar em equilíbrio com um teor de água abaixo do recomendado para o armazenamento, gerando perdas econômicas para os produtores, devido às perdas de matéria seca (WEBER, 2001).

### **2.2.2.3 Fluxo de ar e teor de água**

Segundo Silva et al. (1995), as recomendações de vazões mínimas do ar de secagem dependem do tipo de produto, clima da região e teor de água.

A dependência do tipo de produto está ligada a maior suscetibilidade de alguns grãos à deterioração, devido a constituição química e facilidade com que os fungos penetram em seu interior. A influência do clima da região pode determinar o potencial de secagem, pois regiões com períodos prolongados de elevada umidade relativa necessitam de maior fluxo de ar ou, muitas vezes, os grãos entram em equilíbrio com elevados teores de água. Grãos com elevado teor de água estão mais expostos a deterioração e necessitam de maior fluxo de ar (SILVA et al. 1995).

#### **2.2.2.4 Taxa de secagem**

De acordo com Cavarini (1996), a taxa de secagem expressa o conteúdo de água retirado dos grãos em função do tempo de secagem e está relacionada com a movimentação da água do interior para a superfície dos grãos. Esta movimentação é dependente do genótipo, do estágio de maturação, do teor de água, da temperatura, da umidade e entre outros.

#### **2.2.2.5 Atividade de Água**

É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água ( $a_w$ ) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento, e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura ( MOHSENIN, N.N, 1986).

A atividade de água também pode ser entendida como a umidade relativa em equilíbrio com o produto na temperatura considerada (PARKIN et al., 2001).

O estudo da curva de sorção, que relaciona esta atividade de água com a umidade relativa de equilíbrio, fornece informações relevantes para adequação dos parâmetros de secagem. A determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no que diz respeito à qualidade e estabilidade. A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto definem sua higroscopicidade que é muito marcante nos produtos e torna-se uma característica fundamental a influenciar os processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos ( TEIXEIRA NETO, 1993).

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção. Uma isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (PARKIN et al., 2001).

#### **2.2.3 Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos**

O armazenamento é uma etapa de suma importância na cadeia agroindustrial, pois tem um grande reflexo no custo e afeta diretamente a qualidade do produto que chega à mesa do consumidor. (CONAB, 2012).

A predição das condições de armazenamento seguro permite a preservação de características qualitativas de grãos recém colhidos por um longo período, podendo evitar que ocorra uma significativa deterioração (BEZERRA,2014).

Segundo Fleuratlessard (2002), os grãos armazenados em recipientes permeáveis, como em sacaria, têm o seu teor de água frequentemente alterado pelas oscilações da umidade relativa do ar atmosférico. Em recipientes hermeticamente fechados, como em silos bolsa dá-se o fenômeno inverso, isto é, a umidade relativa do ar do recipiente é que será afetada pela umidade do grão.

#### 2.2.4 Armazenamento Hermético

A embalagem hermética é uma das alternativas de armazenamento de grãos que se apresenta, porém são escassas as informações sobre os efeitos deste sistema sobre qualidade dos grãos e do óleo. As condições herméticas de armazenamento propiciam maior estabilidade higroscópica dos grãos, a qual é representada pelas pequenas variações de umidade (BEZERRA,2014).

Segundo Faroni et al. (2009), a utilização de recipientes selados hermeticamente para o armazenamento de grãos é uma tecnologia alternativa aos métodos tradicionais de armazenagem e que tem merecido devida atenção e tem sido alvo de diversas pesquisas.

### 2.3 A RESPIRAÇÃO

A respiração celular é um fenômeno que consiste basicamente na liberação de energia química acumulada nas moléculas de diversas substâncias orgânicas como carboidratos e lipídeos. Nesse processo, verifica-se a oxidação (aeróbica ou anaeróbica) de compostos orgânicos de alto teor energético e a conseqüente formação de substâncias de menor conteúdo energético como gás carbônico e água (MARCOS FILHO, 2005).

É um dos processos metabólicos mais importantes que ocorrem nos grãos armazenados, pois é através dela que se produz, além de outros compostos intermediários, a energia química na forma de ATP necessária para reações vitais internas, bem como, para processos de síntese e manutenção do metabolismo celular (SAQUET et al., 2000).

#### 2.3.1 Os princípios da respiração

Os grãos mesmo durante o armazenamento continuam a respirar. Devido a este processo oxidativo, os grãos estão sujeitos a transformações contínuas. Em contato com o oxigênio, a matéria orgânica é transformada em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , liberando energia na forma de calor.

De acordo com a equação de combustão da glicose, um típico carboidrato, a produção de 14,7 g de  $\text{CO}_2$   $\text{kg}^{-1}$  matéria seca dos grãos é equivalente a 1 % da perda de matéria seca nos grãos (STEELE et al., 1969).

A respiração é acompanhada do consumo da matéria do mesmo e da consequente perda de nutrientes do produto, além disso, ocorre a geração de  $\text{CO}_2$ . É através da determinação da concentração de  $\text{CO}_2$ , que muitos parâmetros podem ser avaliados na conservação de produtos (MOHLER,2010).

A produção de dióxido de carbono pode ser convertida em perda de matéria seca dos grãos e, neste propósito, a respiração é considerada aeróbia, com a completa oxidação dos carboidratos em dióxido de carbono e água (NOGUEIRA et al., 2011).

A respiração celular pode ser aeróbica (quando em presença de  $\text{O}_2$ ) ou anaeróbica (na ausência de  $\text{O}_2$ ). A eventual ocorrência de respiração anaeróbica durante o armazenamento em atmosfera controlada (AC) possivelmente ocorre quando as concentrações de  $\text{O}_2$  permanecerem em níveis baixos por períodos prolongados (STREIF, 1992). Isso poderá proporcionar a produção e acumulação de etanol e/ou acetaldeído nos grãos, os quais são produtos tóxicos e que podem induzir o surgimento de desordens fisiológicas. (MEHERIUK et al., 1994; SAQUET et al., 2000).

Diversos fatores podem influenciar a taxa respiratória dos grãos durante o armazenamento, como o teor de água durante a colheita, a danificação mecânica, o teor inicial de água para o armazenamento, a temperatura dos grãos e as condições climáticas (THOMPSON, 1972). No entanto, segundo Fleurat-Lessard (2002), a atividade de água do grão e, ou semente, juntamente com a temperatura, são os dois principais fatores que afetam a taxa de produção de  $\text{CO}_2$ .

A atividade de água ( $A_w$ ) faz referência ao quão disponível esta água está no alimento, ou seja, é a força com que a água se liga a diferentes componentes da substância, podendo encontrar-se livre, permitindo o crescimento dos microorganismos e reações químicas, ou estar ligada, mais difícil de ser eliminada e que não é utilizada como solvente não estando relacionada ao desenvolvimento de microorganismos (MOHLER,2010).

Segundo Ordoñez(2005), a água ligada interage de maneira diferente na matéria, pois não atua como solvente e “não” atua como reagente. O crescimento e a atividade metabólica dos microorganismos exige a existência de água disponível e a medida mais comum utilizada para expressar este nível de água livre denomina-se índice de atividade de água,  $A_w$ , medida esta que está intimamente ligada ao conceito de estabilidade do alimento.

### 2.3.2 Consequências da respiração

O aquecimento é consequência do processo respiratório dos grãos, associado ao dos fungos e/ou das pragas. Isto ocorre quando o grau de umidade está acima do satisfatório. Se ocorrer localizada, em determinada região da massa de grãos no silo, formam-se as “bolsas de calor”(Porque os grãos têm baixa condutibilidade térmica, o calor se acumula, aumenta a temperatura da massa de grãos e do ar intergranular, aumentando a respiração dos próprios grãos e, em seqüência, dos microorganismos, insetos e ácaros, seguidos por reações químicas não-enzimáticas, com destaque especial para as exotérmicas, como oxidação de lipídeos, podendo chegar à autocombustão, a partir de uma dinâmica metabólica intensa. Acima de  $55^{\circ}\text{C}$ , o aquecimento é devido à oxidação por reações não bioquímicas dos grãos (ELIAS,2003).

A deterioração dos grãos é inexorável e irreversível, depende da temperatura, das variações no teor de água e do ataque de pragas e microorganismos e pode ser apenas atenuada, por adequados controles nos manejos de conservação (ELIAS,2003).

### 2.3.4 Aparelho medidor

O Sistema de Troca de Gás Multicanal projetado pela QS RESEARCH permite medições automatizadas de troca de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  em amostras biológicas. Controla e mede o fluxo de gás através das câmaras de amostra, mede a  $p\text{CO}_2$  e a  $p\text{O}_2$  fornecidas às câmaras e à  $p\text{CO}_2$  e  $p\text{O}_2$  no gás efluente das câmaras. A partir desses dados, ele calcula a taxa de troca de gás das amostras e corrige esses valores (se necessário) para uma temperatura definida (QUBIT SYSTEMS INC, 2009).

Todas as funções de aquisição e controle de dados do sistema são gerenciadas por um software de aquisição de dados personalizado. O software fornece uma exibição gráfica em tempo real de dados e faz o download de resumos de dados para o Excel, ou outros programas

de planilhas, para a geração de relatórios ou para qualquer manipulação de dados que o usuário possa precisar (QUBIT SYSTEMS INC, 2009).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE COLHEITA DOS GRÃOS DE FEIJÃO

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás, situado no Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, Anápolis- GO. Foram utilizados grãos de Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRSMG Realce, advindos das bordaduras de um experimento na estação experimental da EMATER (Figura 4), localizado em Anápolis, cujas coordenadas geográficas são: latitude 16°20'44.27" Sul, longitude 48°52'44.67" Oeste, com altitude média de 843 m. O clima da região é do tipo Aw tropical úmido, caracterizado pelo inverno seco e o verão chuvoso, temperatura média de 22°C e média anual de pluviosidade de 1200 mm, segundo a classificação de Köppen.



FIGURA 4. Bordadura do experimento na estação experimental da EMATER, em Anápolis.

Fonte: Autor Próprio, 2018.

#### 3.2 O EXPERIMENTO

##### 3.2.1 Caracterização do experimento

A semeadura dos grãos de feijão comum foi realizada na 2ª safra agrícola, conhecida também como “safra das águas” pelos titulares do experimento, com a colheita em 01/2019.

A colheita das bordaduras (partes externas do experimento) foi realizada manualmente, nos quatro cantos da faixa, retirando toda a planta do solo e posteriormente retirando a vagem. As vagens foram colocadas em sacos plásticos e encaminhadas para o Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais e posteriormente os grãos foram removidos. Como o feijão comum tem seu estágio de maturação irregular, foram feitas colheitas em dias diferentes, para que no final do processo tivesse a quantidade desejada do produto.

Ao todo foram feitas duas colheitas. A primeira conseguiu-se uma quantidade de produto que pôde abastecer 18 tratamentos, aproximadamente 4 quilos. Enquanto a segunda pôde colher aproximadamente 3 quilos para abastecer os 6 tratamentos restantes e ainda sobrar uma quantidade por segurança.

Aproximadamente sete quilos de grãos de feijão de cultivar BRSMG Realce foram colhidos com teor de água (T.A) elevado, valendo lembrar que foi a máxima quantidade de grãos colhidos.

Os grãos foram retirados da vagem manualmente, e para isso, utilizou-se luvas descartáveis de material látex, para proteger o produto de quaisquer sujeira, como também da mudança da umidade em seu interior, como é visto na Figura 5. Posteriormente o produto foi reservado em bandejas higienizadas (utilizando-se sabão neutro e álcool etílico).



FIGURA 5. Remoção dos grãos de feijão Realce da vagem com luvas descartáveis

Fonte: Própria, 2018.

Posteriormente, os grãos foram conduzidos para determinação do teor de água inicial utilizando o método padrão da estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  (BRASIL, 2009).

Em seguida, para cada T.A avaliado, foram separados um quilo e duzentos gramas do produto úmido. Eles foram secos utilizando secagem artificial com ventilação natural (empregando energia solar e eólica), ficando o produto uniformemente em bandejas perfuradas, Figura 6. A secagem ocorreu até que todo o produto atingisse os teores de água de 21, 18, 15 e 12% b.u.

Para verificar o momento que a massa de grãos alcançou o T.A estabelecido, o estudo teve como auxílio uma balança analítica que evidenciou o peso da massa conforme a secagem. Foram utilizadas planilhas eletrônicas que armazenaram as informações. Essas planilhas teve como informação a priori, o teor de água inicial dos grãos de feijão comum. Depois, foi feito o cálculo de quanto a massa de grãos teve que ser seca para alcançar os teores de água de 21, 18, 15 e 12% b.u.

Ao atingir os T.A, com o apoio de uma balança analítica com precisão de 0,01g, foram pesados, aproximadamente, 200 g para cada tratamento, totalizando quatro quilos e oitocentos gramas, e posteriormente foram armazenados em 24 frascos de vidro (250 mL), com bocal que permite o fechamento hermético do recipiente, não alterando a umidade em seu interior. Os recipientes com suas tampas foram higienizados, utilizando-se sabão neutro por todo o seu

interior, enxague em abundância e posteriormente utilizando-se álcool etílico. Os mesmos foram então marcados para a pronta utilização, como pode-se ver na Figura 6.



FIGURA 6. (a) Tampas sendo higienizadas. (b) Frascos de vidro de 250 ml sendo higienizados. (c) Frascos com marcações para cada tratamento.

Fonte: Própria, 2018.

Duas câmaras do tipo B.O.D, uma para cada temperatura (25 e 30°C) foram utilizadas para armazenar as amostras de grãos. Vale ressaltar que dos seis quilos que foram separados, apenas quatro quilos e oitocentos gramas foram utilizados. Essa diferença de um quilo e duzentos gramas proporcionou uma segurança para que não faltasse produto, sendo importante lembrar que os feijões ao serem secos, apresentam menores massas, necessitando de mais produto.

Ao longo de 84 dias, em intervalos de sete dias, cada frasco foi retirado das câmaras do tipo B.O.D, levados para um banho térmico, utilizando o equipamento da marca Novatécnica com ajustes de temperatura, para que as amostras estivessem com temperatura constante no momento da leitura. Após, os mesmos frascos foram devolvidos para as câmaras

de armazenamento. O equipamento proporcionou as temperaturas de 25 e 30°C para os grãos de feijão.

### 3.2.2 Medição de Respiração dos Grãos de Feijão

Na quantificação de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, bem como na estimativa da taxa respiratória, foi utilizado o analisador multicanal de gás Qubit systems C950, (Figura 7), sendo demonstrado pela tela de aquisição, conforme Figura 10.

Nas amostras armazenadas nas câmaras do tipo B.O.D após serem transportadas para um banho térmico nas temperaturas em estudo, foram feitas a leitura dos gases CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> e a estimativa da taxa respiratória.

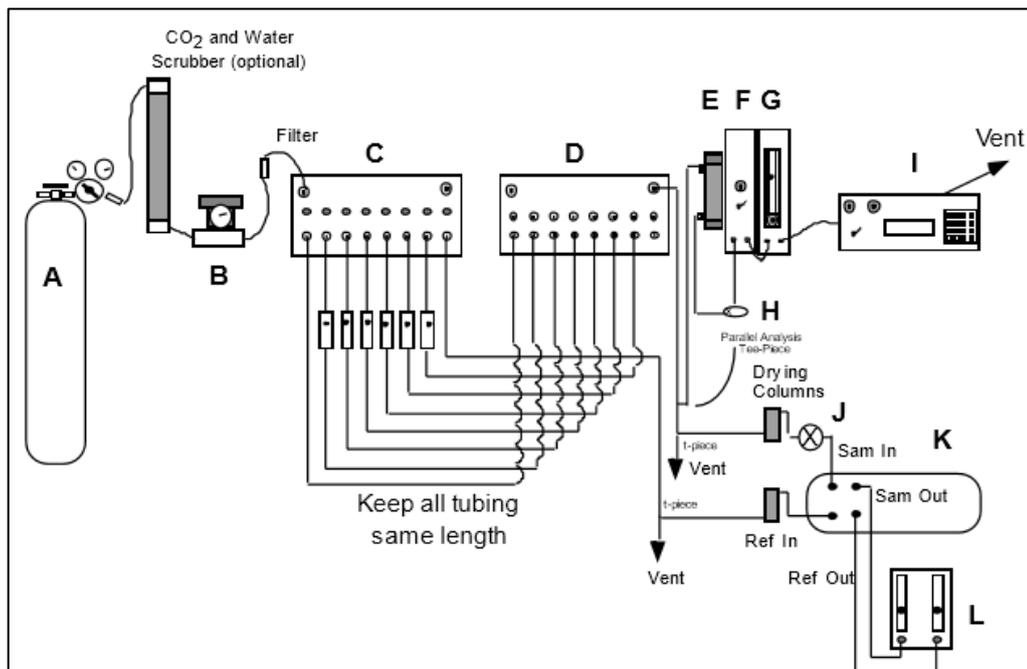


Figura 7 – Sistema de Troca de Gás, analisador de dióxido de carbono e oxigênio. Sendo: A: Gás Comprimido; B: Regulador de Pressão; C: Controlador de Fluxo de Gás de Canal 8 e Monitor; D: Comutador de Gás de 8 Canais; E: Coluna de Secagem; F: Bomba de Gás de Sub-amostragem; G: Medidor de Fluxo; H: Válvula de Agulha e Filtro; I: Analisador de CO<sub>2</sub>; J: Válvula de Agulha de Controle; K: Analisador Diferencial de O<sub>2</sub> (DOX); L: Controlador de Fluxo DOX.

Fonte: QUBIT SYSTEMS INC, 2009.

Na Figura 7, pode-se verificar que o analisador de gases permite medições automatizadas de troca de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  em amostras biológicas. Controla e mede também o fluxo de gás através das câmaras de amostras, que foi usado o fluxo para o experimento de  $60 \text{ ml min}^{-1}$ .

O equipamento dispõe de 24 canais ao todo, tendo entre estes, canais de referência. As leituras da temperatura da amostra dentro do recipiente foi medido por termistores, que são agulhas com mesma função de termômetros, encontrado na Figura 8. Nos canais, apresentam válvulas de agulha que servem para regular o fluxo de gás de cada canal. O gás ao passar pelas câmaras foi seco com o auxílio de drierite, que tem como função absorver moléculas de água que pode estar solubilizando o gás, prejudicando assim a amostra, sendo necessária a troca sempre que a cor rosa prevalecer. Após as leituras, os dados foram armazenados em um monitor, o qual automaticamente proporcionará em tabelas no programa excel a quantificação de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e taxas respiratórias.



FIGURA 8. Analisador multicanal de gás Qubit systems C950

Fonte: Própria, 2018.

O analisador, conforme Figura 8, permite que o gás entre nas amostras por tubulações (sistema do meio), passe pela massa de grãos e saia por tubulações (sistema da direita), para

então ser levado para o analisador e assim quantificar o gás. Nas extremidades das mangueiras há encaixes de entrada e saída para os recipientes onde ficou as amostras, como pode ser visto na Figura 10.

Ainda na Figura 9, é possível verificar na parte superior, as válvulas de pressão, assim como também um barômetro que tem como função medir a pressão que o gás está entrando no sistema e a pressão que o gás está saindo do sistema. No canto inferior direito da mesma imagem, pode-se ver o analisador de CO<sub>2</sub> e o analisador de O<sub>2</sub>, bem como também a possibilidade de medir a pressão atmosférica, umidade relativa, temperatura do forno, e entre outros.

Ao abrir o programa do analisador, o mesmo dá a possibilidade de digitar o mesmo rótulo que se encontrava nos recipientes. Após, o fluxo de cada canal foi monitorado, dando aos 24 canais fluxos aproximados entre si.

Os rótulos dos recipientes e do sistema de identificação do analisador foram evidenciados da seguinte forma:

- T25U12R1;R2;R3, para a temperatura de 25°C, teor de água de 12%b.u nas repetições 1,2 e 3.

-T25U15R1; R2;R3, para a temperatura de 25°C, teor de água de 15%b.u nas repetições 1,2 e 3.

-T25U18R1;R2;R3, para a temperatura de 25°C, teor de água de 18%b.u nas repetições 1,2 e 3.

-T25U21R1;R2;R3, para a temperatura de 25°C, teor de água de 21%b.u nas repetições 1,2 e 3.

O mesmo foi realizado para a temperatura de 30°C, com rotulações da seguinte forma: T30U12R1;R2;R3, assim sucessivamente como visto anteriormente.

Na Figura 9, é possível ver a aquisição dos dados. O software mostrará as leituras representadas por linhas vermelhas (consumo de O<sub>2</sub>), linhas brancas (liberação de CO<sub>2</sub>), plano negativo e positivo do gráfico, respectivamente.

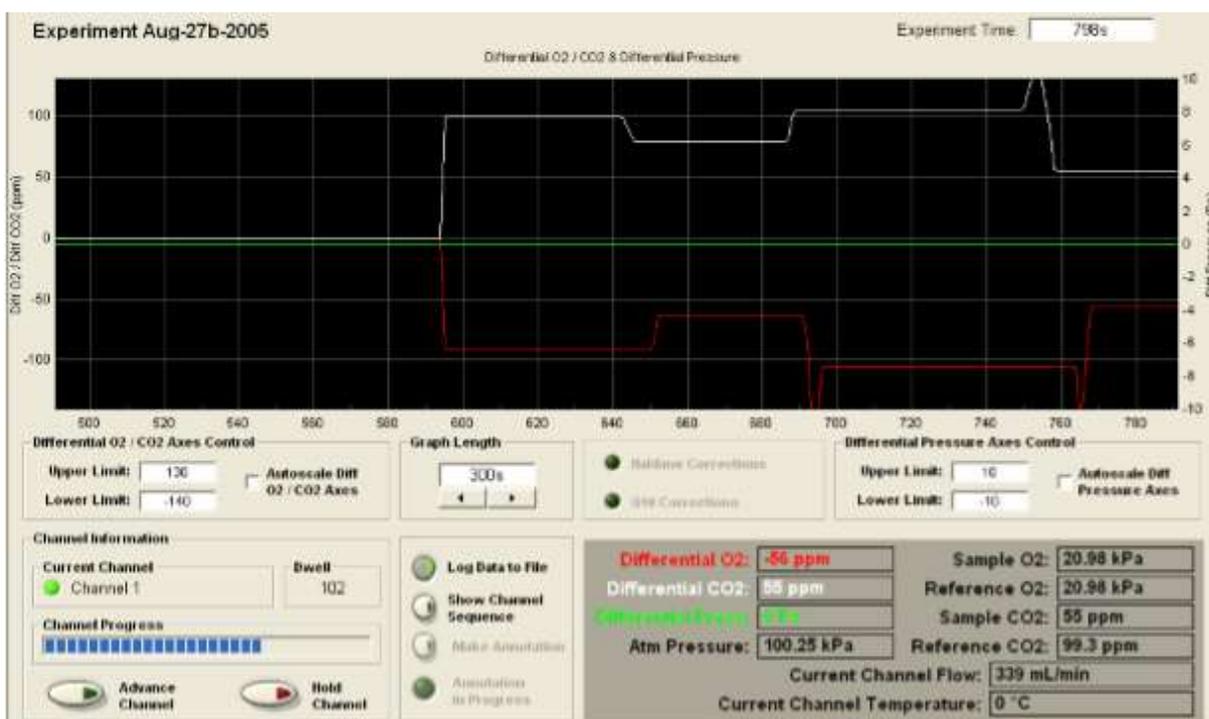


FIGURA 9. Tela de aquisição de dados. Leituras de quantificação de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>.

Fonte: QUBIT SYSTEMS INC, (2009).

Como o gás oxigênio será consumido, seus valores no gráfico serão negativos, enquanto que a liberação de gás carbônico se encontrará no plano positivo do gráfico. O equipamento fará as leituras de cada amostra sendo utilizado os últimos dez segundos de cada leitura. As leituras em cada canal foram feitas em 300 segundos, totalizando 3600 segundos ao todo para cada temperatura.

A Figura 10 mostra o recipiente que foi alocado nas mangueiras do analisador de gases, utilizada para as leituras. Nota-se que o recipiente que obtém a massa de grãos que foram armazenados nas câmaras procede de tampa com seladora que não permite mudança de estado em seu interior. O recipiente da figura mencionada anteriormente é o mesmo do recipiente da Figura 6(c). porém com tampa modificada.



FIGURA 10. Tampa com mangueiras de entrada e saída de gás e entrada do termoinstores.

Fonte: Autor Próprio, 2018.

### 3.2.3 Análise de Matéria Seca

A perda de matéria seca foi mensurada durante o período de armazenagem. Para isso, foi utilizado bandejas para pesagem com o auxílio de uma balança analítica Tepron Mark 500 – Classe II, com precisão de 0,01g. A Equação 1 mostra como foi estimada a quantidade de matéria seca:

$$MS = pt \times (1-U) \quad (1)$$

Em que: MS = Quantidade de matéria seca (g);

Para encontrar a perda de matéria seca foi

$$PMS = 100 \times (MS \text{ antes} - MS \text{ depois}) / MS \text{ antes} \quad (2)$$

Em que: PMS= Perda de matéria seca(%)

A perda de matéria seca foi encontrada a cada pesagem, durante 105 dias com intervalos de 7 dias de armazenamento. A amostra ao ser tirada das câmaras do tipo B.O.D foram encaminhadas para a pesagem. A cada pesagem foi encontrado o peso da amostra dos

grãos(mt), que é o peso real após o armazenamento, para cada teor de água (U) analisado. Diante disso, a perda de matéria seca foi mensurada, conforme a Equação 2.

#### 3.2.4 Atividade de Água

A atividade de água dos grãos de feijão foram medidas através do aparelho Aqualab Series 4T, por durante 105 dias, com intervalos de 7 dias, totalizando 16 análises. A cada resultado encontrado, os mesmos foram alocados em planilhas eletrônicas para no final das análises encontrar as umidades de equilíbrio e fazer a modelagem, afim de encontrar o melhor modelo que mais se adequa aos dados encontrados.

### 3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido em Delineamento Inteiramente Casualizado com parcela subdividida com fatorial na parcela. Sendo a interação dos tratamentos, Teores de água (10; 15; 21 e 24% b.s) e Temperatura de armazenamento (25 e 30°C) na parcela, com três repetições, totalizando 24 observações, e o fator Tempo na subparcela, com avaliações semanais, durante 105 dias de armazenamento, totalizando 16 análises.

#### 3.3.1 Análise Estatística

Após a coleta de dados foi realizada a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e, quando significativos, foram submetidos a análise de regressão para fatores quantitativos e teste de comparação de médias Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para fatores qualitativos. Aos dados experimentais foram ajustados as equações de regressão utilizando-se o software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

Foram avaliados no delineamento inteiramente casualizado os dados experimentais da atividade de água para estudos das isotermas de sorção através de modelos matemáticos. Foi utilizado modelos de ajustes das isotermas, tais como: Oswin modificado, Sigma-Copace, Henderson modificado, Sabbat, Henderson, Copace e Chung P Fost, para as temperaturas em estudos. Na escolha do melhor modelo foram considerados: a magnitude do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), o erro relativo (P), utilizando o software STATISTICA 10.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. DADOS INICIAIS

Ao todo foram colhidos sete quilos e trezentos gramas de grãos de feijão comum da cultivar BRSMG Realce.

Na secagem artificial por ventilação natural foram atingidos os teores de 10,5; 15,06; 21,3 e 24,23% b.s. Como a secagem foi por meio natural a precisão dos resultados é praticamente impossível, por depender de questões climáticas.

Como a maturação fisiológica do feijão não é uniforme, houve a necessidade de deixar os grãos no campo até atingirem a maturação de colheita, porém a exposição dos grãos às intempéries climáticas, principalmente a variação de umidade, acarretou em mudanças no seu âmbito respiratório, em que será visto nos próximos dados para o teor de água de 10,5% b.u.

### 4.2. DETERMINAÇÃO DA PERDA DE MATÉRIA SECA, TAXA RESPIRATÓRIA, PRODUÇÃO DE CO<sub>2</sub> E CONSUMO DE O<sub>2</sub>

Analisando as Tabelas 1 e 2, verifica-se que os resultados da análise de variância mostra que para a perda de matéria seca, taxa respiratória e produção de CO<sub>2</sub> houveram influências das diferentes temperaturas (25 e 30°C) na interação com diferentes teores de água (10,5; 15,06; 21,3 e 24,23% b.s), na interação da Temperatura com o Tempo em dias (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105) e da interação do Tempo com o Teor de Água, ou seja, os tratamentos foram significativos ( $P < 0,05$ ).

A variável Quantificação de O<sub>2</sub> apresentou normalidade nos tratamentos, e proporcionou coeficiente de variação considerado alto, no entanto não foram apresentados os dados em estudo.

O coeficiente de variação da variável produção de CO<sub>2</sub> foi considerado baixo, segundo Pimentel Gomes (1990). A perda de matéria seca e taxa respiratória obtiveram coeficientes de variação considerado alto, e isso explica-se pelo fato de ser uma variável totalmente dependente de vários fatores, como umidade relativa, condições climáticas e entre outros, e

isso está intimamente ligado ao consumo de gás oxigênio, que também obteve variações muito elevadas, conforme visto pela Tabela 2.

Tabela 1. Análises de variância para as variáveis Perda de Matéria Seca (P.M.S) e Taxa Respiratória (T.R), em função de diferentes temperaturas (25 e 30°C), diferentes teores de água (10,5; 15,06; 21,3 e 24,23% b.s) ao longo do tempo em dias (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105) .

Fator	GL	P.M.S		T.R	
		QM	P-Value	QM	P-Value
T	1	0,0005	0,0029*	5,6233	0,0001*
T.A	3	0,0164	0,0000*	205,5921	0,0000*
T x T.A	3	0,0004	0,0007*	0,8759	0,0286*
Resíduo	16	0,0000		0,2242	
Tempo	15	0,0019	0,000*	3,2373	0,0000*
Tempo x T	15	0,0001	0,0113*	0,7716	0,0000*
Tempo x T.A	45	0,0001	0,0000*	1,6858	0,0000*
Tempo x T x T.A	45	0,0001	0,001*	0,7238	0,0000*
Resíduo 2	240	0,0000		0,0825	
Total	383				
CV(%)		19,84		16,17	

Significativo (\*) e não significativo (NS) a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Coeficiente de Variação (CV). T- Temperatura; T.A- Teor de água;

Tabela 2. Análises de variância para as variáveis Produção de CO<sub>2</sub>(CO<sub>2</sub>) e Consumo de O<sub>2</sub>(O<sub>2</sub>) em função de diferentes temperaturas (25 e 30°C), diferentes teores de água (10,5; 15,06; 21,3 e 24,23% b.s) ao longo do tempo em dias (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105)

Fator	GL	CO <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>	
		QM	P-Value	QM	P-Value
T	1	698,7604	0,0457*	103,0528	0,2660 <sup>NS</sup>
T.A	3	75613,9340	0,0000*	61,5951	0,5149 <sup>NS</sup>
T x T.A	3	2143,2951	0,0001*	92,0809	0,3460 <sup>NS</sup>
Resíduo	16	148,8541		77,5610	
Tempo	15	1119,9326	0,0000*	77,6346	0,4557 <sup>NS</sup>
Tempo x T	15	456,2826	0,0000*	77,1971	0,4616 <sup>NS</sup>
Tempo x T.A	45	1202,3599	0,0000*	78,6205	0,4571 <sup>NS</sup>
Tempo x T x T.A	45	503,4914	0,0000*	76,6280	0,5015 <sup>NS</sup>
Resíduo 2	240	44,8847		77,6265	

Total	383		
CV(%)		3,18	42,86

Significativo (\*) e não significativo (NS) a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Coeficiente de Variação (CV). T- Temperatura; T.A- Teor de água;

#### 4.2.1. Determinação da Perda de Matéria Seca

A tabela a seguir mostra as médias da perda de matéria seca (PMS) em cada teor de água estudado para as duas temperaturas. Analisando a Tabela 3 é notório ver um aumento, de uma maneira geral, na perda de matéria seca para a temperatura mais elevada, mesmo não obtendo diferenças estatísticas para os teores de água de 15,03; 21,3 e 24,23% b.s.

Tabela 3. Valores médios da Perda de Matéria Seca(g) de grãos de feijão comum da cultivar BRSMG REALCE, do desdobramento da temperatura dentro de cada teor de água.

Teor de água(% b.s)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	25	30
10,5	0,0169b	0,0247a
15,03	0,0217a	0,0242a
21,3	0,0391a	0,0401a
24,23	0,0469a	0,0488a

\*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Ainda na Tabela 3, observa-se que o menor teor de água foi o único a obter diferenças estatísticas. Uma possível justificativa para esse fim foi o fato deste receber produtos que permaneceu mais tempo no solo no momento do seu estágio de maturação, estando mais facilmente entregue as intempéries climáticas e ação de pragas, acarretando a uma maior taxa respiratória e conseqüentemente a uma maior perda de matéria seca. Porém, pode-se observar na Figura 13 que esta diferença só se encontrou nas primeiras semanas de armazenamento.

Para fortalecer o entendimento, analisamos a Figura 11, o qual trata-se das tendências da perda de matéria seca sobre os teores de água em relação às temperaturas de armazenamento. Neste contexto, a figura mencionada anteriormente, informa que quanto maior o teor de água maior foi a perda de matéria seca. Segundo Thompson(1972), o histórico da cultura, o teor de umidade inicial dos grãos e a interação entre temperatura de armazenagem e umidade relativa do ambiente podem influenciar a taxa respiratória e, dessa forma, a perda de matéria seca desse produto no armazenamento. Ou seja, quanto maior o teor

de água, maior será a taxa respiratória, logo, maior é a perda de matéria seca. Esses dados corroboraram com Santos et al.,(2012) estudando a perda de matéria seca em grãos de milho.

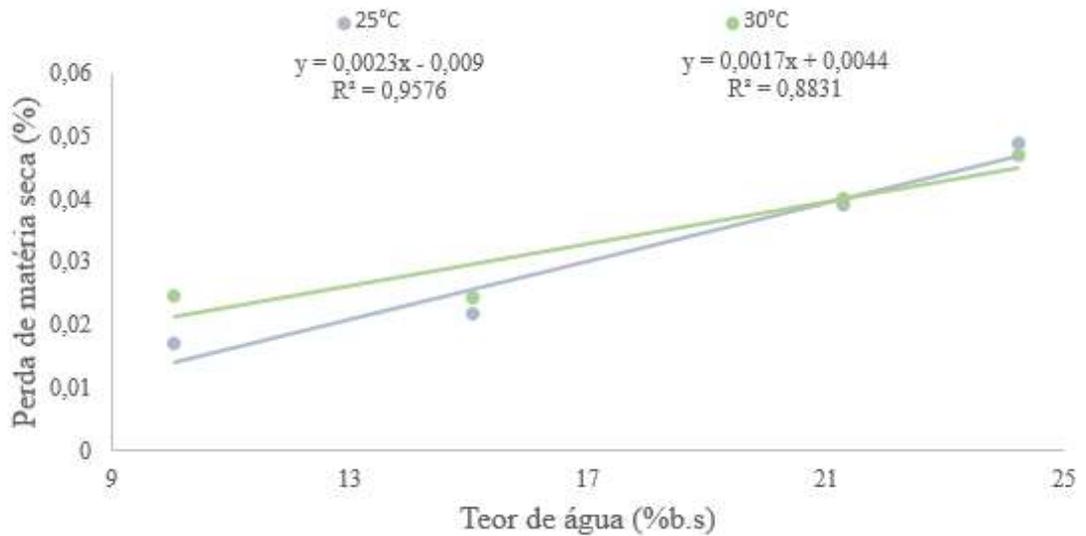


FIGURA 11. Tendência da variável Perda de Matéria Seca(g) obtida pela Equação 1 estudando diferentes temperaturas de armazenamento (25 e 30°C), na interação com diferentes teores de água (10,5; 15,06; 21,3 e 24,23% b.s).

A Figura à seguir expõe a variação da porcentagem de perda de matéria seca na interação da temperatura de armazenamento e do tempo em dias.

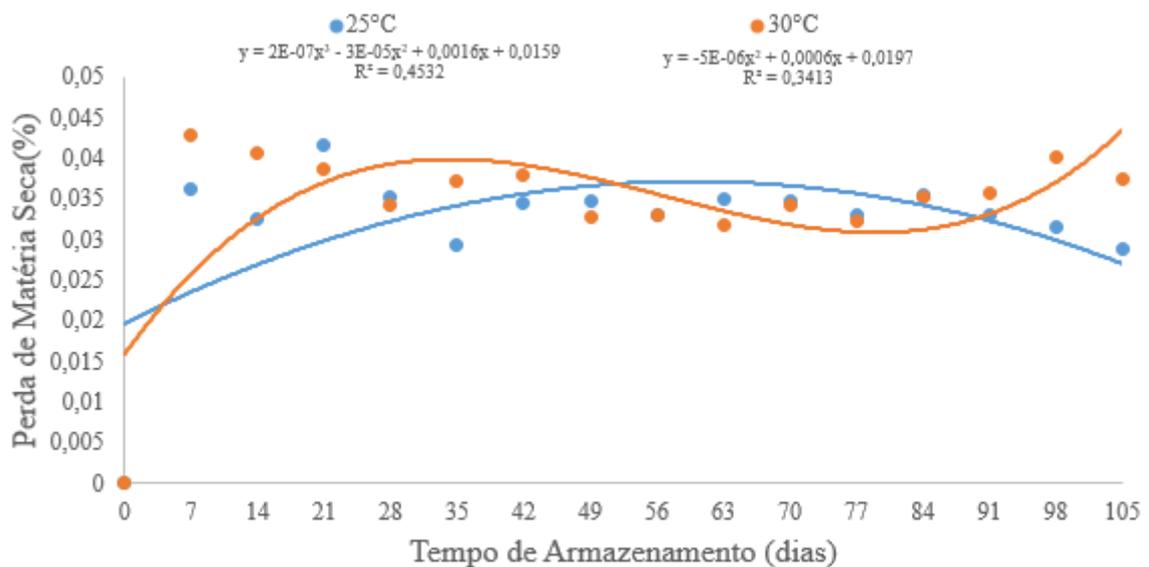


FIGURA 12. Tendência da variável Perda de Matéria Seca(g) obtida pela Equação 1 analisando diferentes temperaturas de armazenamento (25 e 30°C) na influência dos diferentes tempos em dias (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105).

Ao se deparar com a Figura 12 pode-se analisar que as maiores perdas de matéria seca, para ambas as temperaturas, foram nas três primeiras semanas de armazenamento. Segundo Costa et al. (2010); Faroni et al. (2009); Santos et al.(2010), o armazenamento de produtos em recipientes selados hermeticamente tem sido cada vez mais estudados e tem encontrado resultados positivos para a grande demanda de produtos nas unidades armazenadoras. Esta técnica resulta na redução da concentração de oxigênio (O<sub>2</sub>) e acréscimo da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido ao processo respiratório dos componentes bióticos do ecossistema,

Sendo assim, a atmosfera rica em CO<sub>2</sub> e pobre em O<sub>2</sub>, pode reduzir a capacidade da reprodução e/ou desenvolvimento de fungos, como também a própria atividade metabólica dos grãos, favorecendo a sua conservação (AGUIAR et al., 2004; QUEZADA et al., 2006). Soma-se a isso, a redução da taxa respiratória e conseqüentemente a redução das perdas por oxidação do produto (VILLERS ET AL., 2006).

Desse modo, com o passar do tempo, a taxa respiratória, para recipientes de armazenamento hermético, tende a diminuir, simplesmente pelo fato de estar diminuindo a quantidade de oxigênio e aumentando o teor de gás carbônico, corroborando com Santos et al. (2012), estudando grãos de milho, o qual cresceu sua perda de matéria seca nas quatro primeiras semanas de armazenamento.

A Figura 13 comprova estes dados, porém é visto a percentagem de PMS na interação teor de água (TA) e tempo de armazenamento em dias.

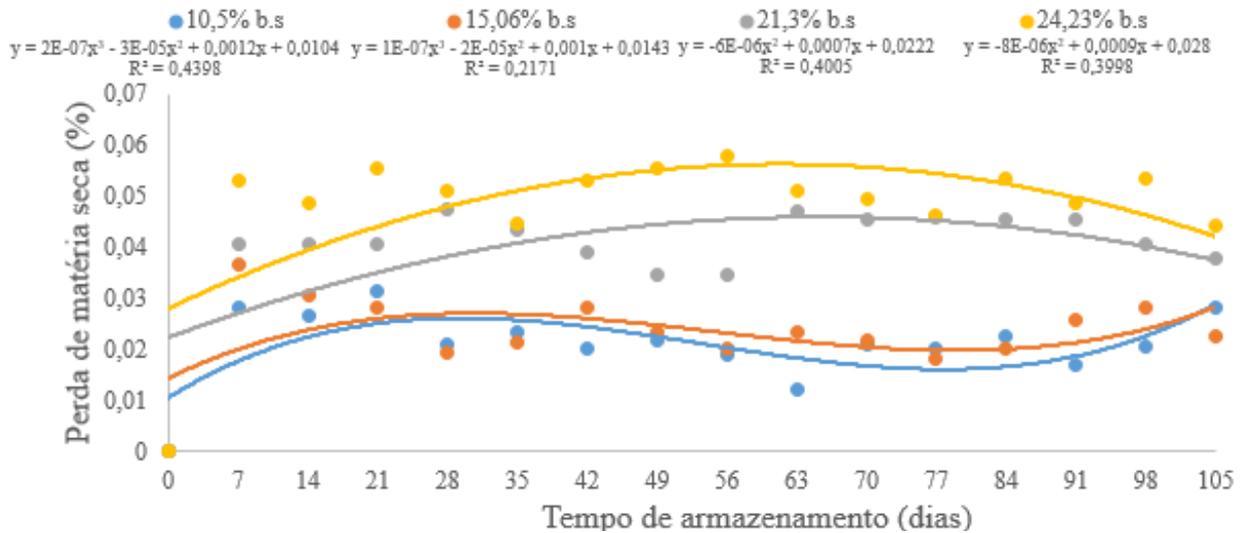


FIGURA 13. Tendência da variável Perda de Matéria Seca(g) obtida pela Equação 1 analisando diferentes teores de água (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s) na influência dos diferentes tempos de armazenamento em dias (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105).

Ao analisarmos a variável em questão é possível entender pela Figura 13 que durante 105 dias de armazenamento, o teor de 21,3 e 24,23% b.s compreenderam os maiores valores para PMS. Já os teores de 10,5 e 15,03% b.s obtiveram os menores valores da variável, e também valores bem próximos uns aos outros. Isso se deve ao fato de que grãos com baixo nível de umidade contribuem decisivamente para uma pequena redução e manutenção de matéria seca do produto (AFONSO JÚNIOR et al., 2003).

A maior e menor taxa de PMS durante o armazenamento foi 0,0692% para o maior teor de água na maior temperatura e 0,0124% para o menor teor de água na menor temperatura, respectivamente.

Durante todos os dias de armazenamento, na temperatura de 25°C, nos teores de água de 10,5;15,03;21,3 e 24,23% b.s obtiveram uma perda total de 0,22; 0,31; 0,63 e 0,82%, respectivamente. Já para a temperatura de 30°C, nos mesmos teores de água, a perda de matéria seca foi 0,40; 0,41; 0,68 e 0,83%, respectivamente.

Sendo assim, apenas os dois menores teores de água estiveram dentro dos dados permissíveis para a PMS em armazenamento, conforme Saul e Stelle (1966).

#### 4.2.2. Determinação da Taxa Respiratória em grãos de feijão

Segundo Santos et al. (2012), a respiração aeróbica produz dois fatores de autoaceleração, como a água e o calor. Sendo assim, quanto maior os teores de água e temperatura de um produto, maior serão as taxas de respiração. Esse aspecto pode ser evidenciado na Figura 14, em que a maior temperatura em estudo (30°C) com os maiores teores de água apresentam taxas respiratórias mais elevadas.

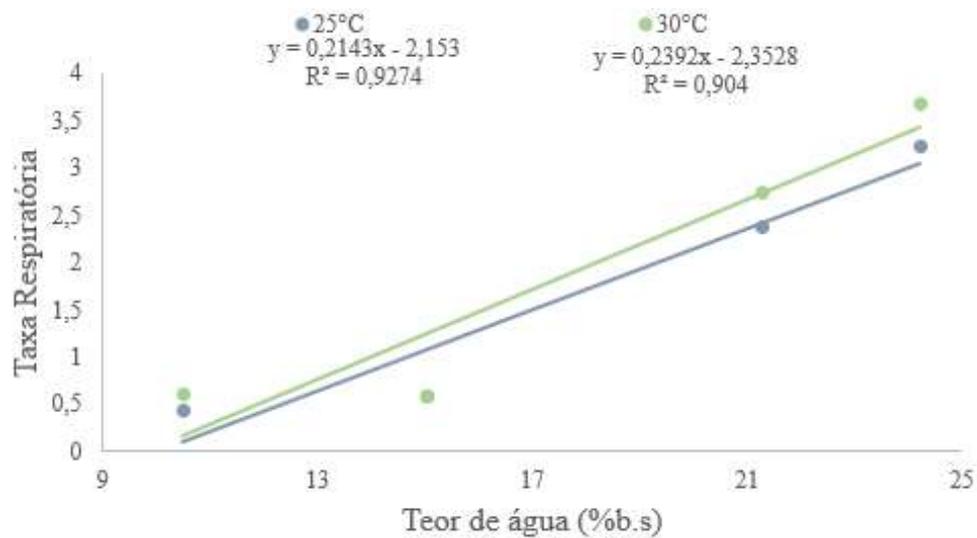


FIGURA 14. Tendência da variável Taxa Respiratória analisando diferentes teores de água (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s) na influência dos diferentes temperaturas de armazenamento (25 e 30°C)

Ainda na Figura 14, um outro fator muito importante foi que o teor de água de 10,5% b.s obteve taxas de respiração entre 0,2 a 0,5 (menores valores estudados) para a temperatura de 25°C, enquanto que para a perda de matéria seca, visto na Figura 11, encontrou 0,018% (menor valor estudado) para os mesmos teor de água e temperatura, mencionado anteriormente, ou seja, é notório entender a relação entre PMS e taxa respiratória. Santos et al., 2012 corroborou com este estudo, encontrando 0,0124% de perda de matéria seca no menor teor de água e com taxa respiratória tendendo a zero, para grãos de milho.

A Figura 15 mostra a tendência da taxa respiratória nas duas temperaturas de armazenamento em relação ao tempo em dias, e pode-se notar que há uma diferença de valores entre as duas temperaturas, podendo observar que à 25°C a T.R durante todos os dias se mantém praticamente constantes. Já à 30°C observa-se valores desuniformes da variável, o qual isso está relacionado a vários fatores, como por exemplo a perda de matéria seca e a produção de CO<sub>2</sub>. Esse mesmo comportamento foi estudado por Mohler (2010) analisando

grãos de soja; Lamarca (2009) com sementes de *Caesalpinia echinata* Lam; e Ferrari Filho et al. (2014) com grãos de milho.

E não menos importante, observa-se que de maneira geral, a temperatura de 30°C propiciou valores de taxa respiratória mais elevadas. Segundo Paraginski et al. (2015), a redução da temperatura dos grãos diminui a velocidade das reações bioquímicas e metabólicas dos grãos, permitindo a manutenção das características iniciais de armazenamento dos grãos por períodos mais longos.

#### 4.2.3.

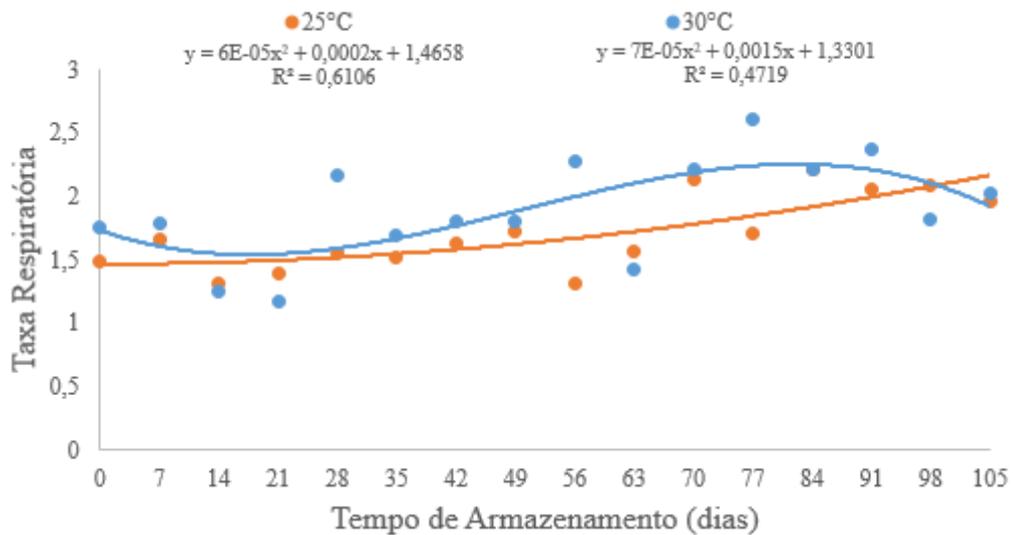


FIGURA 15. Tendência da variável Taxa Respiratória, estudando diferentes tempos de armazenamento (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105) com intervalos de sete dias, em cada temperatura analisada (25 e 30°C).

Na Figura 16 encontra-se as tendências dos fatores estudados, tempo de armazenamento e teor de água da taxa respiratória de grãos de feijão comum da cultivar BRSMG REALCE.

Nota-se que nas primeiras semanas, para o menor teor de água, apresentou valores de taxa respiratória mais elevados em comparação a outros dias, corroborando com os resultados da Figura 12, estudando a perda de matéria seca.

Observando a Figura 16, o teor de água de 15,03%b.s não obteve significância em seus dados, logo, não foi alocado na figura mencionada.

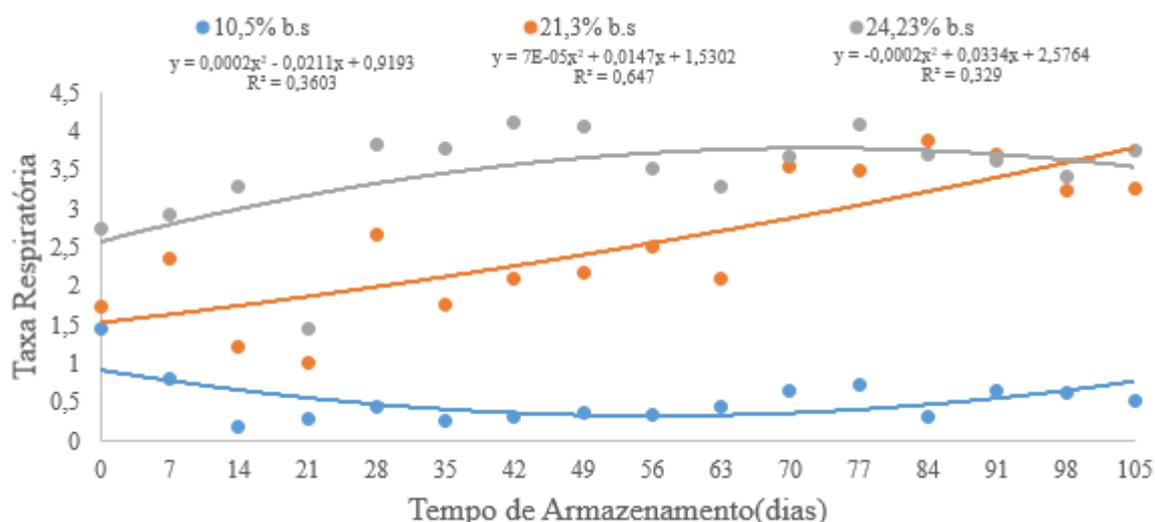


FIGURA 16. Tendência da variável Taxa Respiratória, estudando diferentes tempos de armazenamento (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105). com intervalos de sete dias, em cada teor de água analisado (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s).

Pode-se encontrar na Figura 16 valores desuniformes de taxa respiratória. A respiração é um processo extremamente variável e depende de condições ambientais, como luz, temperatura e umidade relativa. Isso, porém justifica tamanha variação dos valores de taxa respiratória.

O teor de água de 10,5% b.s foi o promovido a receber o produto da segunda colheita, como dito anteriormente, ocorrida em Fevereiro/2019. Nesta época a chuva foi constante na área da cultura, portanto, o produto ficou a mercê das injúrias ocasionadas pelas precipitações e também a possibilidade de infestação de pragas no local. Isso tudo pode justificar a elevada taxa respiratória na primeira semana para um teor de água considerado bom para armazenamento conforme a literatura.

Porém, mesmo assim, com o passar dos dias de armazenamento o menor teor de água estudado compreendeu as menores taxas respiratórias de grãos de feijão por todo este estudo.

Quando se trata de tempo de armazenamento muitas coisas podem estar relacionadas, uma delas é a condição climática da região. Mesmo que o armazenamento seja hermético com temperaturas e teores de água monitorados ainda há meios que conseguem justificar as variações de valores de taxa respiratória de uma semana para outra. Um outro fator preponderante é a possível causa de infestação de microorganismos, valendo lembrar que já no final do processo, o maior teor de água apresentava fungos em seu interior.

#### 4.2.3 Determinação da Produção de CO<sub>2</sub> em grãos de feijão

Na Tabela 4 encontra-se as médias do desdobramento dos fatores temperatura de armazenamento (25°C e 30°C) e teores de água (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s) para a variável Produção de CO<sub>2</sub>(ppm).

Tabela 4. Valores médios da Produção de CO<sub>2</sub>(ppm) de grãos de feijão comum da cultivar BRSMG REALCE, do desdobramento da temperatura dentro de cada teor de água.

Teor de água(% b.s)	Temperatura de armazenamento (°C)	
	25	30
10,5	191,1250 a	193,25a
15,03	190,6041a	192,875a
21,3	200,9583b	215,7083a
24,23	247,2083b	255,5625a

\*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Analisando as temperaturas de armazenamento em relação a cada teor de água estudado, é possível ver conforme a Tabela 4 que os 10,5% b.s e 15,03% b.s apresentaram normalidade nos dados, para as duas temperaturas, diferente dos teores de água subsequentes, os quais obtiveram diferenças entre si, representadas pelas letras a e b.

No entanto, assim como foi visto para perda de matéria seca e taxa respiratória, a produção de gás carbônico foi maior para a temperatura de 30°C, com o maior valor de 255,56.

Esse comportamento foi verificado por Ribeiro et al. (2007), estudando grãos de café em que seu maior teor de água na maior temperatura de armazenamento, apresentaram os valores mais elevados de produção de CO<sub>2</sub>.

Na Figura 17 encontra-se as tendências do desdobramento das variáveis Teor de água e temperatura de armazenamento da produção de CO<sub>2</sub> de grãos de feijão comum da cultivar BRSMG REALCE.

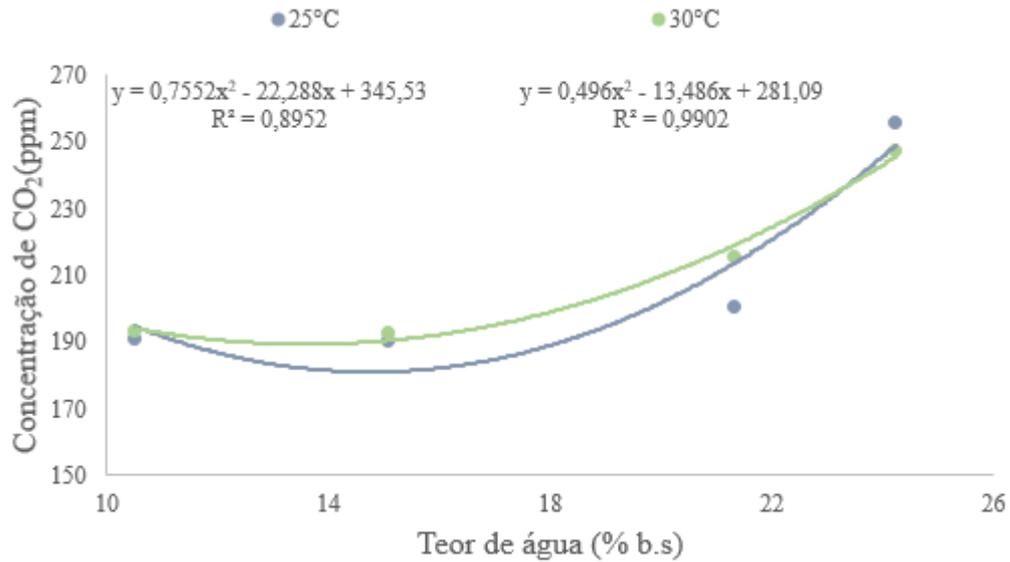


FIGURA 17. Tendência da variável Produção de CO<sub>2</sub>, estudando diferentes Teores de água (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s) em cada Temperatura de armazenamento (25 e 30°C).

A Figura 17 exibe os valores da produção de CO<sub>2</sub> por todos os teores de água evidenciando cada temperatura de armazenamento, e pode-se notar que quanto maior o teor de água, maiores são os valores de CO<sub>2</sub>. Este fato deve-se à fase de grande atividade respiratória que é influenciada pela umidade do grão, como afirma Popinigis (1985).

Segundo Rupollo et al. (2014), o aumento do CO<sub>2</sub> com a elevação da umidade pode explicar o efeito conservativo de CO<sub>2</sub> na massa de grãos em armazenamento hermético, diferentemente do que acontece no convencional.

De fato, a maior causa da produção de CO<sub>2</sub> e perda de matéria seca em cereais armazenados é devido a incidência de microorganismos (FLEURAT – LESSARD, 2002), ou seja, certamente o teor de água mais elevado apresentou maior perda de matéria seca e consequentemente maior taxa respiratória, proporcionando infestação de microorganismos no interior da massa de grãos.

A Figura 18 a seguir exibe dados de Produção de CO<sub>2</sub> inter-relacionando o tempo de armazenamento (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105). com intervalos de sete dias e a temperatura de armazenamento (25 e 30°C), com o fator Tempo sendo desdobrado.

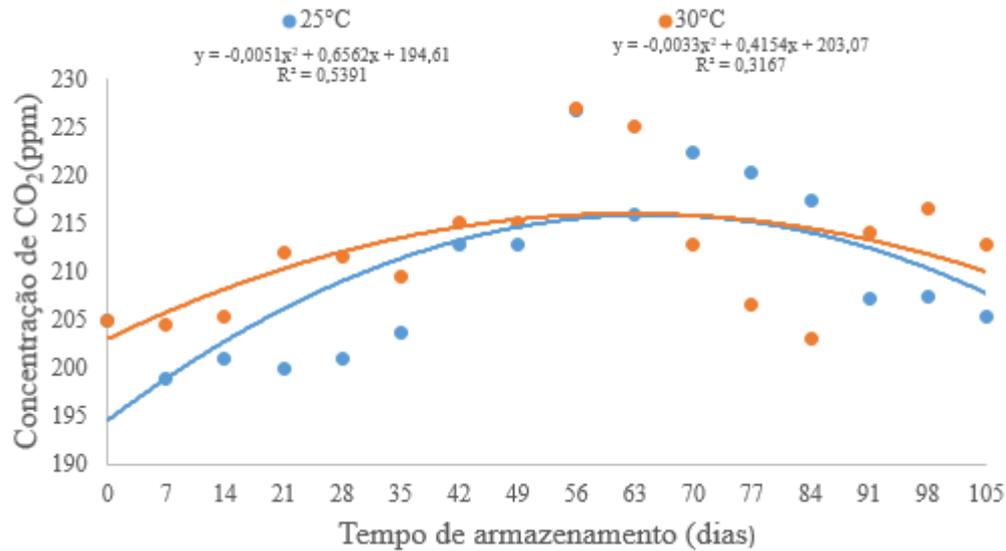


FIGURA 18. Tendência da variável Produção de CO<sub>2</sub>, estudando tempos de armazenamento (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105). com intervalos de sete dias em cada Temperatura de armazenamento (25 e 30°C).

Na Figura 18, pode-se observar que houveram períodos durante todos os dias de armazenamento que a quantificação de CO<sub>2</sub> foi maior e outras que foi menor, Segundo Ruppolo et al (2014), no armazenamento pelo sistema hermético, o CO<sub>2</sub> produzido estabiliza o processo de degradação da massa de grãos e cessa a respiração pela redução da relação oxigênio/gás carbônico, diminuindo a produção de água e calor, os processos respiratórios e o ataque por fungos.

Como foi analisado anteriormente, as primeiras semanas apresentaram maiores taxas de respiração e como consequência, maior perda de matéria seca, logo, menos quantidade de CO<sub>2</sub> produzido

As maiores médias, de um modo geral, foram encontrados para a temperatura de 30°C, como era o esperado. Este mesmo comportamento foi encontrado por Aguiar et al.,(2012) trabalhando com sementes de soja, em que corroborou com o presente estudo.

A Figura 19 a seguir exibe dados de Produção de CO<sub>2</sub> inter-relacionando o tempo de armazenamento (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105). com intervalos de sete dias e o teor de água (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s) com o fator Tempo sendo desdobrado.

Observa-se que há comportamentos semelhantes para as variáveis taxa respiratória e perda de matéria seca, em relação ao CO<sub>2</sub>. Nesse aspecto, analisando a Figura 19, vê-se que

há uma maior necessidade de produção de CO<sub>2</sub> em várias semanas durante o armazenamento, e observa-se também que quanto maior o teor de água maior é a necessidade de produção de CO<sub>2</sub>, pois é a concentração de gás carbônico que diminui o metabolismo dos grãos de feijão.

A concentração de CO<sub>2</sub> para 10,5 e 15,03% b.s não necessitaram de grande quantidade de CO<sub>2</sub>, comprovando os menores valores de taxa respiratória e perda de matéria seca.

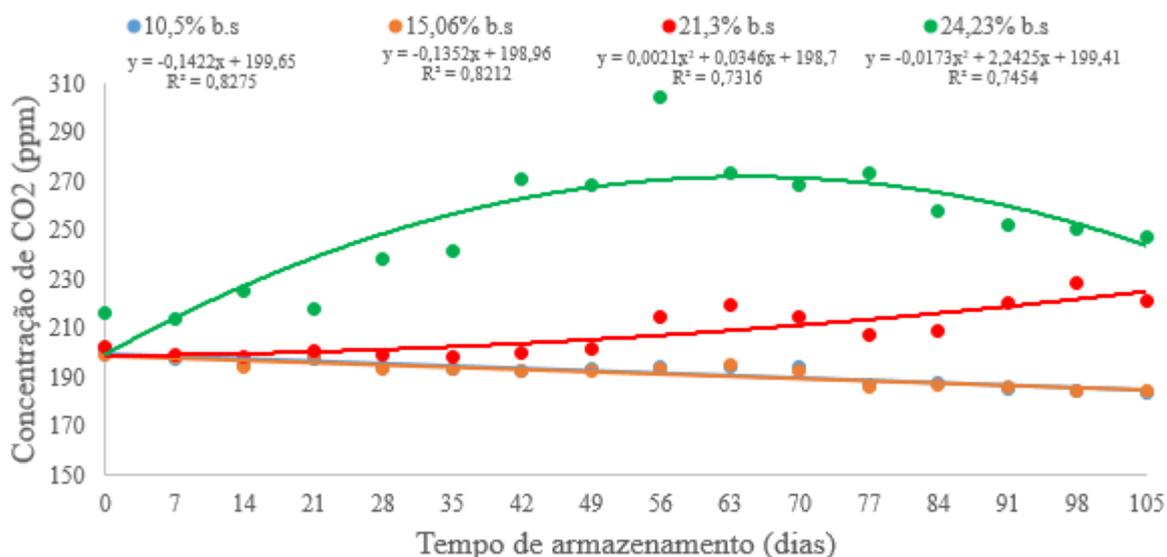


FIGURA 19. Tendência da variável Produção de CO<sub>2</sub> (ppm), estudando tempos de armazenamento (0;7;14;21;28;35;42;49;56;63;70;77;84;91;98 e 105). com intervalos de sete dias, em cada Teor de água (10,5;15,06;21,3 e 24,23% b.s).

Ainda na Figura 18, os teores de água de 12,56 e 15,30% b.u apresentaram o mesmo comportamento no decorrer do tempo. Segundo Zambiasi (2015), quando o teor de água é baixo, a atividade vital (respiração) é diminuída e o metabolismo de grãos é reduzido, isso se deve ao fato de que teores de água baixos não apresentam matéria seca em grandes taxas, sendo cada vez menor, ou seja, a oxidação da glicose fornece a produção de CO<sub>2</sub>, então quanto menor a matéria seca do produto, menor será a produção de CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.4 MODELAGEM

##### 4.2.4.1 Umidade de Equilíbrio

Ajustando as isotermas de dessorção de grãos de feijão da cultivar BRS REALCE para os modelos matemáticos mais usuais, e obtivemos R<sup>2</sup> e o erro relativo (%) para cada um

destes modelos. A escolha do modelo mais adequado para o cálculo da umidade de equilíbrio baseou-se no valor do erro relativo. Segundo esta análise determinou-se o modelo de Cuhung P Fost como os que apresentaram melhores ajustes às isotermas.

Depois de encontrado o melhor modelo que melhor se ajustava aos dados, que teve como fatores preponderantes: temperatura e atividade de água, foi encontrado a umidade de equilíbrio (teor de água real que a massa de grãos de encontrava). A seguir encontra-se as umidades de equilíbrio durante todo o armazenamento na Figura 20 e 21 para as temperaturas de 25 e 30°C, respectivamente.

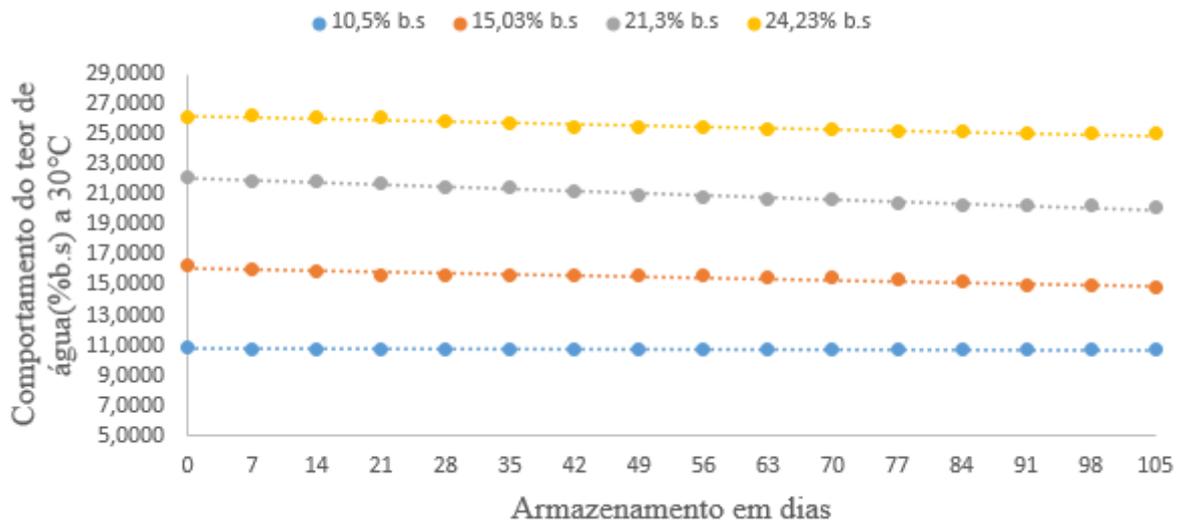


FIGURA 20. Tendência do comportamento do teor de água(% b.s) no decorrer do tempo em dias.

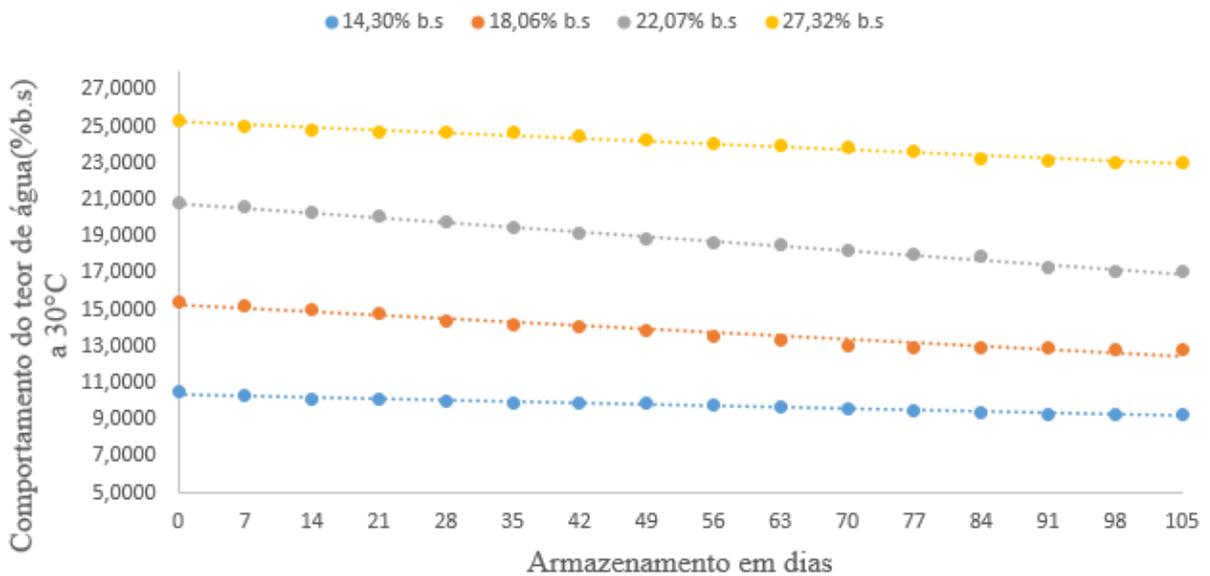


FIGURA 21. Tendência do comportamento do teor de água(% b.s) no decorrer do tempo em dias.

Ao fazer estudos sobre a umidade de equilíbrio de grãos de feijão da cultivar BRS REALCE, analisa-se nas Figuras 20 e 21 pequenas variações de teor de água no decorrer do tempo, podendo ser consideradas e mínimas ou até mesmo nulas para o presente estudo em questão. Portanto, é possível verificar que as perdas ocorridas dos grãos foi preferencialmente por todas as variáveis aqui apresentadas até o momento.

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que para a variável Perda de Matéria Seca o teor de água 12,56% apresentou menores valores de perda durante todo o armazenamento, sendo a melhor característica conforme a literatura.

Para a variável Taxa Respiratória a temperatura de 25°C foi a que melhor se adequou a um armazenamento adequado e seguro, independente dos dias de armazenamento.

O teor de água com menor T.R foi de 12,56% e de 15,30%, concluindo serem os melhores para o armazenamento de grãos de feijão da cultivar BRSMG REALCE.

Conclui-se que para a produção de CO<sub>2</sub> o teor de água de 21,46% b.u em ambas temperaturas, obteve maiores valores para a variável.

A temperatura de 25°C foi o melhor parâmetro com valores amenos de produção de CO<sub>2</sub> no decorrer do tempo de armazenamento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, W.M. **Perda de matéria seca no armazenamento de milho em diferentes temperaturas**. 2004. 85p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2004.
- ANDRADE, E. T.; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v.8, n.2, p.83-95, 2006.
- BARBOSA, F.R; GONZAGA, A.C. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro – comum na região central –brasileira. Goiânia: EMBRAPA, 2012. 247p.
- BERN, C.J.; STEELE, J.L.; MOREY R.V. Shelled corn CO<sub>2</sub> evolution and storage time for 0.5% dry matter loss. **Applied Engineering in Agriculture**, Ames, v.18, n.6, p.703-706, 2002.
- BIORCI, J. CONTROLE DE PRAGAS DE GRÃOS ARMAZENADOS UTILIZANDO ATMOSFERA MODIFICADA. Uberlandia, v.20, n.1, p.21-27, 2004.
- BRAGANTINI, C. **Produção de sementes**. In: ARAÚJO, R. S.; AGUSTIN RAVA, C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M.J. O. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996. cap. 4, p. 639-667.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- BROOKER, D.B; BAKKER, F.W; HALL, C.W. **Drying and storage of cereal grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.
- 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**, v.42, n.1, p.272-278, 2012.
- CELESTINO, S.M.C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina: Embrapa cerrados, 2010.
- CERQUEIRA, W.P.; COSTA, A.C. Influência da umidade inicial de armazenamento sobre a qualidade fisiológica de soja. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, v.6, p.35-40, 1981.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Grãos: sétimo levantamento da safra 2017/2018**, abril/2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>>. Acesso em: 01 Ago 2018.
- CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. **Administração de produção e operações: Manufatura e Serviços**: uma abordagem estratégica. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2013. 260p.
- DOYMAZ, I; KIPEAK, A.S; PISKIN, S. Characteristics of thin layer infrared drying of green bean. **Czech Journal of Food Sciences**, Czechoslovakia, v.33, n.1, p.83-90, 2015.

ELIAS, M.C. Tecnologias para armazenamento e conservação de grãos, em média e pequenas escalas, 218p, 2002.

ELIAS, M.C. **Armazenamento e conservação de grãos**. Polo de inovação em alimentos da região sul – Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul (Corede Sul): UFPEL, 2004, 85p.

FARONI, L. R. A. et al. Armazenamento de soja em silos tipo bolsa. Engenharia Agrícola, v. 29, n. 01, p. 91-100, 2009. FARONI, L. R.A. et. al. Armazenamento de soja in silos Tipo bolsa. Eng. Agríc. vol.29, n.1, p. 91-100.

FARONI, L. R. D. et al. Avaliação qualitativa e quantitativa do milho em diferentes condições de armazenamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 3, n. 13, p.193-201, 2005.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2014.

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, p. 191-218, 2002.

FORCIER, F.; RAGHAVAN, G.S.V.; GARIBPY, Y. Electronic sensor for the determination of fruit and vegetable respiration. **Agricultural Engineering Department**, Canadá, v.10, n.1, p.353-356, 1987.

GOOGLE EARTH – **Google Earth Pro**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/desktop/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

HERNER, R.C. **High CO<sub>2</sub> effects on plant organs**, Postharvest Physiology of Vegetables, New York, p. 239-253, 1987.

KADER, A.A., SALTVEIT, M.E. **Atmosphere modification**. In: BARTZ, J.A.; BRECHT, J.K. Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. Marcel Dekker, New York, p.229-246, 2002.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano nacional para o desenvolvimento da cadeia produtiva do feijão e pulses**, Brasília, 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. **Projeções do Agronegócio - Brasil 2013/14 a 2023/24**, Brasília, 2015.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. FEALQ, Piracicaba, 2005. 495 p.

MEHERIUK, M.; PRANGE, R.K.; LIDSTER, P.D.; PORRIT, S.W. **Postharvest disorders of apples and pears**. Ottawa: Agriculture Canada Publication 1737/E, 1994. 67p.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1114-1121, 2007.

OSAKI, M.; BATALHA, M.O; Optimization model of agricultural production system in grain farms under risk, in Sorriso, **Brazil Agricultural Systems**, v.127, n.1, p.178-188, 2014.

PARK, C.E.; KIM, Y.S.; PARK, K.J.; KIM, B.K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.48, n.1, p.25-29, 2012.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Segunda Edição, Brasília, DF, 1985. 290p.

POSSE, S.C.P. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro – comum na região central brasileira: 2009-2011. Vitória: INCAPER, 2010. 245p.

QUBIT SYSTEMS INC. **Multi – Channel Gás Exchange System**. Operation Manual, Canadá, 2009, 101p.

REED, C.; DOYUNGAN, S.; IOERGER, B.; GETCHELL, A. Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25 °C, and effect on respiration rate and nutrient composition. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.43, p.443-458, 2007.

REHMAN, Z. U.; HABIB, F.; ZAFAR, S. I. Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. **Food Chemistry**, Netherlands, v.77, n.1, p.197-201, 2002.

RIOS, A.O.; ABREU, C.M.P.; CORRÊA, A.D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 39-45, 2003.

SAUER, D.B. **Storage of cereal grains and their products**. Fourth Editio, ST. Paul, MN: AACC, 1992. 615p.

STEELE, J.L.; SAUL, R.A.; HUKILL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. *Transactions of the ASAE*, v. 12, n. 5, p. 685-689, 1969.

TEIXEIRA, G.V. **Avaliação das perdas qualitativas no armazenamento da soja**, (Dissertação de mestrado), Campinas, 2001.

THOMPSON, T.L. Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration. **Transactions of the ASAE**, v. 15, n. 2, p. 333-337, 1972.

WANDER, A. E.; RAMALHO, M. A. P.; ANDRADE, M. J. B. Cultivo do Feijão da Primeira e Segunda Safras na Região Sul de Minas Gerais. 2005.