



**FABRÍCIO TEIXEIRA ANDRADE**

**QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL  
ACONDICIONADO EM EMBALAGENS  
IMPERMEÁVEIS E ARMAZENADO NO BRASIL  
E NO EXTERIOR**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**FABRÍCIO TEIXEIRA ANDRADE**

**QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL ACONDICIONADO EM  
EMBALAGENS IMPERMEÁVEIS E ARMAZENADO NO BRASIL E NO  
EXTERIOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Flávio Meira Borém  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Andrade, Fabrício Teixeira.

Qualidade do café natural especial acondicionado em embalagens  
impermeáveis e armazenado no Brasil e no exterior / Fabrício Teixeira

Andrade. - 2017.

108 p. : il.

Orientador: Flávio Meira Borém.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. *Coffea arábica* L. 2. Conservação. 3. Qualidade. I. Borém, Flávio  
Meira. II. Título.

**FABRÍCIO TEIXEIRA ANDRADE**

**QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL ACONDICIONADO EM  
EMBALAGENS IMPERMEÁVEIS E ARMAZENADO NO BRASIL E NO  
EXTERIOR**

***QUALITY OF NATURAL SPECIALTY COFFEE CONDITIONED IN  
IMPERMEABLE PACKAGES AND STORED IN BRAZIL AND ABROAD***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 10 de Fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade	UFLA
Prof. Dr. Marcelo Ângelo Cirilo	UFLA
Profa. Dra. Rosemary Gualberto F. A. Pereira	UFLA
Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa	EMBRAPA/CAFÉ

Prof. Dr. Flávio Meira Borém  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Flávio Meira Borém pela dedicação e orientação no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Às empresas Bourbon Specialty Coffee, Carmocoffees, Klabin e Videplast pela oportunidade gerada por este projeto de pesquisa.

À BSCA pela articulação de todo o processo, que culminou com o estabelecimento deste projeto de pesquisa.

À UFLA por disponibilizar todo o arcabouço físico e institucional que propiciou a realização do projeto.

## RESUMO GERAL

A condições edafoclimáticas, o nível tecnológico da cafeicultura e o volume de café Natural, produzido no Brasil, conferem ao país um grande potencial para a produção de cafés naturais especiais. Entretanto, para atender aos diversos mercados de maneira consistente, é necessária a conservação da qualidade dos grãos de café por períodos prolongados e compatíveis com as necessidades dos agentes presentes ao longo da cadeia produtiva. Para isso, são necessárias condições adequadas de armazenamento, já que a intensificação da redução da qualidade é condicionada, principalmente, por fatores como o teor de água inicial do produto, as condições ambientais de armazenamento e a composição da atmosfera intergranular dentro da embalagem, especificamente, em relação ao oxigênio e dióxido de carbono. Por isso, torna-se importante o desenvolvimento de novas tecnologias, para o empacotamento dos grãos crus de café, que atendam às necessidades do mercado de cafés especiais. Neste contexto, os objetivos com este trabalho foram: i) avaliar a qualidade dos grãos crus de café natural especial, acondicionados em diferentes embalagens, ao longo do armazenamento no Brasil e ii) avaliar o comportamento dos grãos crus de café natural especial acondicionados, em diferentes embalagens desde o armazenamento no Brasil, passando pelo transporte marítimo em condições comerciais até o destino final, com subsequente armazenamento em uma empresa importadora de cafés especiais. Cafés especiais da safra 2014 de lote de grãos crus de café natural foram fornecidos por empresas exportadoras de café. Os grãos de café foram, inicialmente homogeneizados, acondicionados em 8 tipos de embalagens e armazenados em armazém comercial localizado em Poços de Caldas. O primeiro experimento foi conduzido, em esquema fatorial 8x6, correspondendo a 8 métodos de acondicionamento e 6 períodos de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12 e 18 meses). O segundo experimento foi conduzido, em esquema fatorial 8x4, correspondendo a 8 métodos de acondicionamento e 4 períodos de armazenamento (0, 3, 6 e 12 meses). Até os 3 meses, as embalagens contendo os grãos crus de café permaneceram, no Brasil, em condições comerciais e, a partir de 3 meses, as embalagens foram exportadas para os Estados Unidos, onde foram armazenadas por 14 meses. Conclui-se que as embalagens com alta barreira são recomendadas, para o armazenamento e exportação de grãos crus de cafés especiais por longos períodos, por proporcionarem melhor conservação dos grãos, comparativamente, à proteção oferecida pelas embalagens sem ou com baixa barreira a gases e umidade.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L.. Conservação. Qualidade.

## GENERAL ABSTRACT

Edaphoclimatic conditions, technological level of coffee culture and the volume of Natural coffee produced in Brazil grants the country great potential for producing natural specialty coffees. However, to consistently meet the many markets, it is necessary to conserve the quality of coffee grain for long periods, comparable to the needs of the agents present along the production chain. For this, adequate storage conditions are necessary, given that the climbing quality reduction is conditioned especially by factors such as initial water content of the product, environmental storage conditions and the intergranular atmospheric composition within the package, especially concerning oxygen and carbon dioxide. Thus, it is important to develop new technologies for packaging the crude grain that meet the needs of the specialty coffee market. In this context, the objectives of this work were: i) evaluate the quality of crude grains of natural specialty coffees packaged in different packages over storage in Brazil, and ii) evaluate the behavior of crude grains of natural specialty coffees packaged in different packages since storage in Brazil, going through sea transportation under commercial conditions, to the final destination, with subsequent storage in importing company of specialty coffees. One lot of crude grains of natural specialty coffees from the 2014 harvest, were provided by coffee export companies. The coffee grains were initially homogenized, packaged in eight types of packaging and stored in commercial storage located in Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. The first experiment was conducted in a 8x6 factorial scheme, corresponding to eight packaging methods and six storage periods (0, 3, 6, 9, 12 and 18 months). The second experiment was conducted in 8x4 factorial scheme, corresponding to eight packaging methods and four storage periods (0, 3, 6 and 12 months). Until three months, the packages containing the crude coffee grains remained in Brazil, under commercial conditions, and, after three months, the packages were exported to the United States, where they were stored for 14 months. In conclusion, the packaging with high barrier were recommended for storage and exportation of crude specialty coffee grains for long periods for providing better grain conservation when compared to the protection offered by packages with or without low barrier to gasses and moisture.

**Keywords:** *Coffea arabica* L. Conservation. Quality.

## LISTA DE FIGURAS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Figura 1 - Temperatura ambiente do Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, durante 18 meses de armazenamento do café.....46
- Figura 2 - Umidade relativa ambiente do Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, durante 18 meses de armazenamento do café. ....47
- Figura 3 - Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens com café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional localizado em Poços de Caldas. ....49
- Figura 4 - Teor de água do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....52
- Figura 5 - Massa específica aparente do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional localizado, em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....55
- Figura 6 - Condutividade elétrica do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....57
- Figura 7 - Luminosidade do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....59
- Figura 8 - Análise sensorial do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....61

Figura 9 - Teor de sacarose, para os grãos de café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....	63
Figura 10 - Teor de glicose, para os grãos de café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....	65
Figura 11 - Teor de frutose, para os grãos de café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil. ....	66

## **ARTIGO 2**

Figura 1 - Temperatura do ambiente externo de armazenamento. ....	85
Figura 2 - Umidade relativa do ambiente externo. ....	86
Figura 3 - Temperatura do ar intergranular no interior das embalagens. ....	87
Figura 4 - Umidade relativa do ar intergranular no interior das embalagens. ....	88
Figura 5 - Concentração de CO <sub>2</sub> no interior das embalagens contendo grãos crus de café processado por via seca. ....	90
Figura 6 - Teor de água dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	92
Figura 7 - Massa específica dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	94
Figura 8 - Condutividade elétrica dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	96

Figura 9 - Luminosidade dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	98
Figura 10 - Resultados da análise sensorial dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	100
Figura 11 - Teor de sacarose dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	102
Figura 12 - Teor de glicose dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	103
Figura 13 - Teor de frutose dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento. ....	105

## LISTA DE QUADROS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Quadro 1 - Resumo da ANAVA para a concentração de dióxido de carbono dentro das embalagens. ....48
- Quadro 2 - Resumo da ANAVA, para teor de água dos grãos, acondicionados em diferentes embalagens. ....51
- Quadro 3 - Resumo da ANAVA para massa específica aparente dos grãos acondicionados em diferentes embalagens. ....54
- Quadro 4 - Resumo da ANAVA para a condutividade elétrica dos grãos acondicionados em diferentes embalagens. ....56
- Quadro 5 - Resumo da ANAVA, para a luminosidade dos grãos acondicionados, em diferentes embalagens. ....58
- Quadro 6 - Resumo da ANAVA, para análise sensorial dos grãos crus de café natural, acondicionados em diferentes embalagens. ....60
- Quadro 7 - Resumo da ANAVA, para porcentagem de sacarose dos grãos crus de café, acondicionados em diferentes embalagens.....62
- Quadro 8 - Resumo da ANAVA, para porcentagem de glicose dos grãos crus de café, acondicionados em diferentes embalagens.....64
- Quadro 9 - Resumo da ANAVA, para porcentagem de frutose dos grãos crus de café, acondicionados em diferentes embalagens.....65

#### ARTIGO 2

- Quadro 1 - Resumo da ANAVA para a concentração de dióxido de carbono dentro das embalagens. ....89
- Quadro 2 - Resumo da ANAVA para o teor de água (%bu) do café natural. ....91

Quadro 3 – Resumo da ANAVA para a massa específica aparente do café natural. ....	93
Quadro 4 – Resumo da ANAVA para condutividade elétrica dos grãos de café natural. ....	95
Quadro 5 – Resumo da ANAVA para luminosidade dos grãos de café natural. ....	97
Quadro 6 – Resumo da ANAVA para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural. ....	99
Quadro 7 – Resumo da ANAVA para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural. ....	101
Quadro 8 – Resumo da ANAVA para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural. ....	103
Quadro 9 – Resumo da ANAVA para o teor de frutose dos grãos de café natural. ....	104

## **LISTA DE TABELAS**

### **SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

#### **ARTIGO 1**

Tabela 1 - Código e descrição das embalagens utilizadas. ....39

#### **ARTIGO 2**

Tabela 1 - Código e descrição das embalagens utilizadas. ....77

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	15
1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1	<b>Café natural especial</b> .....	17
2.2	<b>Armazenamento do café</b> .....	18
2.2.1	<b>Importância do teor de água no armazenamento</b> .....	19
2.3	<b>Qualidade do café</b> .....	20
2.4	<b>Atributos da qualidade do café</b> .....	21
2.4.1	<b>Análise sensorial</b> .....	22
2.4.2	<b>Aspectos químicos</b> .....	22
2.4.3	<b>Aspectos físicos</b> .....	23
2.4.4	<b>Aspectos relacionados à integridade das membranas</b> .....	25
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	27
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	33
	<b>ARTIGO 1 - QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL ARMAZENADO EM EMBALAGENS IMPERMEÁVEIS A GASES E À ÁGUA</b> .....	33
1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	36
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
2.1	<b>Embalagens</b> .....	38
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	46
3.1	<b>Monitoramento da Temperatura e Umidade Relativa</b> .....	46
3.1.1	<b>Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens</b> .....	48
3.1.2	<b>Teor de água</b> .....	50
3.2	<b>Massa específica aparente</b> .....	53
3.3	<b>Condutividade Elétrica</b> .....	55
3.3.1	<b>Luminosidade</b> .....	58
3.3.2	<b>Análise sensorial</b> .....	60
3.3.3	<b>Açúcares</b> .....	62
4	<b>CONCLUSÃO</b> .....	68
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	69
	<b>ARTIGO 2 - QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL EM EMBALAGENS IMPERMEÁVEIS A GASES E À ÁGUA DURANTE O TRANSPORTE MARÍTIMO E ARMAZENAMENTO NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA</b> .....	72
1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	75

<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	76
<b>2.1</b>	<b>Embalagens</b> .....	77
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	85
<b>3.1</b>	<b>Monitoramento da Temperatura e Umidade Relativa</b> .....	85
<b>3.1.1</b>	<b>Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens</b> .....	88
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	106
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	107

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

As novas exigências do mercado consumidor fazem da qualidade um fator importante, já que o café tem sido cada vez mais consumido pelos seus atributos sensoriais. Este fato é evidenciado pela expansão do mercado de cafés especiais, que cresce, aproximadamente, 30% ao ano, representando 5% do total de café consumido no mundo. Além disso, os cafés especiais podem ter preços muito superiores ao café commodity (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA, 2016; GIOMO; BORÉM, 2011; RIBEIRO et al., 2011).

Os atributos qualitativos percebidos na bebida do café dependem dos fatores genéticos, ambientais e tecnológicos em que os grãos foram formados e a que foram submetidos (FIGUEIREDO et al., 2013, 2015; ISQUIERDO et al., 2013; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; RIBEIRO et al., 2011; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; TAVEIRA et al., 2012). Dentre os fatores tecnológicos, as fases de pós-colheita são indispensáveis para definir a qualidade dos grãos. Neste contexto, o armazenamento adequado dos grãos é uma etapa importante, pois, além de garantir a manutenção dos atributos sensoriais desejáveis do produto final, tem o objetivo de suprir demandas na entressafra e/ou assegurar melhores preços ao produtor (BORÉM et al., 2008a).

No Brasil, o maior volume do café produzido é beneficiado, antes de ser armazenado no sistema convencional, sendo acondicionado em sacos de juta e mantido em ambiente sem o controle das variáveis ambientais. Por ser um produto higroscópico, os grãos ficam sujeitos às alterações, no conteúdo de água, em função das alterações ambientais favorecendo a perda de qualidade (NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011).

Recentemente, sacos plásticos impermeáveis a gases e à umidade passaram a ser usados como um revestimento interno aos sacos de juta, principalmente, durante o transporte marítimo para exportação (TRUBEY; RAUDALES; MORALES, 2005). No entanto, esse tipo de embalagem não apresenta resistência à tração mecânica ou à perfuração e, muitas vezes, chegam aos países importadores de café com danificações. Outra forma de acondicionamento que tem sido utilizada com sucesso por algumas empresas brasileiras de produção e exportação de café é o sistema de embalagens a vácuo. Entretanto essa forma de acondicionamento possui elevado custo, não sendo viável para diversos produtores e exportadores (BORÉM et al., 2008b).

Diante do exposto, é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, para o empacotamento dos grãos crus de cafés especiais, que permitam aumentar o tempo de armazenamento dos grãos com a preservação da qualidade, a um custo acessível a produtores e exportadores, de fácil manuseio e que facilite a logística e o transporte do café.

Com base em um projeto de pesquisa celebrado entre a Universidade Federal de Lavras, Brazil Specialty Coffee Association, Klabin e Videplast realizou-se este trabalho que teve como objetivos: : i) avaliar a qualidade dos grãos crus de café natural especial, acondicionados em diferentes embalagens, ao longo de 18 meses de armazenamento no Brasil e ii) avaliar o comportamento dos grãos crus de café natural especial, acondicionados em diferentes embalagens desde o armazenamento, no Brasil, passando pelo transporte marítimo, em condições comerciais, até o destino final, com subsequente armazenamento em uma empresa importadora de cafés especiais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Café natural especial**

Grande parte do café produzido no Brasil é processada por via seca. Neste processamento, o fruto é submetido às etapas pós-colheita, na sua forma integral com todos os componentes do fruto, originando os cafés naturais. As características climáticas do Brasil tornam o país propício à produção de cafés naturais, especialmente, pelo inverno seco, período no qual a colheita e a secagem são realizadas.

O maior teor de água presente no café processado por via seca, quando comparado ao processamento via úmida, torna o café natural mais suscetível a fermentações indesejáveis. O maior conteúdo de água no fruto, também, o predispõe à maior período de exposição ao ar de secagem. Esta condição predispõe o embrião e o endosperma a danos térmicos severos, favorecendo a maior perda da integridade das membranas celulares (ALVES, 2013; CORADI et al., 2007; TAVEIRA et al., 2012), refletindo, muitas vezes, na redução da qualidade sensorial inicial (SAATH et al., 2012).

A presença do exocarpo, nos grãos de café natural, oferece maior resistência às trocas de energia e massa dentro dos grãos, durante a secagem, promovendo uma tensão superior à suportada pela estrutura celular dos grãos (SAATH et al., 2014).

Estas circunstâncias fazem com que o café natural seja mais sensível que os grãos processados via úmida e reflete, muitas vezes, na menor qualidade sensorial. Em razão de maior sensibilidade, o café natural necessita de cuidados específicos, na pós-colheita, para que sua qualidade inicial não seja comprometida.

Essa sensibilidade, também, é observada, durante o armazenamento, no qual o café natural tem sua qualidade reduzida mais intensamente quando comparado aos cafés descascados (SAATH et al., 2012).

## **2.2 Armazenamento do café**

O objetivo do armazenamento de grãos é manter a qualidade do produto, no período entre a colheita e sua comercialização, garantindo a adequada distribuição e abastecimento de distintos mercados consumidores (BORÉM et al., 2008a). Contudo, ao longo dessa etapa, fatores como qualidade e teor de água inicial do produto, tipo de embalagem, condições ambientais do armazém e tempo de armazenamento podem promover a degradação de compostos químicos e gerar substâncias que conferem características indesejáveis ao paladar. A característica mais evidente da perda de qualidade, durante o armazenamento, é o sabor e aroma de café velho, papelão e outros compostos celulósicos. Esse conjunto de eventos afeta, negativamente, os aspectos sensoriais da bebida (BORÉM et al., 2013; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; NOBRE et al., 2007; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2014; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009).

Essas mudanças são mais acentuadas, no sistema de armazenamento convencional, que é o predominante no Brasil. Nesse sistema, os grãos crus são acondicionados em sacaria de juta (permeável) e armazenados em locais sem o controle da temperatura e umidade relativa. Essa condição permite a variação do teor de água dos grãos e interações com o ar ambiente, intensificando a redução da qualidade inicial do produto (BORÉM et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009).

Além do armazenamento no país produtor, grande parte dos cafés especiais produzidos no Brasil é exportada para diversos países. As grandes distâncias percorridas, durante o transporte marítimo, sujeitam os grãos a

alterações ambientais por períodos prolongados. Muitas vezes, produtos químicos voláteis são carregados perto dos contêineres contendo cafés, proporcionando diversas alterações, principalmente, na cor, sabor e aroma. Por isso, um dos desafios na exportação de cafés especiais é evitar que essas condições interfiram na qualidade dos grãos durante as etapas de transporte, armazenamento e uso (HARRIS; MILLER, 2008).

Alternativas para garantir que os grãos mantenham as características qualitativas iniciais têm sido utilizadas por empresas brasileiras de produção e exportação de café, como o acondicionamento hipobárico. Outra opção é o uso de sacos plásticos impermeáveis a gases e à água, denominados GrainPro®. Eles são utilizados para revestir internamente os tradicionais sacos de juta (TRUBEY; RAUDALES; MORALES, 2005). Entretanto ambas as tecnologias possuem elevado custo e não são viáveis para diversos produtores e exportadores de café (BORÉM et al., 2008b).

### **2.2.1 Importância do teor de água no armazenamento**

Como já apresentado, o teor de água tem importante influência na qualidade dos grãos armazenados. O teor de água recomendado para o armazenamento de grãos de café é entre 10,8 e 11,2% (b.u.). Grãos de café armazenados com teor de água acima do recomendado apresentam aumento da atividade respiratória. Isso promove autoconsumo dos compostos orgânicos, afetando as características organolépticas do produto e reduzindo a qualidade (VENTURI et al., 2007; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

Em contrapartida, grãos armazenados abaixo do teor de água recomendado têm menor risco de deterioração, em virtude da menor atividade de água, mas essa prática possui desvantagens que impactam, diretamente, na renda do produtor. Além do gasto extra com energia e mão de obra, a secagem excessiva reduz a massa total de café, já que houve eliminação de parte extra de

água. Como a quantidade de café a ser vendida é mensurada por sua massa, a secagem excessiva reduz a receita total auferida com a venda do café.

Além disso, os grãos muito secos ficam mais susceptíveis a danos mecânicos imediatos quando manuseados. Essa situação pode aumentar a porcentagem de grãos quebrados, que são separados nas máquinas de rebenefício e possuem menor preço no mercado.

Por serem produtos higroscópicos, o conteúdo de água dos grãos pode variar, em função do ambiente em que estão armazenados, tendendo, constantemente, a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e o ar ambiente (PITTIA; NICOLI; SACCHETTI, 2007). Temperatura e umidade relativa do ambiente são variáveis climáticas que exercem grande influência sobre essa característica (ABREU, 2015; NOBRE et al., 2007).

Assim, grãos armazenados em embalagens impermeáveis possuem menor interação com o ambiente e, conseqüentemente, possuem maior conservação do teor de água inicial dos grãos e menores alterações na qualidade física, fisiológica, química e sensorial (ABREU, 2015; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011, SAATH et al., 2012).

### **2.3 Qualidade do café**

Qualidade possui significado amplo e de aplicação multidisciplinar. Qualidade de um alimento é uma síntese de vários atributos que o caracterizam e que determinam o grau de satisfação do cliente. Já segurança do alimento significa que o produto está apto ao consumo, livre de contaminações químicas, físicas ou microbiológicas, não apresentando qualquer tipo de risco à saúde do consumidor (TOLEDO, 2001).

Neste contexto, para o consumidor, a qualidade de um produto alimentar com segurança se refere à aquisição de um produto que satisfaça suas expectativas quanto às características físicas, sensoriais, nutricionais, higiênicas

e saudáveis, minimizando o risco de adoecer em virtude do consumo de um alimento impróprio (GUAZZI, 1999).

Quando se fala em qualidade do café, é pressuposto que o produto seja saudável do ponto de vista da segurança alimentar, sem apresentar defeitos físicos ou na bebida. Além disso, espera-se que apresente alguma característica que o diferencie dos outros, como o sabor floral, cítrico ou achocolatado, entre outros, que contribuem para agregar valor ao produto (PAIVA, 2005).

A qualidade e o grau de complexidade da bebida são os principais diferenciais de um café especial. Assim, este produto é mais valorizado à medida que diferentes aromas e sabores são percebidos na xícara, tornando mais raras e exóticas ao consumidor as sensações de prazer e percepção sensorial.

#### **2.4 Atributos da qualidade do café**

O valor comercial dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) está diretamente relacionado com sua qualidade. Diversos fatores estão associados à qualidade da bebida do café, entre eles a composição química do grão, determinada por fatores genéticos, culturais e ambientais; os processos pós-colheita; a torração, moagem e o preparo da bebida (ALPIZAR; BERTRAND, 2004; BORÉM et al., 2008a; CARVALHO et al., 1994; FARAH et al., 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; PIMENTA et al., 2008).

Existem várias análises cujos resultados podem servir como indicadores da qualidade do café. Essas análises fornecem informações sobre o estado físico, fisiológico e químico do produto e ajudam a compreensão dos fenômenos e/ou alterações que ocorrem nos grãos quando submetidos a diferentes processos na pós-colheita.

No caso do café, um produto agrícola comercializado pela sua qualidade, é importante o conhecimento desses indicadores, pois eles possuem alta correlação com os aspectos sensoriais detectados na prova de xícara.

### **2.4.1 Análise sensorial**

A análise sensorial é o principal indicador da qualidade do café. O princípio dessa análise é baseado nas percepções gustativas e olfativas experimentadas por provadores certificados durante a avaliação.

Para a avaliação de cafés especiais, a metodologia mais utilizada é a proposta por Lingle (2011). O método baseia-se em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por profissionais habilitados. São atribuídas notas de zero a dez pontos, na avaliação dos dez principais atributos, que compõem o perfil sensorial do café: fragrância/aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio e impressão geral do café. O somatório das notas individuais de todos os atributos constitui a nota final, que representa a qualidade global do café. De acordo com a escala, cafés considerados especiais recebem pontuações acima de 80 pontos.

### **2.4.2 Aspectos químicos**

A qualidade do café percebida pelo sabor e aroma na xícara é reflexo do conteúdo quantitativo e qualitativo dos componentes químicos presentes nos grãos crus. Esses compostos são formados na planta, com a influência da interação genótipo e ambiente e definidos nas etapas de pós-colheita do café (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; FIGUEIREDO et al., 2015; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; RIBEIRO et al., 2011).

Dos compostos químicos presentes nos grãos de café, o conteúdo de açúcares pode ser alterado, ao longo do armazenamento; dependendo das condições, essas alterações parecem estar, diretamente, relacionadas com a atividade do sistema respiratório dos grãos. Assim, acredita-se que quanto maior a respiração dos grãos maior é o consumo de açúcares, causando sua redução durante o período de armazenagem e a deterioração do produto (AFONSO

JÚNIOR, 2001; CORADI et al., 2007; GODINHO et al., 2000; REINATO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011).

Não se verifica ao certo qual ou quais os tipos de açúcares exercem maior influência na qualidade da bebida. Contudo, dentre os açúcares encontrados nos grãos crus de café, a sacarose é o composto de maior concentração, com, aproximadamente, 63-90mg/g de matéria seca na espécie arábica (CLARK, 2003). Além disso, há relação entre a redução no teor de sacarose dos grãos crus de café com a diminuição da nota final obtida na análise sensorial (RIBEIRO, 2013). Por isso, justifica-se o monitoramento do perfil de açúcares, ao longo do armazenamento, como indicativo da qualidade dos grãos de café acondicionados em diferentes tecnologias.

### **2.4.3 Aspectos físicos**

A cor dos grãos crus de café pode estar relacionada com a qualidade da bebida e é um fator importante para a valorização do produto. Alterações na cor são fortes indícios da ocorrência de processos oxidativos e transformações bioquímicas enzimáticas que alteram a composição dos precursores responsáveis pelo sabor e aroma da bebida, resultando em redução da qualidade (ABREU et al., 2015; BORÉM et al., 2013; ISQUIERDO et al., 2011; NOBRE, 2005; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2014; RIBEIRO et al., 2011; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006).

Durante o armazenamento, alterações na cor dos grãos podem ocorrer, mesmo em condições adequadas (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006), visto que a tonalidade verde-azulada passa à marrom-clara e esbranquiçada, fenômeno este conhecido como branqueamento. Fatores como danos sofridos pelo produto, luz, umidade relativa, teor de água, tempo de armazenagem e tipo de embalagem exercem influência nas alterações na cor dos grãos (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; BORÉM et al., 2013;

CORADI; BORÉM, 2009; GODINHO et al., 2000; ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE, 2005).

Portanto avaliar a coloração dos grãos armazenados é de grande importância para detectar alterações provocadas pelas diferentes tecnologias de empacotamento.

Outra propriedade física dos grãos crus de café, indicadora da conservação da qualidade dos produtos agrícolas no armazenamento, é a massa específica. A massa específica aparente dos produtos agrícolas é a relação entre a massa do produto e o volume ocupado pelos grãos levando em consideração a porosidade intergranular. O endosperma do café é um organismo vivo e, por isso, tem atividade respiratória ao longo do período de armazenamento. Condições inadequadas de armazenamento intensificam a atividade respiratória, aumentam o autoconsumo de reservas do endosperma e, conseqüentemente, reduzem a massa específica do produto (RIBEIRO, 2013). Portanto acredita-se que embalagens adequadas conservem por um período maior de tempo os valores de massa específica do produto garantindo a conservação da qualidade.

O teor de água é uma propriedade que pode afetar os valores de massa específica dos grãos. A massa específica, geralmente, diminui com o aumento do teor de água. Em trabalhos constataram-se que grãos de café, acondicionados em sacos de juta em armazém convencional, tiveram maior redução da massa específica aparente quando comparado a grãos acondicionados em embalagens (RIBEIRO, 2013). Isso ocorreu, porque o conteúdo de água dos grãos acondicionados em embalagens permeáveis aumentou durante o período de armazenamento.

Essa relação é função das condições ambientais de temperatura e umidade relativa. Assim, esperam-se maiores valores de massa específica em grãos acondicionados em embalagens permeáveis e armazenados em locais com baixas temperaturas e a umidade relativa ambiente. Isso, porque, nessas

condições, os grãos entram em equilíbrio com o ambiente com menores valores de teor de água.

#### **2.4.4 Aspectos relacionados à integridade das membranas**

A integridade das membranas presentes no endosperma dos grãos de café possui relação com a qualidade, visto que grãos com sistema de membrana organizado e funcional apresentam qualidade superior (MALTA et al., 2013; RIGUEIRA et al., 2009; SAATH et al., 2012).

Neste contexto, os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica são utilizados para indicar possíveis danos ao sistema de membrana celular (KRZYZANOWSKY; FRANÇA NETO; HENNING, 1991; PRETE, 1992). O aumento observado, nos valores de lixiviação e condutividade elétrica, indica desorganização das membranas celulares, que é acompanhada por uma perda de controle da permeabilidade e pelo extravasamento de solutos, promovendo reações oxidativas ou catalíticas, resultando em compostos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial do café (BORÉM et al., 2008b; CORADI et al., 2007; MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005; NOBRE et al., 2007).

Diante da importância que o sistema de membrana íntegro representa, na qualidade do café, é de interesse acompanhar essa característica, nos grãos crus de café armazenado, a fim de detectar possíveis alterações causadas durante o armazenamento.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. E. **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícolas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- ABREU, G. F. **Aspectos sensoriais, fisiológicos e bioquímicos de grãos de café armazenados em ambiente refrigerado**. 2015. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- ABREU, G. F. et al. Alterações na coloração de grãos de café em função das operações pós-colheita. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 429-436, out./dez. 2015.
- AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 373 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por "via seca" e "via úmida". **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, dez. 2003.
- ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.
- BORÉM, F. M. et al. (Ed.). **Armazenamento do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008a. 631 p. Edição especial café.
- BORÉM, F. M. et al. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1724-1729, nov./dez. 2008b.
- BORÉM, F. M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 52, p. 1-6, Jan. 2013.
- BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Tempo bom para os cafés especiais**. Disponível em: <<http://bsca.com.br/noticia.php?id=250>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

CARVALHO, V. D. et al. Relação entre a composição físico-química dos grãos de café beneficiado e a qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 3, p. 445-449, mar. 1994.

CLARK, R. J. Green coffee. In: CABALLERO, F.; TRUGO, L. C.; FINGLAS, P. M. (Ed.). **Encyclopedia in food sciences and nutrition**. London: Academic, 2003. p. 1481-1487.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M. Alterações dos parâmetros físico químicos na qualidade de bebida do café natural e despolpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 11, p. 54-63, 2009. Edição especial café.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

CORADI, P. C. et al. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despolpado. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, jan./jun. 2007.

DUARTE, G. S.; PEREIRA, A. A.; FARAH, A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 851-855, Feb. 2010.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FIGUEIREDO, L. P. et al. Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 10, n. 35, p. 3484-3493, Aug. 2015.

FIGUEIREDO, L. P. et al. The potential for high quality bourbon coffees from different environments. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 5, n. 10, p. 87-98, 2013.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 7-16, 2011.

GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição especial.

GUAZZI, D. M. **Utilização do QFD como uma ferramenta de melhoria contínua do grau de satisfação de clientes internos**: uma aplicação em cooperativas agropecuárias. 1999. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

HARRIS, R. L.; MILLER, A. Storing & preserving green coffee: part 2. **Roast Magazine**, New York, p. 31-38, July/Aug. 2008.

ISMAIL, I.; ANUAR, M. S.; SHAMSUDIN, R. Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 20, n. 1, p. 255-264, 2013.

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the Asabe**, Saint Joseph, v. 56, n. 3, p. 1003-1010, 2013.

ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, jan./abr. 2011.

KNOPP, S. E.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the cont of sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, Heidelberg, v. 223, n. 2, p. 195-201, June 2006.

KRZYZANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, DF, v. 1, n. 2, p. 15-50, mar. 1991.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7<sup>th</sup> ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R.; OLIVEIRA, W. M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 6, p. 37-41, 2003. Especial café.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 5, p. 431-440, 2013.

MALTA, M. R.; PEREIRA, G. F. A.; CHAGAS, S. J. R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudado de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 5, p. 1015-1020, 2005.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

PAIVA, E. F. F. **Análise sensorial dos cafés especiais do Estado de Minas Gerais**. 2005. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

PIMENTA, C. J. et al. Composição química e avaliação da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) colhido em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 10, p. 29-35, 2008. Especial café.

PITTIA, P.; NICOLI, M. C.; SACCHETTI, G. Effect of moisture and water activity on textural properties of raw and roasted coffee beans. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 38, p. 116-134, 2007.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.

REINATO, C. H. R. et al. Influência da secagem, em diferentes tipos de terreiro, sobre a qualidade do café ao longo do armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 48-60, jan./jun. 2007.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, London, v. 147, p. 279-286, Mar. 2014.

RIBEIRO, F. C. **Métodos alternativos para armazenamento de cafés especiais**. 2013. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 341-348, Oct. 2011.

RIGUEIRA, R. J. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

SAATH, R. et al. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p. 15-24, jan./fev. 2014.

SAATH, R. et al. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica*L.) nos processos pós colheita. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 96-112, 2012.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica* L.): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, n. 1, p. 31-38, 2008.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. The lipid fraction of coffee bean. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, p. 201-216, 2006.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1511-1517, out. 2012.

TOLEDO, J. C. de. Gestão da qualidade na agroindústria. In: BATALHA, M. O. (Org.). **Gestão agroindustrial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001. v. 1, p. 465-517.

TRUBEY, R.; RAUDALES, R.; MORALES, A. **Café britt hermetic cocoon storage trial II report**. Beneficio Pataliyo: Mesoamerican Development Institute Corp, 2005. 14 p.

VENTURI, L. et al. Water absorption of freeze-dried meat at different water activities: a multianalytical approach using sorption isotherm, differential scanning calorimetry, and nuclear magnetic resonance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, p. 10572-10578, 2007.

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. de. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição especial.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**ARTIGO 1 - QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL  
ARMAZENADO EM EMBALAGENS IMPERMEÁVEIS A GASES E À  
ÁGUA**

FABRÍCIO TEIXEIRA ANDRADE\*

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003).**

---

\* Agrônomo, [fabriciotandrade@gmail.com](mailto:fabriciotandrade@gmail.com)

## RESUMO

O Brasil possui elevado potencial para produção de cafés naturais especiais. Para que um produto de qualidade chegue ao consumidor final, é necessário que ele seja armazenado em condições adequadas. Entretanto grande parte do café brasileiro é armazenada, no sistema convencional, sendo acondicionados em sacos de juta. Esse sistema propicia a perda dos atributos físicos, químicos e sensoriais do café. Assim, justifica-se o desenvolvimento de novas tecnologias, para o acondicionamento dos grãos crus de café natural especial, visando prolongar o período de armazenamento sem comprometer a qualidade final. O objetivo com este estudo foi avaliar o comportamento da qualidade dos grãos crus de café natural especial, acondicionados em diferentes embalagens, ao longo do armazenamento, por período de 18 meses. Amostra comercial da safra 2014 de lote de café natural foi fornecida por empresas exportadoras de café. O café foi, inicialmente homogeneizado, acondicionado em 8 tipos de embalagens e armazenados em armazém comercial, localizado em Poços de Caldas, por período de 18 meses. Para estudar as alterações na qualidade do café, foram realizadas análises físicas, químicas e sensoriais dos grãos nos tempos 0, 3, 6, 9, 12 e 18 meses. Os resultados foram processados no software SISVAR e submetidos à análise de regressão. Foi observada melhor conservação da qualidade inicial dos grãos crus de cafés, acondicionados em embalagens com alta barreira, quando comparado com os grãos acondicionados em embalagens de baixa ou sem barreira. Conclui-se que as embalagens com alta barreira são recomendadas, para o armazenamento do café por longos períodos, por proporcionarem melhor conservação dos grãos crus de café, comparativamente, à proteção oferecida pelas embalagens com baixa barreira a gases e umidade.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Qualidade. Acondicionamento.

## QUALITY OF NATURAL SPECIALTY COFFEE STORED IN PACKAGES IMPERMEABLE TO GASSES AND WATER

### ABSTRACT

Brazil presents a high potential for the production of specialty coffees. In order for a quality product to reach the final consumer, it is necessary that it be stored in adequate conditions. However, a large portion of Brazilian coffee is stored in the conventional system, conditioned in jute sacks. This system causes the loss of physical, chemical and sensorial attributes of the coffee. Thus, the development of new technologies for packaging of crude natural specialty coffees is justified, aiming at prolonging storage without compromising the final quality. The objective with this study was to evaluate the behavior of the quality of crude natural specialty coffees packaged in different packages over a storage period of 18 months. Commercial samples from one lot of natural coffee, from the 2014 harvest, were provided by coffee exporting companies. The coffee was initially homogenized, packaged in 8 types of packaging and stored in commercial storage located in Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil, for a period of 18 months. To study the changes in quality, physical, chemical and sensorial analyses were conducted on the grains at times 0, 3, 6, 9, 12 and 18 months. The results were processed with software SISVAR and submitted to regression analysis. Better conservation of the initial quality was verified with the crude coffee grains packaged with low or no barrier. In conclusion, the packages with high barrier are recommended for storing coffee for long periods, given that they provide better conservation to the crude coffee grains when compared to the protection to gasses and moisture offered by the packages with low or no barrier.

**Keywords:** *Coffea arabica* L. Quality. Packaging.

## 1 INTRODUÇÃO

A maior parte do café produzido no Brasil é processada por via seca, mantendo-se, durante o processamento e a secagem, todos os componentes do fruto, originando os cafés naturais. Uma das explicações para este fato são as características climáticas do Brasil, visto que a maioria das regiões produtoras de café são adequadas à produção de cafés naturais especiais. Diferentemente da maioria dos países produtores de cafés especiais, que processam o café por via úmida, pois estão localizados em regiões úmidas nas quais a secagem do café é dificultada. Nesses casos, o descascamento do café é indicado por reduzir grande quantidade de água dos frutos, diminuindo a possibilidade de ocorrência de fermentações indesejáveis.

A maior quantidade de água presente no café processado por via seca, quando comparado ao processamento via úmida, torna o café natural mais susceptível a fermentações indesejáveis. O maior teor de água no fruto, também, predispõe-no à maior período de exposição ao ar de secagem. Essa situação expõe o embrião e o endosperma a danos térmicos severos, favorecendo a maior perda da integridade das membranas celulares (ALVES, 2013; TAVEIRA et al., 2012), refletindo, muitas vezes, na redução da qualidade sensorial inicial (SAATH et al., 2012). Além disso, a presença do exocarpo nos grãos de café natural oferece maior resistência às trocas de energia e massa dentro dos grãos, durante a secagem, promovendo uma tensão superior à suportada pela estrutura celular dos grãos (SAATH et al., 2014).

Estas situações tornam o café natural mais sensível que os grãos processados via úmida e refletem, muitas vezes, na menor qualidade sensorial. Por ser mais sensível, o café natural necessita de cuidados específicos na pós-colheita para que sua qualidade inicial não seja comprometida.

Essa sensibilidade, também, é observada durante o armazenamento, no qual o café natural tem sua qualidade reduzida mais intensamente quando

comparado aos cafés descascados (SAATH et al., 2012). Além disso, a maioria das condições de armazenagem atual do café, em que os grãos crus ficam acondicionados em sacos de juta (permeáveis a gases e à vapor d'água), permitem variação do teor de água dos grãos e interações com o ar ambiente, intensificando a redução da qualidade inicial (BORÉM et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009).

Como o processamento via seca produz o café mais sensível e o Brasil possui vantagens competitivas na produção deste tipo de produto, em relação aos outros países produtores, justifica-se o desenvolvimento de novas tecnologias para o acondicionamento dos grãos crus de café natural especial, visando prolongar o período de armazenamento sem comprometer a qualidade final.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento da qualidade dos grãos crus de café natural especial, acondicionados em diferentes embalagens, ao longo do armazenamento em condições comerciais no Brasil.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foi utilizado um lote comercial de café especial doado pelas empresas CarmoCoffees e Bourbon Specialty Coffees. O lote de café natural foi, inicialmente classificado pelas empresas com nota média inicial acima de 85 pontos, de acordo com a escala da Specialty Coffee Association of America (SCAA). Além da doação do lote de café, as empresas CarmoCoffees e Bourbon Specialty Coffee participaram de todas as etapas de avaliação sensorial do café durante os 18 meses de experimento.

O lote de café selecionado, contendo cerca de 40 sacas de 60kg, proveniente da Mantiqueira de Minas, safra 2014, foi enviado ao Armazém Internacional localizado em Poços de Caldas – MG. O lote foi uniformizado em balão de liga e, posteriormente, dividido em frações homogêneas. Os grãos de cafés foram acondicionados em oito embalagens, com quatro repetições contendo 10kg de café cru e armazenados por um período de 18 meses. No momento das coletas das amostras, foram escolhidas três repetições, entre as quatro unidades armazenadas, que se apresentavam intactas, sem qualquer perfuração ou danificação que comprometesse a amostragem e análises realizadas nos grãos.

A cada amostragem, 1 kg de café foi retirado, acondicionado, separadamente, em embalagens aluminizadas a vácuo, identificadas e mantidas refrigeradas até o início das análises químicas, físicas e sensoriais. As amostragens e análises foram realizadas nos grãos em seis períodos de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12 e 18 meses).

### **2.1 Embalagens**

Os grãos crus de café foram acondicionados em oito tipos de embalagens: juta, papel, papel + baixa barreira, papel + alta barreira, papel + alta barreira + antifog (camada interna para absorver qualquer água no estado líquido

proveniente de condensação no interior da embalagem) com aplicação de CO<sub>2</sub>, plástico alta barreira, papel + alta barreira + antifog e vácuo. O código de cada embalagem, descrição e empresa fornecedora são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Código e descrição das embalagens utilizadas.

<b>Código</b>	<b>Descrição da embalagem</b>	<b>TPVA (g/m<sup>2</sup>/dia (37,8°C/90% UR))</b>	<b>TPO2 (cc/m<sup>2</sup>/dia (23°C/0%UR))</b>
P	Papel	_____	_____
BB	Papel + baixa barreira		
PAB	Papel + alta barreira	<5	<10
CO	Papel + alta barreira + antifog + CO <sub>2</sub>	<5	<10
AB	Plástico alta barreira	<5	<10
AF	Papel + alta barreira + antifog	<5	<10
V	Vácuo	<5	<10
J	Juta	_____	_____

## **TPO2**

As taxas de permeabilidade ao oxigênio foram determinadas, segundo a norma ASTM D 3985-05, em equipamento OXTRAN, da MOCON. O lado externo da amostra foi colocado em contato com o gás permeante (100% O<sub>2</sub>). As leituras foram corrigidas para 1 atm de gradiente de pressão parcial de gás permeante.

Área de permeação: 50 cm<sup>2</sup>

Condicionamento a seco: 23 °C e 43 a 48 horas (ambiente desumidificado com sílica gel)

Ensaio: 23°C a seco.

## **TPVA**

As taxas de permeabilidade ao vapor d'água foram determinadas, em um equipamento com sensor infravermelho PERMATRAN, Modelo W3/31, da

MOCON, segundo procedimento descrito na norma ASTM F1249-13. Nesse ensaio, o vapor d'água que passa por entre o filme é carregado para o sensor infravermelho por um fluxo de nitrogênio ultra seco. O sensor mede a fração de energia absorvida pelo vapor d'água e emite um sinal elétrico de amplitude proporcional à concentração de vapor d'água. A amplitude deste sinal é comparada à do sinal produzido pelo vapor d'água que passa por um filme de calibração, cuja taxa de permeabilidade ao vapor d'água é conhecida. A área efetiva de permeação de cada corpo de prova foi de 50cm<sup>2</sup>.

No tratamento (CO), Papel + alta barreira + antifog + CO<sub>2</sub>, o gás dióxido de carbono foi injetado até atingir a concentração de 10% no interior da embalagem. No tratamento a vácuo (V), foi utilizada a máquina TecMaq-300, conforme metodologia descrita por Ribeiro (2013).

### **Implantação do experimento**

As embalagens, com capacidade de 10 kg, foram armazenadas em condição ambiente. Todos os tratamentos foram dispostos, aleatoriamente, em uma pilha em forma de U com o objetivo de uniformizar o efeito do ambiente em todas as unidades experimentais.

### **Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 8x6, correspondendo a oito embalagens, seis tempos de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12 e 18 meses) e três repetições.

### **Monitoramento da temperatura e umidade relativa**

A temperatura e a umidade relativa do ambiente de armazenamento foram registradas por meio de sensores (termo-higrógrafos) fixados na parte externa das embalagens. Além disso, a temperatura e a umidade relativa do ar

intergranular, também, foram registradas, por meio de sensores, colocados no interior das embalagens no momento do acondicionamento do café.

### **Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens**

A concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens, foi medida no momento da coleta das amostras, por meio de analisador de gases marca UEI, modelo C20. Os resultados foram expressos em porcentagem de CO<sub>2</sub>.

### **Avaliações**

#### **Determinação do teor de água**

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado pelo método de estufa, a 105±1°C, por 16±0,5 horas, conforme o método padrão da ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2003).

#### **Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada por Juízes Certificados pela SCAA com a utilização do protocolo da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011), para avaliação sensorial de cafés especiais. Nessa metodologia, há a atribuição de notas para fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, sabor residual, doçura, uniformidade, xícara limpa, balanço e impressão global.

A torra, moderadamente leve, foi realizada em 100g de grãos de café peneira 16 acima, monitorando-se a temperatura, para que o tempo de torração não fosse inferior a 8 minutos ou superior a 12 minutos. Para padronizar a torra em todos os períodos de armazenamento, evitando que ela influenciasse a avaliação dos juízes, armazenou-se um padrão de torra da primeira época a que era recorrido, durante a torra, em cada época de avaliação. Todas as amostras

foram torradas com antecedência mínima de 12 horas à degustação. A torração foi calibrada e monitorada com o aparelho Agtron para o padrão #63 para o café torrado e moído.

Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

No tempo zero de armazenamento, amostras torradas dos melhores cafés de cada processamento foram acondicionadas em tubos falcon e armazenadas em *deep freezer* (-80 °C). Nessas condições, o café tem seu metabolismo reduzido e as alterações no sabor e aroma são mínimos. Essas amostras foram degustadas, nos momentos das avaliações seguintes, para que os degustadores resgatassem a experiência sensorial das degustações referentes aos períodos anteriores de armazenamento.

### **Massa específica**

A massa específica aparente foi obtida, utilizando-se uma balança de peso hectolitro, com capacidade de um litro. O resultado foi expresso em  $\text{ton.m}^{-3}$ .

### **Cor**

A coloração dos grãos crus de café foi determinada pelo colorímetro Minolta® modelo CR 310 (iluminante C e ângulo 10°), medindo os parâmetros L (luminosidade), a e b (coordenadas de cromaticidade). O equipamento foi, previamente calibrado, antes das determinações. Amostras foram colocadas em placas de Petri e realizaram-se cinco leituras, nos quatro pontos cardeais e uma no ponto central da placa, para cada repetição.

Em todos os 6 tempos de avaliações, o procedimento foi realizado pelo mesmo pesquisador e em condições ambientais padrão.

### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada por metodologia adaptada por Malta, Pereira e Chagas (2005). Foram utilizados 50 grãos de cada amostra, pesados com precisão de 0,001g e imersos em 75 ml de água destilada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Os recipientes permaneceram em estufa regulada a 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição, em aparelho Digimed CD-20. Com os dados obtidos, calculou-se a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de grãos.

### **Perfil de açúcares**

Para a extração de açúcares, 100 mg das amostras de café cru moído e desengordurado, contidas em tubos de microcentrífuga de 2 mL, foram suspensas em 1,0 mL de água ultrapura 18,2 M $\Omega$  (tampão fosfato pH 7,0). Os tubos foram colocados em um banho ultrassônico aquecido a 60 °C, por 15 minutos. Uma alíquota de 500  $\mu\text{l}$  do extrato foi transferida para outro tubo de microcentrífuga de 1,5 ml e, logo após, foram centrifugados por 5 minutos, a 5.500 rpm. O sobrenadante foi diretamente injetado no cromatógrafo a líquido do Laboratório de Cromatografia no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Para a curva de calibração, uma solução estoque, contendo 60,0 mg de sacarose (Sigma  $\geq$  99%), foi preparada em 5 mL de água. As soluções padrão diluídas (10% a 100% da solução estoque) foram utilizadas para a construção da curva de calibração.

As concentrações dos açúcares foram determinadas utilizando-se CLAE. O cromatógrafo a líquido utilizado consistiu-se de uma bomba ProStar (Varian), detector por índice de refração RID-410 (Waters), válvula de injeção Rheodyne e sistema de aquisição de dados PC/Chrom (S&A Scientific). As amostras e as soluções padrão foram analisadas em coluna Dextropak 100 mm x 8 mm

(Waters), inseridas em um sistema de compressão radial RCM-100 (Waters), tendo filtro de linha (0,22  $\mu\text{m}$ ) e pré-coluna C18 (50 x 4,6 mm) em série. A fase móvel utilizada foi água Milli-Q em temperatura ambiente e fluxo de 1,0 mL.min<sup>-1</sup>. O volume de injeção foi de 20  $\mu\text{L}$ .

O resultado foi definido pela relação entre a área do pico dos açúcares da amostra com a do respectivo padrão de concentração conhecida. O teor final dos açúcares foi dado em porcentagem de matéria seca (% ms).

### Metodologia estatística

Tendo como hipótese que as embalagens apresentam um efeito relacionado à dependência temporal, observada pelas medidas repetidas, ao longo do tempo, utilizou-se o método de estimação de equações generalizadas proposto por Liang e Zeger (1986). Nesse contexto, a relação entre a média das variáveis respostas e as variáveis explicativas (fatores e suas interações) foram descritas por um preditor linear, utilizando a função de ligação  $g()$ , dada pela identidade. Conforme apresentado na expressão (1)

$$g(\mu_i) = X_i^t \beta \quad ; \quad i=1, \dots, n, \text{ em que} \quad (1)$$

$n$  o número total de embalagens e  $X_i$  o delineamento fatorial assumido para  $i$ -ésima embalagem e  $\beta$  o vetor de parâmetros a ser estimado. Dada essas especificações, as estimativas dos parâmetros foram obtidas por meio da solução do sistema definido por:

$$U_k(\beta) = \sum_{i=1}^n D_i V_i^{-1} S_i = 0 \text{ em que,} \quad (2)$$

$$D_i = \frac{\partial \mu_i}{\partial \beta_k} \quad ; \quad S_i = y_i - \mu_i \text{ e } k=1, \dots, p.$$

A expressão da matriz de covariância  $V_i$  foi dada pela expressão (3)

$$V_i = \frac{A_i^{1/2} R_{i(\alpha)} A_i^{1/2}}{\phi} \text{ sendo,} \quad (3)$$

$A_i$  uma matriz diagonal da ordem  $m_i \times m_i$ , representando o número total de observações na  $i$ -ésima embalagem,  $\phi$  o parâmetro de dispersão estimado pelos resíduos de Pearson e  $R_{i(\alpha)}$  a matriz de correlação de trabalho, fixada pela estrutura autorregressiva de ordem 1, a qual foi especificada pelas estimativas do vetor de parâmetros  $\alpha$ , comum a todas embalagens, nas quais as observações foram repetidas ao longo do tempo. Desta forma, essa estrutura foi descrita em (4).

$$R_{i(\alpha)} = \begin{bmatrix} 1 & \hat{\alpha} & \cdots & \hat{\alpha}^t \\ \hat{\alpha} & 1 & \cdots & \hat{\alpha}^{t-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\alpha}^t & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

A estimativa de  $\hat{\alpha}$  é dada, utilizando o procedimento específico à estrutura AR(1), conforme sugere Liang e Zeger (1986). Desta forma, a correlação temporal da variável resposta  $y_{ij}$ , indicando a  $i$ -ésima embalagem no  $j$ -ésimo tempo, com a resposta obtida no tempo posterior  $y_{i,j+t}$  para  $t=0,2,\dots$  foi incorporada ao modelo, fornecendo as médias ajustadas plotadas em função do tempo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Monitoramento da Temperatura e Umidade Relativa

Os valores da temperatura máxima, mínima e média e os valores de umidade relativa máxima, mínima e média do ambiente de armazenamento do Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG, no período de outubro de 2014 a março de 2016, são apresentados, respectivamente, nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Temperatura ambiente do Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, durante 18 meses de armazenamento do café.

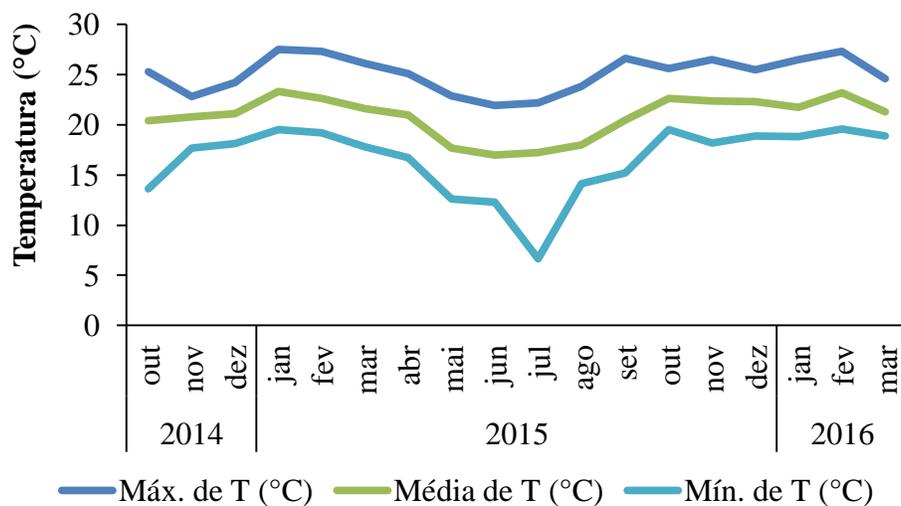
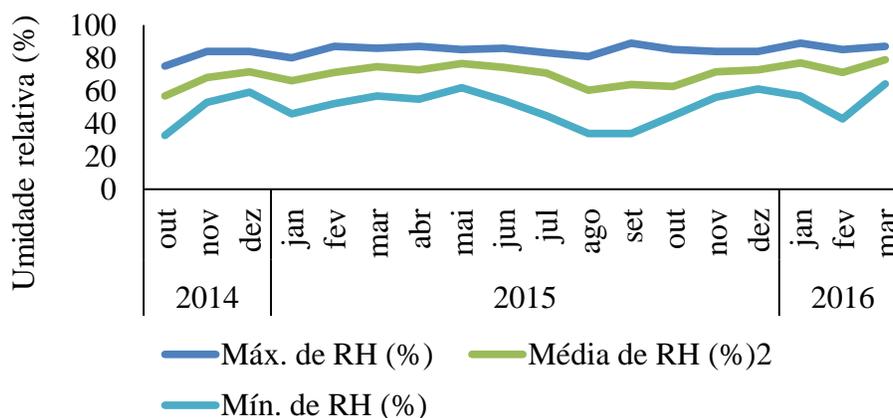


Figura 2 - Umidade relativa ambiente do Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, durante 18 meses de armazenamento do café.



A temperatura média foi de 21°C, a média das máximas de 25°C e as médias das mínimas de 17°C. A umidade relativa média foi de 70%, a média das máximas foi 85% e a média das mínimas de 51%.

As condições médias de temperatura de armazenamento foram consideradas boas, para a manutenção da qualidade do café, tendo em vista que os valores máximos não ultrapassaram 30°C, os valores médios se apresentaram ao redor de 20°C, com ocorrência de períodos com baixas temperaturas próximas a 5°C durante o inverno. Observa-se, no entanto, que os valores máximos de UR chegaram a 80%, com média, durante todo o período, acima de 60%. Em equilíbrio com esses valores de umidade relativa, grãos crus de café podem atingir teores de água de até 13,5% quando acondicionados em embalagens permeáveis ao vapor d'água, teor de água não recomendado para o armazenamento (BORÉM et al., 2008).

### 3.1.1 Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens.

O resumo da ANAVA, para a concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens com café natural, é apresentado no Quadro 1.

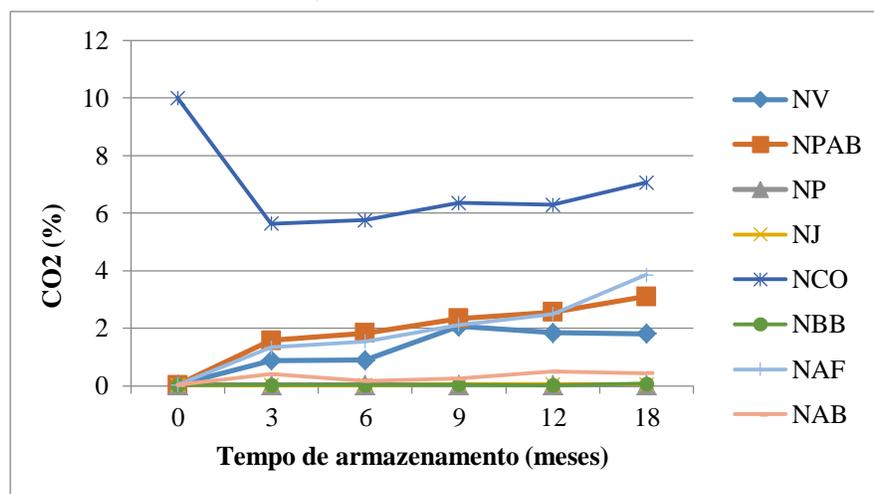
Quadro 1 - Resumo da ANAVA para a concentração de dióxido de carbono dentro das embalagens.

<b>Dióxido de Carbono</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NAB	0,1492	0,0962	0,1208
NAF	0,3116	0,1918	0,1043
NBB	0,0288	0,0088	0,0011
NCO	7,5959	1,3277	0,0000
NJ	0,0510	0,0189	0,0069
NP	0,0298	0,0018	0,0000
NPAB	0,5864	0,3220	0,0686
NV	0,4762	0,2591	0,0661
Tempo	0,0151	0,0068	0,0270
NAF:Tempo	0,1905	0,0076	0,0000
NBB:Tempo	-0,0164	0,0073	0,0236
NCO:Tempo	-0,1055	0,1176	0,3696
NJ:Tempo	-0,0213	0,0063	0,0006
NP:Tempo	-0,0154	0,0069	0,0253
NPAB:Tempo	0,1549	0,0213	0,0000
NV:Tempo	0,0787	0,0276	0,0043

Os resultados descritos, no Quadro 1, evidenciaram que a embalagem NCO apresentou efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

A concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens com café natural, é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Concentração de CO<sub>2</sub>, no interior das embalagens com café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional localizado em Poços de Caldas.



O dióxido de carbono pode concentrar-se, passivamente, a partir da respiração dos grãos ou ser injetado modificando, ativamente, a atmosfera interna da embalagem. Concentrações de dióxido de carbono, no interior das embalagens, superiores aos valores normais do ar atmosférico (0,03%) indicam impermeabilidade da embalagem às trocas de CO<sub>2</sub> com o ambiente. A maior concentração desse gás, no interior das embalagens, permite redução na taxa respiratória dos grãos favorecendo melhor conservação da sua qualidade.

No tratamento CO, foram observadas as maiores concentrações de CO<sub>2</sub>. Nesse tratamento, foram injetados 10% de CO<sub>2</sub> no início do armazenamento. Observa-se que a concentração inicial decresceu em níveis próximos a 5% após 12 meses de armazenamento. A redução na concentração está relacionada à capacidade do café em absorver e reter moléculas desse gás (BORÉM et al., 2013). A partir deste período, a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou atingindo cerca de 7% aos 18 meses de armazenamento.

Nos demais tratamentos sem injeção de CO<sub>2</sub>, com embalagens descritas pelos fornecedores Klabin e Videplast como de alta barreira às trocas gasosas, o aumento na concentração do dióxido de carbono é resultado da respiração dos grãos e do nível de impermeabilidade da embalagem às trocas gasosas. Observa-se que as embalagens NPAB, NAF e NV concentraram mais CO<sub>2</sub> do que as embalagens NP, NBB, NAB e NJ. Nessas embalagens, o nível de CO<sub>2</sub> foi constante e igual à condição normal do ar atmosférico.

O tratamento NAB apresentou concentração de CO<sub>2</sub> mais baixa quando comparado aos demais tratamentos de alta barreira. Aos 18 meses, o tratamento papel com alta barreira (NPAB) apresentou a maior concentração de CO<sub>2</sub>, comparativamente, aos demais tratamentos com atmosfera artificial passiva, ou seja, sem injeção de CO<sub>2</sub>.

### **3.1.2 Teor de água**

O resumo da ANAVA, para o teor de água (%bu) dos grãos acondicionados, em diferentes embalagens, é apresentado no Quadro 2.

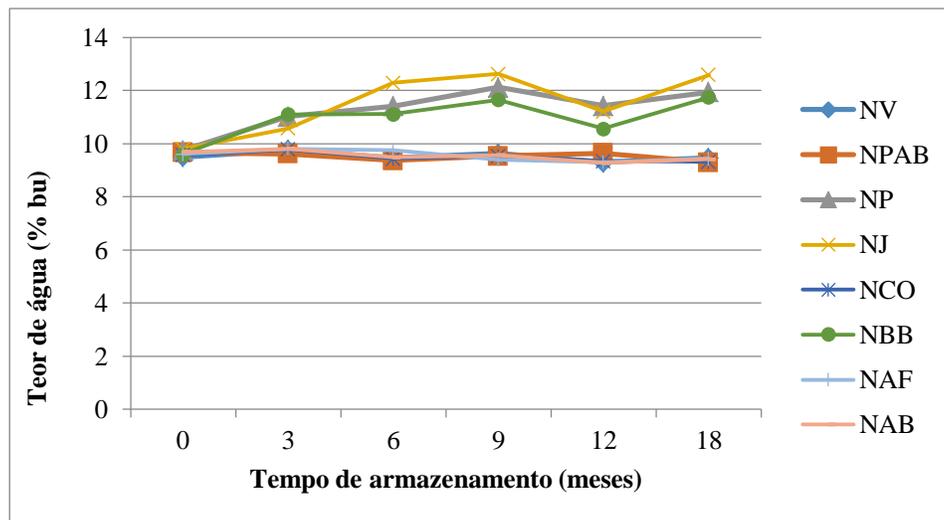
Quadro 2 – Resumo da ANAVA, para teor de água dos grãos, acondicionados em diferentes embalagens.

<b>Teor de Água</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NAB	9,7244	0,0513	0,0000
NAF	9,6248	0,1031	0,0000
NBB	10,3943	0,4593	0,0000
NCO	9,6152	0,0861	0,0000
NJ	10,4834	0,4889	0,0000
NP	10,4534	0,3130	0,0000
NPAB	9,6818	0,1132	0,0000
NV	9,7152	0,0877	0,0000
Tempo	-0,0275	0,0094	0,0033
NAF:Tempo	0,0110	0,0049	0,0248
NBB:Tempo	0,1059	0,0353	0,0027
NCO:Tempo	0,0095	0,0032	0,0034
NJ:Tempo	0,1557	0,0413	0,0002
NP:Tempo	0,1221	0,0301	0,0001
NPAB:Tempo	0,0213	0,0279	0,4456
NV:Tempo	0,0078	0,0109	0,4727

Os resultados descritos, por meio do Quadro 2, evidenciaram que as embalagens NPAB e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de teor de água do café natural são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Teor de água do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



As condições de armazenamento e o tipo de embalagem em que os grãos estão acondicionados podem permitir a alteração do teor de água, podendo acelerar a respiração e promover a redução da qualidade do produto durante o armazenamento (BORÉM et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009).

Os grãos acondicionados, em embalagens sem barreira (NP e NJ) e com baixa barreira (NBB), apresentaram aumento no teor de água durante os 18 meses de armazenamento. Para as demais embalagens, o teor de água permaneceu estável, indicando a efetividade das barreiras ao vapor d'água presentes nas embalagens estudadas.

Ressalta-se que o teor de água é um dos principais fatores que afeta a qualidade dos grãos durante o armazenamento (ABREU, 2015; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011; SAATH et al., 2012). Teores de água maiores que 11,5% promovem aumento na taxa respiratória dos grãos, decomposição e

consumo de compostos químicos do café (VENTURI et al., 2007; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

Após 18 meses de armazenamento, grãos de café armazenados em embalagens permeáveis tendem a entrar em equilíbrio com as condições ambientais. No caso dos grãos crus de café armazenado em ambientes com umidade relativa acima de 70%, o teor de água de equilíbrio é próximo a 12% (bu), valor equivalente aos observados no café armazenado nas embalagens NJ, NP e NBB. Ressalta-se o fato da embalagem NBB apresentar valores mais elevados de teor de água, uma vez que esta embalagem foi descrita pelo fornecedor como baixa barreira a gases, mas impermeável ao vapor d'água. Considerando os valores de teor de água do café, no tratamento NBB, pode-se afirmar que essas embalagens não ofereceram proteção aos grãos quanto ao reumedecimento durante o armazenamento.

### **3.2 Massa específica aparente**

O resumo da ANAVA para a massa específica aparente dos grãos de café natural acondicionados em diferentes embalagens é descrito no Quadro 3.

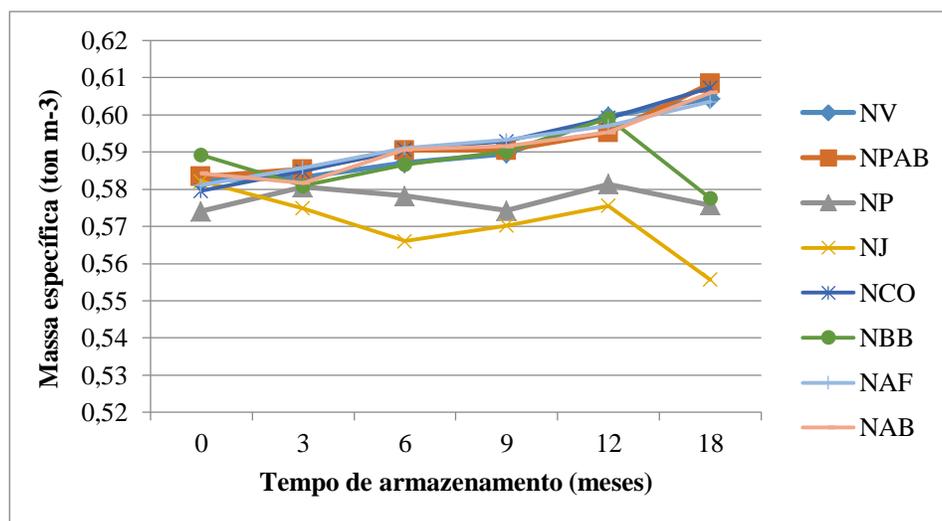
Quadro 3 - Resumo da ANAVA para massa específica aparente dos grãos acondicionados em diferentes embalagens.

<b>Massa específica aparente</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NAB	0,5814	0,0018	0,0000
NAF	0,5821	0,0006	0,0000
NBB	0,5877	0,0029	0,0000
NCO	0,5802	0,0003	0,0000
NJ	0,5797	0,0023	0,0000
NP	0,5780	0,0014	0,0000
NPAB	0,5817	0,0012	0,0000
NV	0,5803	0,0012	0,0000
Tempo	0,0013	0,0001	0,0000
NAF:Tempo	0,0000	0,0002	0,8131
NBB:Tempo	-0,0013	0,0005	0,0119
NCO:Tempo	0,0003	0,0002	0,1292
NJ:Tempo	-0,0024	0,0003	0,0000
NP:Tempo	-0,0013	0,0003	0,0000
NPAB:Tempo	0,0000	0,0001	0,7954
NV:Tempo	0,0001	0,0001	0,6418

Os resultados descritos, por meio do Quadro 3, evidenciaram que a embalagem NBB, NCO, NPAB e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de massa específica aparente do café natural são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Massa específica aparente do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional localizado, em Poços de Caldas, MG – Brasil.



A massa específica do café reduziu, durante 18 meses de armazenamento, no café acondicionado nas embalagens de papel (NP) e juta (NJ). Após 18 meses de armazenamento, os grãos acondicionados em juta apresentaram os menores valores de massa específica aparente. A redução da massa específica aparente foi resultado tanto do aumento do teor de água quanto do aumento da taxa respiratória dos grãos com conseqüente degradação e consumo de compostos químicos nos grãos.

Outros trabalhos, também, associaram a redução da massa específica aparente dos grãos de café com a redução da qualidade ao longo do período de armazenamento (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; RIBEIRO, 2013).

### 3.3 Condutividade Elétrica

O resumo da ANOVA, para a condutividade elétrica do café natural, é apresentado no Quadro 4.

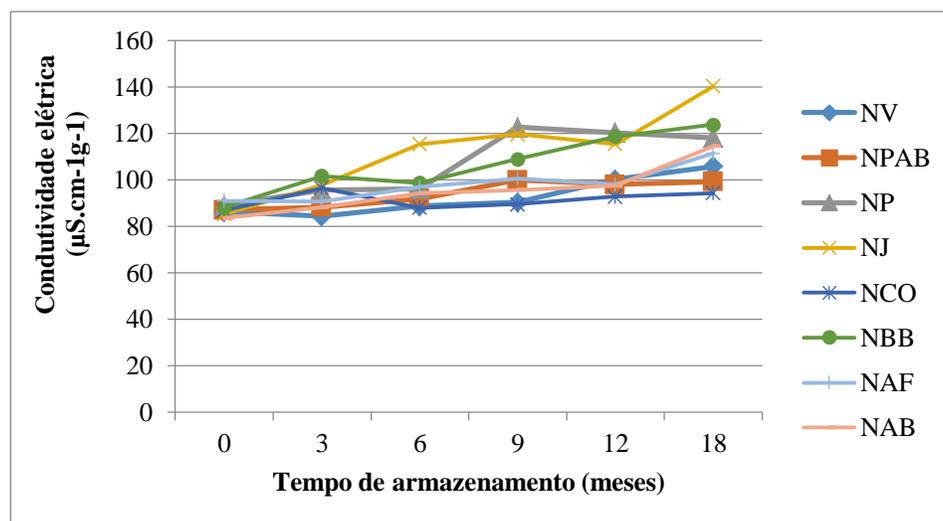
Quadro 4 - Resumo da ANAVA para a condutividade elétrica dos grãos acondicionados em diferentes embalagens.

<b>Condutividade Elétrica</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NAB	82,5763	0,9738	0,0000
NAF	89,8405	0,8508	0,0000
NBB	91,5178	2,2853	0,0000
NCO	88,3084	2,8657	0,0000
NJ	90,3147	2,8469	0,0000
NP	91,7506	3,1037	0,0000
NPAB	88,8648	0,7305	0,0000
NV	83,2243	1,9250	0,0000
Tempo	1,5714	0,1288	0,0000
NAF:Tempo	-0,5148	0,0534	0,0000
NBB:Tempo	0,3469	0,3378	0,3044
NCO:Tempo	-1,1850	0,2265	0,0000
NJ:Tempo	1,1901	0,1991	0,0000
NP:Tempo	0,3299	0,5357	0,5380
NPAB:Tempo	-0,8856	0,2275	0,0001
NV:Tempo	-0,4079	0,2028	0,0442

Os resultados descritos, por meio do Quadro 4, evidenciaram que a embalagem NBB e NP apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de condutividade elétrica do café natural são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Condutividade elétrica do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



A condutividade elétrica dos grãos foi crescente durante armazenamento em todos os tratamentos. Contudo, aos 18 meses, valores mais baixos foram encontrados nos grãos de café armazenados nas embalagens com propriedades de alta barreira (NPAB, NCO, NAB, NAF) e a vácuo indicando maior preservação do café nesses tratamentos.

Aos 18 meses, o maior valor para a condutividade elétrica foi encontrado no café armazenado em sacos de juta (NJ). Ressalta-se que, após 18 meses, os menores valores de condutividade elétrica foram encontrados nos grãos armazenados nas embalagens NPAB, NCO, NAB, NAF, sendo similares ao vácuo (NV).

Maiores valores observados, no teste de condutividade elétrica, são indicativos de desorganização celular, que é acompanhada por uma perda de controle da permeabilidade e pelo extravasamento de solutos. Essa condição promove reações oxidativas ou reações catalíticas, resultando em produtos

indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial do café (BORÉM et al., 2008; CORADI et al., 2007; MALTA et al., 2013; MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005). Assim como neste trabalho, outros, também, detectarem alterações nos valores de lixiviação de potássio dos grãos ao longo do armazenamento (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; MALTA et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIGUEIRA et al., 2009; SILVA et al., 2001).

### 3.3.1 Luminosidade

O resumo da ANAVA com os valores de luminosidade, para os grãos de café natural, é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Resumo da ANAVA, para a luminosidade dos grãos acondicionados, em diferentes embalagens.

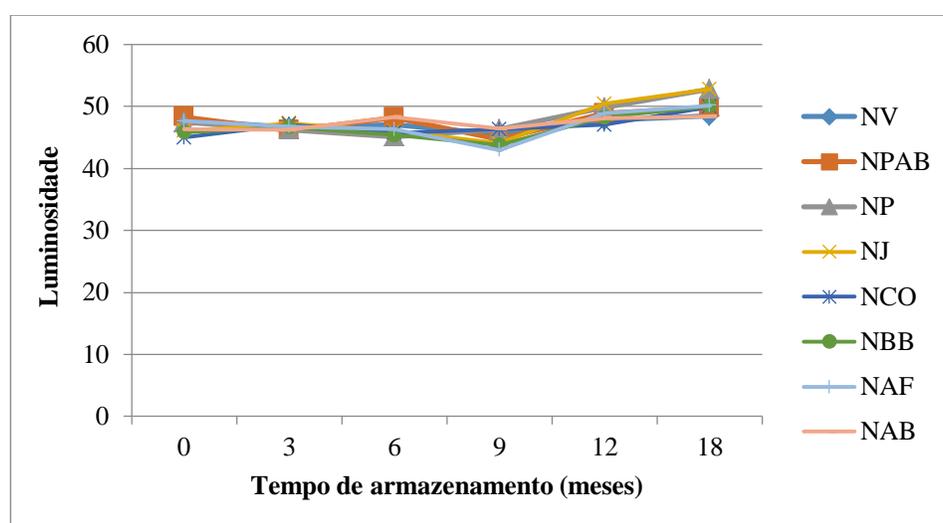
<b>Luminosidade</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NAB	46,4984	0,8095	0,0000
NAF	45,4171	1,0798	0,0000
NBB	46,4070	0,6732	0,0000
NCO	44,5750	0,7164	0,0000
NJ	44,9590	0,9160	0,0000
NP	44,9526	1,6836	0,0000
NPAB	47,0582	0,5906	0,0000
NV	46,6683	0,3218	0,0000
Tempo	0,0425	0,0406	0,2945
NAF:Tempo	0,1403	0,0958	0,1430
NBB:Tempo	0,0625	0,0725	0,3889
NCO:Tempo	0,2229	0,0907	0,0140
NJ:Tempo	0,3438	0,0884	0,0001
NP:Tempo	0,3040	0,1571	0,0530
NPAB:Tempo	0,0863	0,0445	0,0528
NV:Tempo	0,0555	0,0530	0,2946

Os resultados descritos, por meio do Quadro 5, evidenciaram que a embalagem NAF, NBB e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não

significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de luminosidade do café natural são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Luminosidade do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



Observa-se que grãos acondicionados em embalagens sem barreira (NP e NJ) apresentaram maior branqueamento, quando comparados aos acondicionados nas demais embalagens, aos 18 meses de armazenamento. As alterações da cor podem ser ocasionadas por degradação luminosa e/ou degradação bioquímica, durante a respiração dos grãos, contribuindo para a redução da qualidade.

Os resultados encontrados enfatizam que embalagens sem barreira, como o tradicional saco de juta, não são adequadas ao armazenamento de cafés especiais, corroborando com outros trabalhos (ABREU et al., 2015; BORÉM et

al., 2013; CORADI; BOREM, 2009; GODINHO et al., 2000; ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE et al., 2007; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

### 3.3.2 Análise sensorial

O resumo da ANAVA com os valores da nota final dos grãos de café natural é apresentado no Quadro 6.

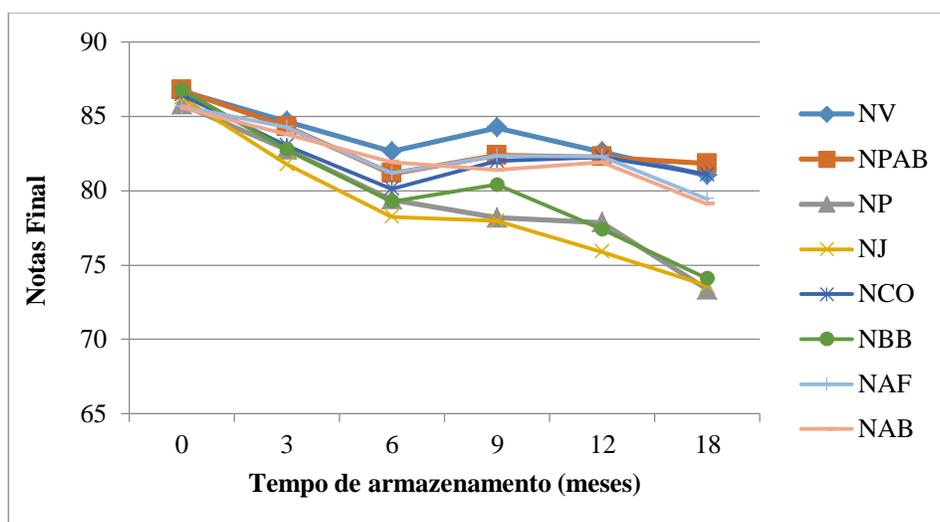
Quadro 6 – Resumo da ANAVA, para análise sensorial dos grãos crus de café natural, acondicionados em diferentes embalagens.

<b>Análise Sensorial</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NAB	84,7510	0,6225	0,0000
NAF	85,4700	0,5376	0,0000
NBB	84,4119	1,8433	0,0000
NCO	83,5020	1,4284	0,0000
NJ	85,0117	1,1776	0,0000
NP	84,1250	0,8611	0,0000
NPAB	83,8668	1,9255	0,0000
NV	86,3796	0,6676	0,0000
Tempo	-0,2100	0,0480	0,0000
NAF:Tempo	-0,1369	0,0498	0,0059
NBB:Tempo	-0,3470	0,1157	0,0027
NCO:Tempo	0,1369	0,0906	0,1308
NJ:Tempo	-0,5659	0,0561	0,0000
NP:Tempo	-0,3410	0,0569	0,0000
NPAB:Tempo	0,0713	0,1234	0,5636
NV:Tempo	-0,1220	0,0237	0,0000

Os resultados descritos, por meio do Quadro 6, evidenciaram que as embalagens NCO e NPAB apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os resultados da análise sensorial do café natural são apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Análise sensorial do café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



De acordo com a metodologia SCAA usada, para avaliação sensorial do café, amostras com notas no intervalo de 85 a 89 são classificadas como excelentes e amostras com notas entre 80 e 84 são classificadas como muito boas, todas consideradas especiais. Amostras de café com notas inferiores a 80 pontos, embora possam apresentar boa qualidade, já não são classificadas como especiais.

Todas as embalagens apresentaram decréscimo em suas notas no decorrer do tempo. Durante os primeiros três meses de armazenamento, não houve grandes diferenças e todas as embalagens apresentaram cafés com notas superiores a 80 pontos. A partir do sexto mês, as embalagens sem barreira (NJ e

NP) e com baixa barreira (NBB) se situaram abaixo desse nível, sendo, portanto não classificadas como cafés especiais.

Após 18 meses de armazenamento, apenas os cafés armazenados nas embalagens NV, NCO e NPAB foram classificados como cafés especiais. Esses resultados reforçam a hipótese de que é possível manter a qualidade do café durante longos períodos de armazenamento.

### 3.3.3 Açúcares

Os resultados obtidos, a partir das análises do teor de água, massa específica aparente, condutividade elétrica, luminosidade e análise sensorial, permitiram agrupar os tratamentos em dois conjuntos sendo um formado pelas embalagens permeáveis a gases e vapor d'água e outro formado pelas embalagens com alta barreira.

Assim, foram analisadas as concentrações de açúcares dos grãos armazenados, nas embalagens de papel (P), papel mais alta barreira (PAB) e armazenados a vácuo (V).

O resumo da ANAVA com os valores da porcentagem de sacarose em grãos de café natural é apresentado no Quadro 7.

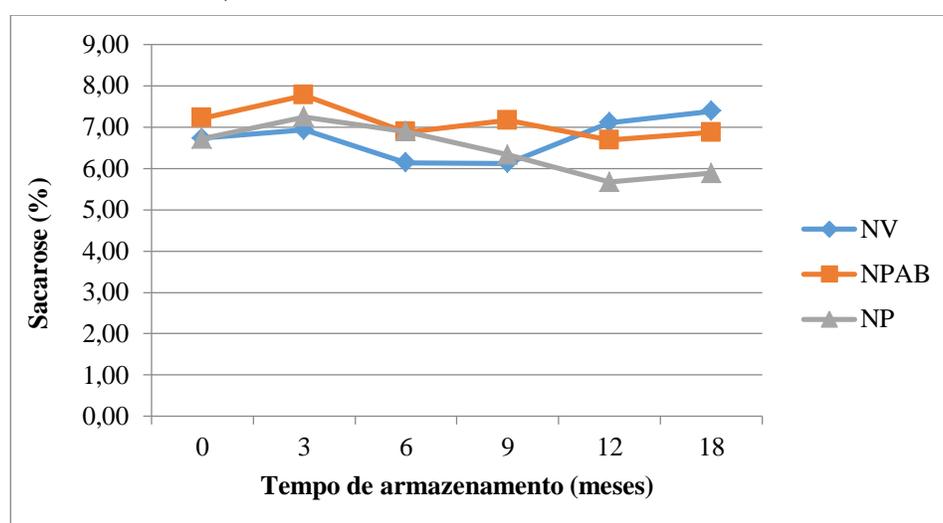
Quadro 7 – Resumo da ANAVA, para porcentagem de sacarose dos grãos crus de café, acondicionados em diferentes embalagens.

<b>Sacarose</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NP	7,0821	0,2347	0,0000
NPAB	7,3983	0,2031	0,0000
NV	6,4392	0,2474	0,0000
Tempo	-0,0776	0,0206	0,0002
NPAB:Tempo	0,0395	0,0092	0,0000
NV:Tempo	0,1149	0,0285	0,0001

Os resultados descritos, por meio do Quadro 7, evidenciaram que todas as embalagens apresentaram efeito de interação com o tempo significativa ( $P < 0,05$ ).

Os teores de sacarose do café natural são apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Teor de sacarose, para os grãos de café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



O teor de sacarose foi, relativamente estável, para os grãos de café acondicionados em embalagem de papel com alta barreira (NPAB) e a vácuo, confirmando os resultados anteriores que indicam capacidade similar de embalagens com alta barreira em preservar a qualidade do café, comparativamente, ao vácuo.

O teor de sacarose reduziu durante o armazenamento do café acondicionado na embalagem de papel (NP). A ausência de barreira a gases e vapor d'água favorece o reumedecimento dos grãos, a respiração e sua consequente deterioração. Nesse processo, ocorre a hidrólise da sacarose,

liberando os monossacarídeos glicose e frutose, que se tornam prontamente disponíveis para a respiração. Esse resultado confirma o que, anteriormente, foi encontrado com outros indicadores de alteração da qualidade do café.

O resumo da ANAVA com os valores da porcentagem de sacarose em grãos de café natural é apresentado no Quadro 8.

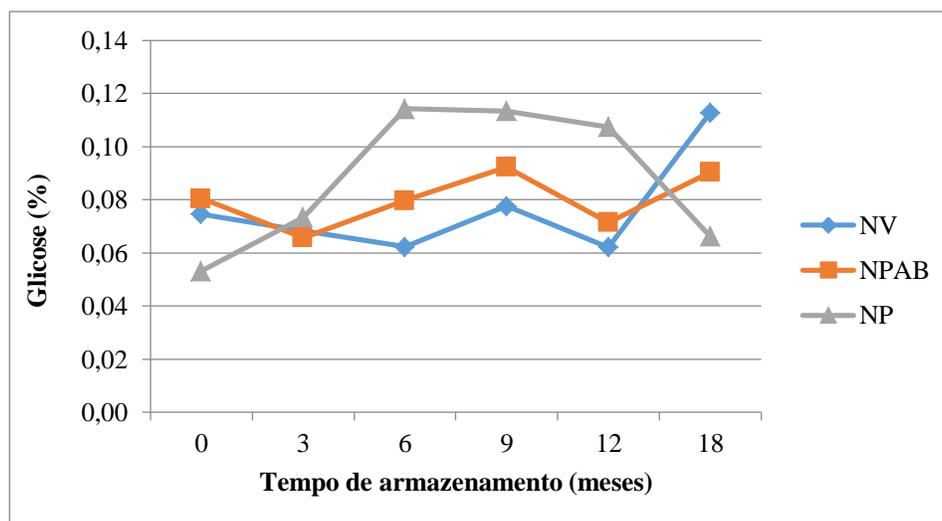
Quadro 8 – Resumo da ANAVA, para porcentagem de glicose dos grãos crus de café, acondicionados em diferentes embalagens.

<b>Glicose</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NP	0,0795	0,0165	0,0000
NPAB	0,0745	0,0046	0,0000
NV	0,0605	0,0058	0,0000
Tempo	0,0010	0,0018	0,5753
NPAB:Tempo	-0,0003	0,0022	0,8805
NV:Tempo	0,0009	0,0027	0,7529

Os resultados descritos, por meio do Quadro 8, evidenciaram que não houve efeito de interação significativa com o tempo de armazenamento ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os teores de glicose do café natural são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Teor de glicose, para os grãos de café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



O resumo da ANAVA com os valores da porcentagem de frutose em grãos de café natural é apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Resumo da ANAVA, para porcentagem de frutose dos grãos crus de café, acondicionados em diferentes embalagens.

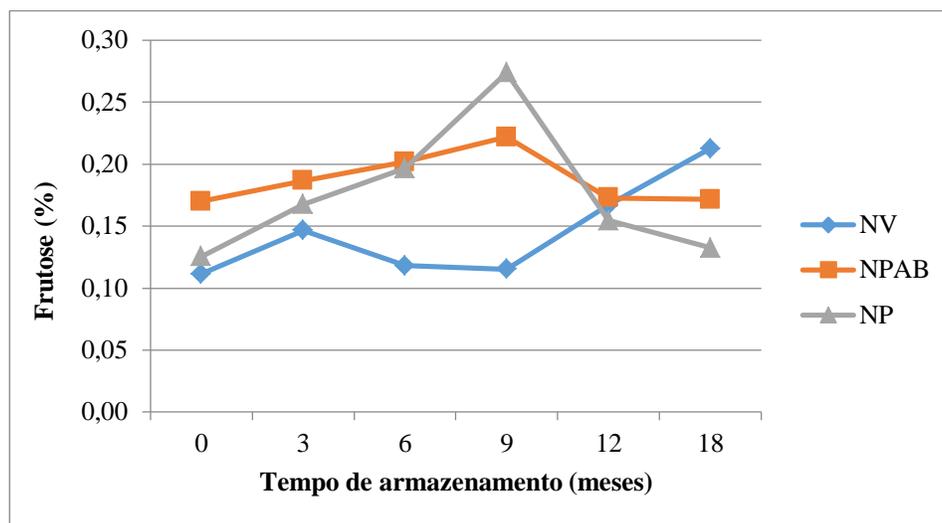
Frutose			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr (< W )
NP	0,1716	0,0306	0,0000
NPAB	0,1924	0,0111	0,0000
NV	0,1081	0,0111	0,0000
Tempo	0,0002	0,0030	0,9544
NPAB:Tempo	-0,0007	0,0020	0,7472
NV:Tempo	0,0046	0,0038	0,2218

Os resultados descritos, por meio do Quadro 8, evidenciaram que não houve efeito de interação significativa com o tempo de armazenamento

( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os teores de frutose do café natural são apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Teor de frutose, para os grãos de café natural, durante 18 meses de armazenamento, no Armazém Internacional, localizado em Poços de Caldas, MG – Brasil.



Observa-se que os teores de glicose e frutose tiveram um comportamento similar em cada embalagem. Cafés acondicionados, em embalagens sem barreira (NJ), tiveram o conteúdo desses açúcares aumentado até o período de 9 meses de armazenamento, seguido de redução até o período de 18 meses de armazenamento. Esse resultado está coerente com o comportamento do teor de sacarose que reduziu, ao longo do armazenamento, pois foi degradada a esses açúcares, aumentando a proporção de glicose e frutose, em relação aos açúcares totais até 9 meses de armazenamento. Após esse período, o conteúdo desses açúcares cai, drasticamente, indicando seu consumo pelo grão, já que, na respiração são consumidos, preferencialmente, açúcares de baixo peso molecular (glicose e frutose).

O teor de glicose e frutose, para o café natural acondicionado em embalagem com alta barreira (NPAB), foi estável ao longo do armazenamento. Entretanto cafés acondicionados a vácuo tiveram a porcentagem de frutose e glicose, praticamente, dobrada, ao longo do período de 18 meses de armazenamento. Uma provável explicação, para esse fenômeno, é que, mesmo em condições ideais, os grãos respiram (BOREM et al., 2013; RIBEIRO et al., 2011), revelado neste trabalho pela redução do teor de sacarose ao longo do período de armazenamento. Contudo a embalagem de alta barreira permitiu proteger os grãos por um período maior de tempo, evitando que eles autoconsumissem os açúcares de baixo peso molecular como ocorreu nos grãos acondicionados em juta (NJ), após 9 meses de armazenamento.

#### **4 CONCLUSÃO**

Embalagens com alta barreira são recomendadas, para o armazenamento do café, por longos períodos, por proporcionarem melhor conservação dos grãos crus de café, comparativamente, à proteção oferecida pelas embalagens com baixa barreira a gases e umidade.

Cafés especiais acondicionados em embalagens sem barreira ou com baixa barreira não são mais classificados como especiais aos seis meses de armazenamento.

Cafés especiais acondicionados, em embalagens com alta barreira, a vácuo ou com a injeção de dióxido de carbono, são classificados como especiais aos 18 meses de armazenamento.

Embalagens com alta barreira oferecem a mesma proteção aos grãos que embalagens a vácuo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, G. F. **Aspectos sensoriais, fisiológicos e bioquímicos de grãos de café armazenados em ambiente refrigerado**. 2015. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- ABREU, G. F. et al. Alterações na coloração de grãos de café em função das operações pós-colheita. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 429-436, out./dez. 2015.
- ALVES, G. E. **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícolas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BORÉM, F. M. et al. (Ed.). **Armazenamento do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 631 p. Edição especial café.
- BORÉM, F. M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 52, p. 1-6, Jan. 2013.
- COELHO, K. F.; PEREIRA, R. G. F. A.; VILELA, E. R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 22-27, 2001. Especial café.
- CORADI, P. C.; BORÉM, F. M. Alterações dos parâmetros físico químicos na qualidade de bebida do café natural e despolpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 11, p. 54-63, 2009. Edição especial café.
- CORADI, P. C. et al. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despolpado. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, jan./jun. 2007.
- GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição especial.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee**: determination of loss mass at 105°C: ISO 6673:2003. Genebra, 2003. 4 p.

ISMAL, I.; ANUAR, M. S.; SHAMSUDIN, R. Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 20, n. 1, p. 255-264, 2013.

LIANG, K. Y.; ZEGER, S. L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. **Biometrika**, London, v. 73, n. 1, p. 13-22, 1986.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7<sup>th</sup> ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 5, p. 431-440, 2013.

MALTA, M. R.; PEREIRA, G. F. A.; CHAGAS, S. J. R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudado de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 5, p. 1015-1020, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

RIBEIRO, F. C. **Métodos alternativos para armazenamento de cafés especiais**. 2013. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 341-348, Oct. 2011.

RIGUEIRA, R. J. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

SAATH, R. et al. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p. 15-24, jan./fev. 2014.

SAATH, R. et al. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica*L.) nos processos pós colheita. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 96-112, 2012.

SILVA, R. P. G. et al. Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* L.) armazenados em coco, com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 3, p. 3-10, 2001. Especial café.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1511-1517, out. 2012.

VENTURI, L. et al. Water absorption of freeze-dried meat at different water activities: a multianalytical approach using sorption isotherm, differential scanning calorimetry, and nuclear magnetic resonance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, p. 10572-10578, 2007.

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. de. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição especial.

**ARTIGO 2 - QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL ESPECIAL EM  
EMBALAGENS IMPERMEÁVEIS A GASES E À ÁGUA DURANTE O  
TRANSPORTE MARÍTIMO E ARMAZENAMENTO NOS ESTADOS  
UNIDOS DA AMÉRICA**

FABRÍCIO TEIXEIRA ANDRADE\*

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003).**

---

\* Agrônomo, [fabriciotandrade@gmail.com](mailto:fabriciotandrade@gmail.com).

## RESUMO

Um dos desafios da exportação de cafés especiais é evitar que as condições a que os grãos crus são submetidos, durante o transporte até o consumidor final, interfiram na qualidade sensorial dos grãos torrados, que, normalmente, chegam ao seu destino com alterações. O objetivo com este trabalho foi avaliar o comportamento dos grãos crus de cafés especiais, processados por via seca, acondicionados em diferentes embalagens desde o armazenamento no Brasil, passando pelo transporte marítimo, em condições comerciais, até o destino final, com subsequente armazenamento em uma empresa importadora de cafés especiais. Amostra comercial da safra 2014 de lote de café natural foi fornecida por empresas exportadoras de café. O café foi, inicialmente homogeneizado, acondicionado em 8 tipos de embalagens e armazenados em armazém comercial, localizado em Poços de Caldas, por período de 3 meses. Após 3 meses de armazenamento no Brasil, os grãos crus de café acondicionados em diferentes embalagens foram exportados, para um armazém, localizado nos Estados Unidos onde permaneceram até completar período total de 14 meses de armazenamento. Para estudar as alterações na qualidade do café, foram realizadas análises físicas, químicas e sensoriais dos grãos nos tempos 0, 3, 6 e 14 meses. Os resultados foram submetidos à análise de regressão. Foi observada maior alteração da qualidade física, química e sensorial dos grãos crus de café acondicionados em embalagens com baixa ou sem barreira. Conclui-se que embalagens com baixa ou sem barreira não são adequadas para acondicionar e exportar cafés especiais. Grãos acondicionados em embalagens com alta barreira preservam sua qualidade, por longos períodos de tempo e são recomendadas para a exportação de cafés especiais.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Armazenamento. Qualidade. Exportação.

**Quality of natural specialty coffees in packaging impermeable to gasses and water during sea transportation in the United States of America**

**ABSTRACT**

One of the challenges of exporting specialty coffees is avoiding that the conditions to which the crude grains are submitted to during transportation interfere in the sensorial quality of the roasted grains, which generally arrive at the final destination with changes. The objective of this work was to evaluate the behavior of crude dry-processed specialty coffee grains, packaged in different packaging from storage in Brazil, undergoing sea transportation under commercial conditions, until reaching the final destination, with subsequent storage in a specialty coffee exporting company. The coffee was initially homogenized, packaged in eight types of packaging and stored in commercial storage located in Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil, for 3 months. Subsequently, the packaged crude coffee grains, were exported to a storage located in the United States, where they remained until completing a total period of 14 months of storage. To study the changes in quality, physical, chemical and sensorial analyses were conducted at times 0, 3, 6 and 14 months. The results were submitted to regression analysis. Greater changes were verified in the physical, chemical and sensorial quality of crude coffee grains packaged in low or no barrier packaging. In conclusion, the packages with low or no barrier are not suited for exporting specialty coffees. Grains packaged in high barrier packaging have their quality preserved for long time periods and are recommended for the exportation of specialty coffees.

**Keywords:** *Coffea arabica* L. Storage. Quality. Exportation.

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de cafés especiais está cada vez mais globalizado. As nações produtoras de cafés especiais exportam seus grãos para todos os continentes. Durante essa operação, os lotes de cafés são conduzidos por transporte marítimo e ficam expostos a um longo período com grande oscilação das condições ambientais, proporcionando, principalmente, alterações na cor, sabor e aroma do café (TRUBEY; RAUDALES; MORALES, 2005). Além disso, produtos químicos voláteis são carregados perto dos contêineres contendo cafés, proporcionando alterações, principalmente, na cor, sabor e aroma.

No momento em que os grãos crus chegam ao país importador, são conduzidos às médias e pequenas torrefadoras de cafés. Essas empresas torram os lotes ou microlotes sob demanda. Contudo, na maioria das vezes, as embalagens contendo os grãos crus são abertas e retiradas pequenas quantidades de cafés para a torra. Desta maneira, os grãos crus remanescentes, ainda, ficam acondicionados por período de tempo considerável até que todo o conteúdo da embalagem seja consumido.

Diante desse cenário, um dos desafios da exportação de cafés especiais é evitar que as condições a que os grãos crus são submetidos, durante o transporte até o consumidor final, interfiram na qualidade sensorial dos grãos torrados, que, normalmente, chegam ao seu destino com alterações (HARRIS; MILLER, 2008). Por esse motivo, torna-se importante estudar o comportamento dos grãos acondicionados, em diferentes tecnologias, para a embalagem ao longo do processo de exportação e armazenagem.

Assim, o objetivo com este trabalho foi avaliar o comportamento dos grãos crus de cafés especiais processados por via seca acondicionados em diferentes embalagens desde o armazenamento no Brasil, passando pelo transporte marítimo, em condições comerciais, até o destino final, com subsequente armazenamento em uma empresa importadora de cafés especiais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado um lote comercial de café especial processado por via seca (Natural), doado pelas empresas CarmoCoffees e Bourbon Specialty Coffees. O lote de café foi, inicialmente, classificado pelas empresas com nota média inicial acima de 85 pontos, de acordo com a escala da Specialty Coffee Association of America (SCAA). Além da doação dos lotes de café, as empresas CarmoCoffees e Bourbon Specialty Coffee participaram de todas as etapas de avaliação sensorial do café durante os 14 meses de experimento.

O lote de café selecionado, contendo cerca de 40 sacas de 60kg, proveniente da Mantiqueira de Minas, safra 2014, foi enviado ao Armazém Internacional localizado em Poços de Caldas – MG. O lote foi uniformizado em balão de liga e, posteriormente, foi dividido em frações homogêneas. Os cafés foram acondicionados em oito embalagens, com quatro repetições, contendo 10kg de café cru e armazenados por um período de 14 meses. No momento das coletas das amostras, foram escolhidas três repetições, entre as quatro unidades armazenadas, que se apresentavam intactas, sem qualquer perfuração ou danificação que comprometesse a amostragem do café.

A cada amostragem, 1 kg de café foi retirado, acondicionado, separadamente, em embalagens aluminizadas a vácuo, identificadas e mantidas refrigeradas até o início das análises químicas, físicas e sensoriais. As análises foram realizadas nos grãos em quatro períodos de armazenamento (0, 3, 6 e 14 meses). Entre os tempos 0 e 3 meses, o café ficou armazenado, no armazém Internacional, em Poços de Caldas-MG. Em janeiro de 2015, o café foi exportado para Minneápolis-MN, nos Estados Unidos da América, onde permaneceu, no armazém da empresa Café Imports, até dezembro de 2015. As coletas de amostras foram realizadas, nos tempos 0 e 3 meses, no Brasil; e, nos tempos 6 e 14, nos Estados Unidos.

## 2.1 Embalagens

Os grãos crus de café foram acondicionados em oito tipos de embalagens: juta, papel, papel + baixa barreira, papel + alta barreira, papel + alta barreira + anti fog (camada interna, para absorver qualquer água no estado líquido, proveniente de condensação no interior da embalagem) com aplicação de CO<sub>2</sub>, plástico alta barreira, papel + alta barreira + antifog e vácuo. O código de cada embalagem, descrição e empresa fornecedora são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Código e descrição das embalagens utilizadas.

Código	Descrição da embalagem	TPVA (g/m <sup>2</sup> /dia (37,8°C/90% UR))	TPO2 (cc/m <sup>2</sup> /dia (23°C/0%UR))
P	Papel	_____	_____
BB	Papel + baixa barreira	_____	_____
PAB	Papel + alta barreira	<5	<10
CO	Papel + alta barreira + antifog + CO <sub>2</sub>	<5	<10
AB	Plástico alta barreira	<5	<10
AF	Papel + alta barreira + antifog	<5	<10
V	Vácuo	<5	<10
J	Juta	_____	_____

### TPO2

As taxas de permeabilidade ao oxigênio foram determinadas, segundo a norma ASTM D 3985-05, em equipamento OXTRAN, da MOCON. O lado externo da amostra foi colocado em contato com o gás permeante (100% O<sub>2</sub>). As leituras foram corrigidas para 1 atm de gradiente de pressão parcial de gás permeante.

Área de permeação: 50 cm<sup>2</sup>

Condicionamento a seco: 23°C e 43 a 48 horas (ambiente desumidificado com sílica gel)

Ensaio: 23°C a seco.

### **TPVA**

As taxas de permeabilidade ao vapor d'água foram determinadas em um equipamento com sensor infravermelho PERMATRAN, Modelo W3/31, da MOCON, segundo procedimento descrito na norma ASTM F1249-13. Neste ensaio, o vapor d'água que passa por entre o filme é carregado para o sensor infravermelho por um fluxo de nitrogênio ultraseco. O sensor mede a fração de energia absorvida pelo vapor d'água e emite um sinal elétrico de amplitude proporcional à concentração de vapor d'água. A amplitude deste sinal é comparada à do sinal produzido pelo vapor d'água que passa por um filme de calibração, cuja taxa de permeabilidade ao vapor d'água é conhecida. A área efetiva de permeação de cada corpo de prova foi de 50cm<sup>2</sup>.

No tratamento (CO), Papel + alta barreira + antifog + CO<sub>2</sub>, o gás dióxido de carbono foi injetado até atingir a concentração de 10% no interior da embalagem. No tratamento a vácuo (V), foi utilizada a máquina TecMaq-300, conforme metodologia descrita por Ribeiro (2013).

### **Implantação do experimento**

As embalagens, contendo grãos crus de café, foram armazenadas em condição ambiente. Todos os tratamentos foram dispostos, aleatoriamente, em blocos em forma de U com o objetivo de uniformizar o efeito do ambiente em todas as unidades experimentais.

As embalagens ficaram armazenadas durante 3 meses no Brasil. Após esse período, foram exportadas para um Armazém nos Estados Unidos. O transporte da origem até o destino foi realizado, em condições comerciais, em um container de café contendo cafés vendidos para a Café Imports. Após esse

período, as embalagens com café foram armazenadas por período de 10 meses nos Estados Unidos.

As amostragens, para as avaliações, foram realizadas da seguinte forma: duas no Brasil, nos tempos 0 e 3 meses; e duas nos Estados Unidos, aos 6 e 14 meses.

### **Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, em esquema fatorial 8x4, correspondendo a oito embalagens e quatro tempos de armazenamento (0, 3, 6, e 14).

### **Monitoramento da temperatura e umidade relativa**

A temperatura e a umidade relativa do ambiente de armazenamento foram registradas, por meio de sensores fixados, na parte externa das embalagens. Além disso, a temperatura e umidade relativa do ar intergranular foram registradas, por meio de sensores colocados, no interior das embalagens.

### **Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens**

A concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens, foi medida no momento da coleta das amostras, por meio de analisador de gases marca UEI, modelo C20. Os resultados foram expressos em porcentagem de CO<sub>2</sub>.

### **Avaliações**

#### **Determinação do teor de água**

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado pelo método de estufa, a 105±1°C, por 16±0,5 horas, conforme o método padrão da ISO 6673

(INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2003).

### **Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada por 6 juízes Certificados pela SCAA com a utilização do protocolo da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011), para avaliação sensorial de cafés especiais. Nesta metodologia, há a atribuição de notas para fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, sabor residual, doçura, uniformidade, xícara limpa, balanço e impressão global.

A torra, moderadamente leve, foi realizada em 100g de grãos de café peneira 16 acima, monitorando-se a temperatura para que o tempo de torração não fosse inferior a 8 minutos ou superior a 12 minutos. Para padronizar a torra, em todos os tempos, evitando que ela influenciasse a avaliação dos juízes, armazenou-se um padrão de torra da primeira época que era recorrido, durante a torra, em cada época de avaliação. Todas as amostras foram torradas com antecedência mínima de 12 horas à degustação. A torração foi calibrada e monitorada com o aparelho Agtron para o padrão #63 para o café torrado e moído.

Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

No tempo zero de armazenamento, amostras torradas dos melhores cafés foram acondicionadas em tubos falcons e armazenadas em *deep freezer* (-80 °C). Nestas condições, o café tem seu metabolismo reduzido e as alterações no sabor e aroma são mínimos. Essas amostras foram degustadas, nos momentos das avaliações seguintes, para que os degustadores resgatassem a experiência sensorial das degustações, referentes ao período inicial de armazenamento.

**Massa específica**

A massa específica aparente foi obtida, utilizando-se uma balança de peso hectolitro, com capacidade de um litro. O resultado foi expresso em kg.m<sup>3</sup>.

**Cor**

A coloração dos grãos crus de café foi determinada pelo colorímetro Minolta® modelo CR 310 (iluminante C e ângulo 10°), medindo os parâmetros L (luminosidade), a e b (coordenadas de cromaticidade). O equipamento foi, previamente calibrado, antes das determinações. Amostras foram colocadas, em placas de Petri e realizaram-se cinco leituras, nos quatro pontos cardeais e uma no ponto central da placa, para cada repetição.

**Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada por metodologia adaptada por Malta, Pereira e Chagas (2005). Foram utilizados 50 grãos de cada amostra, pesados com precisão de 0,001g e imersos em 75 ml de água destilada, no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Os recipientes permaneceram em estufa regulada a 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição, em aparelho Digimed CD-20. Com os dados obtidos, foi calculada a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de grãos.

**Perfil de açúcares**

Para a extração de açúcares, 100 mg das amostras de café cru moído e desengordurado, contidos em tubos de microcentrífuga de 2 mL, foram suspensas em 1,0 mL de água ultrapura 18,2 M $\Omega$  (tampão fosfato pH 7,0). Os

tubos foram colocados em um banho ultrassônico aquecido a 60 °C, por 15 minutos. Uma alíquota de 500 µl do extrato foi transferida para outro tubo de microcentrífuga de 1,5 ml e, logo após, foi centrifugada por 5 minutos, a 5.500 rpm. O sobrenadante foi diretamente injetado no cromatógrafo a líquido do Laboratório de Cromatografia no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Para a curva de calibração, uma solução estoque, contendo 60,0 mg de sacarose (Sigma  $\geq$  99%) foi preparada em 5 mL de água. As soluções padrões diluídas (10% a 100% da solução estoque) foram utilizadas para a construção da curva de calibração.

As concentrações dos açúcares foram determinadas utilizando-se CLAE. O cromatógrafo a líquido utilizado consistiu de uma bomba ProStar (Varian), detector por índice de refração RID-410 (Waters), válvula de injeção Rheodyne e sistema de aquisição de dados PC/Chrom (S&A Scientific). As amostras e as soluções padrões foram analisadas em coluna Dextropak 100 mm x 8 mm (Waters), inserida em um sistema de compressão radial RCM-100 (Waters), tendo filtro de linha (0,22 µm) e pré-coluna C18 (50 x 4,6 mm) em série. A fase móvel utilizada foi água Milli-Q em temperatura ambiente e fluxo de 1,0 mL.min<sup>-1</sup>. O volume de injeção foi de 20 µL.

O resultado foi definido pela relação entre a área do pico dos açúcares da amostra com a do respectivo padrão de concentração conhecida. O teor final dos açúcares foi dado em porcentagem de matéria seca (% ms).

### **Metodologia estatística**

Tendo como hipótese que as embalagens apresentam um efeito relacionado à dependência temporal, observado pelas medidas repetidas ao longo do tempo, utilizou-se o método de estimação de equações generalizadas proposto por Liang e Zeger (1986). Nesse contexto, a relação entre a média das variáveis respostas e as variáveis explicativas (fatores e suas interações) foram

descritas por um preditor linear, utilizando a função de ligação  $g()$ , dada pela identidade. Conforme apresentado na expressão (1)

$$g(\mu_i) = X_i^t \beta \quad ; \quad i=1, \dots, n, \text{ sendo} \quad (1)$$

$n$  o número total de embalagens e  $X_i$  o delineamento fatorial assumido para  $i$ -ésima embalagem e  $\beta$  o vetor de parâmetros a ser estimado. Dada essas especificações, as estimativas dos parâmetros foram obtidas por meio da solução do sistema definido por

$$U_k(\beta) = \sum_{i=1}^n D_i V_i^{-1} S_i = 0 \text{ em que,} \quad (2)$$

$$D_i = \frac{\partial \mu_i}{\partial \beta_k} \quad ; \quad S_i = y_i - \mu_i \text{ e } k=1, \dots, p.$$

A expressão da matriz de covariância  $V_i$  foi dada pela expressão (3)

$$V_i = \frac{A_i^{1/2} R_{i(\alpha)} A_i^{1/2}}{\phi} \text{ sendo,} \quad (3)$$

$A_i$  uma matriz diagonal da ordem  $m_i \times m_i$ , representando o número total de observações na  $i$ -ésima embalagem,  $\phi$  o parâmetro de dispersão estimado pelos resíduos de Pearson e  $R_{i(\alpha)}$  a matriz de correlação de trabalho, fixada pela estrutura autorregressiva de ordem 1, especificada pelas estimativas do vetor de parâmetros  $\alpha$ , comum a todas embalagens, nas quais as observações foram repetidas ao longo do tempo. Desta forma, essa estrutura foi descrita em (4).

$$R_{i(\alpha)} = \begin{bmatrix} 1 & \hat{\alpha} & \dots & \hat{\alpha}^t \\ \hat{\alpha} & 1 & \dots & \hat{\alpha}^{t-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\alpha}^t & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

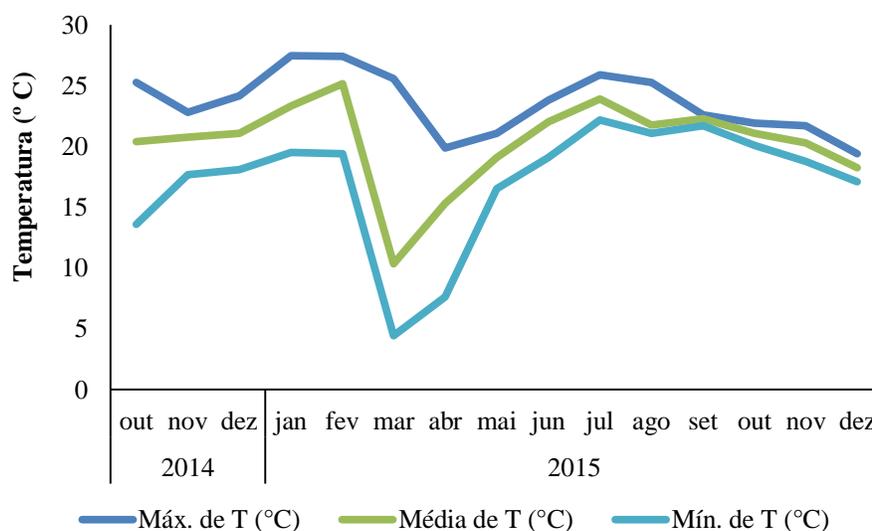
A estimativa de  $\hat{\alpha}$  é dada utilizando o procedimento específico à estrutura AR(1), conforme sugere Liang e Zeger (1986). Desta forma, a correlação temporal da variável resposta  $y_{ij}$ , indicando a  $i$ -ésima embalagem no  $j$ -ésimo tempo, com a resposta obtida no tempo posterior  $y_{i,j+t}$  para  $t=0,2,\dots$  foi incorporada ao modelo, fornecendo as médias ajustadas plotadas em função do tempo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Monitoramento da Temperatura e Umidade Relativa

Os valores da temperatura máxima, mínima do ambiente de armazenamento, no período de outubro de 2014 a dezembro de 2015, são apresentados, respectivamente, na Figura 1.

Figura 1 - Temperatura do ambiente externo de armazenamento.



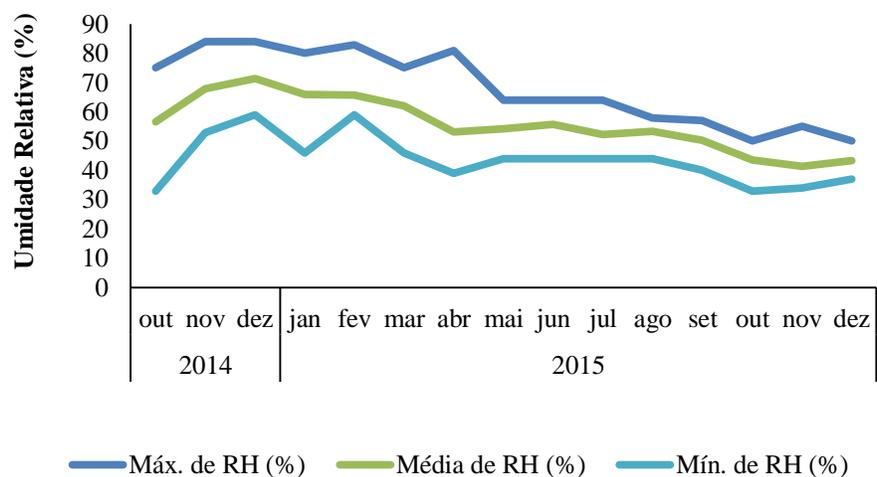
Os cafés permaneceram, no Brasil, no Armazém Internacional, em Poços de Caldas-MG, entre outubro de 2014 a janeiro de 2015, quando foram exportados para Minneapolis, MN, USA. O experimento permaneceu, nos EUA até dezembro de 2015, quando a última coleta de amostras foi realizada. Observa-se que a temperatura externa às embalagens, no interior do container, atingiu valores abaixo de 5°C entre os meses de março a abril quando ocorreu a exportação. Esses valores possuem dois aspectos sendo um positivo e outro negativo. O aspecto positivo refere-se à melhor conservação do café a baixas

temperaturas. No entanto a temperatura externa às embalagens impermeáveis pode atingir o ponto de orvalho, provocando condensação do vapor d'água no interior dessas embalagens.

Após o desembarque nos Estados Unidos, o café foi transportado para o armazém da *Café Imports*. Esse, armazém, possui ambiente controlado com temperatura média de 20 °C (Figura 1), a partir do mês de maio até dezembro de 2015. A temperatura média no período estudado foi de 20°C; a média das máximas foi 24°C; e a média das mínimas de 17°C, representando condições muito favoráveis à manutenção da qualidade do café.

Os valores de umidade relativa máxima, mínima e média do ambiente de armazenamento, no período de outubro de 2014 a dezembro de 2015, são apresentados, respectivamente, na Figura 2.

Figura 2 - Umidade relativa do ambiente externo.



Após a exportação, a umidade relativa do ambiente externo às embalagens variou entre 84% e 33%. A umidade relativa média no período

estudado foi 56%; a média das máximas foi 68%; e das mínimas de 44%. Esses valores favorecem a secagem do café quando armazenado em embalagens permeáveis ao vapor d'água.

Além dos sensores externos, também, monitorou-se a temperatura e umidade relativa do ar intergranular. Os resultados da temperatura e umidade relativa dentro das embalagens são apresentados, respectivamente, nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Temperatura do ar intergranular no interior das embalagens.

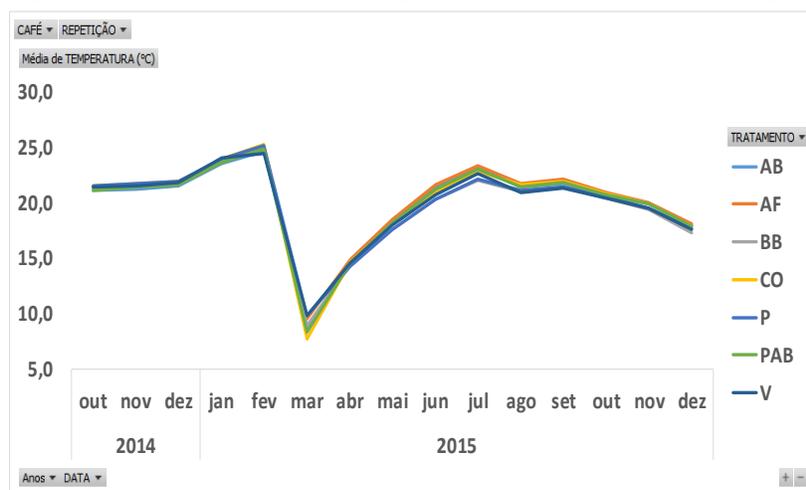
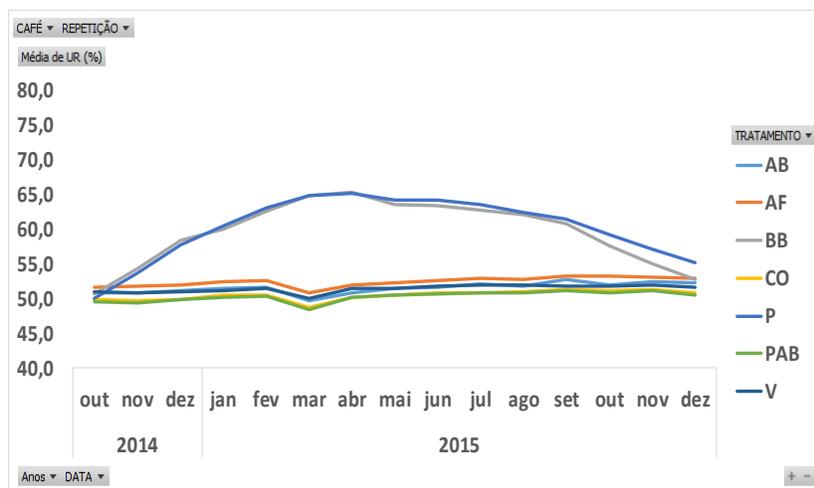


Figura 4 - Umidade relativa do ar intergranular no interior das embalagens.



A temperatura média, no interior das embalagens, manteve-se em equilíbrio com as condições externas durante o tempo de armazenamento.

Já a umidade relativa do ar intergranular, no interior das embalagens, comportou-se de maneira distinta entre os tratamentos. Nos tratamentos com embalagens papel (P) e papel com baixa barreira (BB), a umidade relativa variou entre 50% e 65%, acompanhando as variações do ar atmosférico externo às embalagens. Por outro lado, nos tratamentos com embalagens com alta barreira, a umidade relativa foi mantida estável ao longo do armazenamento.

### 3.1.1 Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens

O resumo da ANAVA, para a concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens com café natural, é apresentado no Quadro 1.

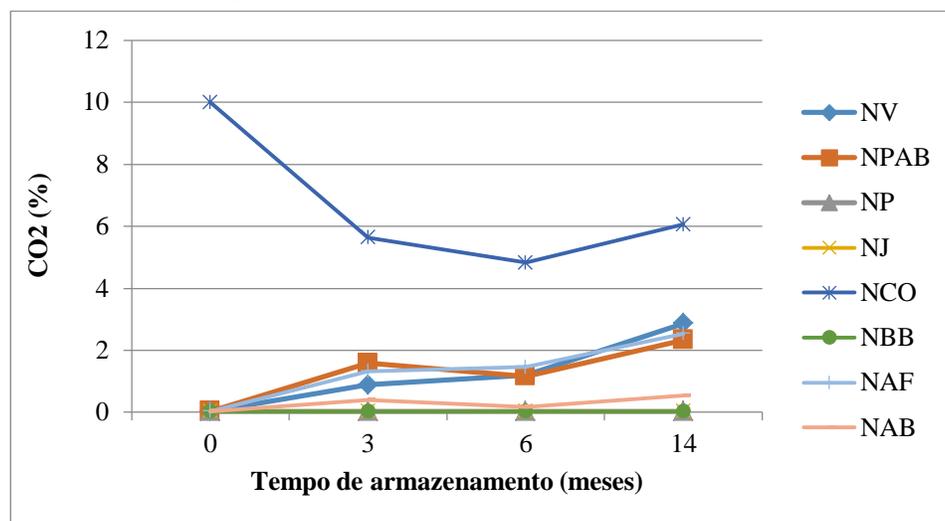
Quadro 1 – Resumo da ANAVA para a concentração de dióxido de carbono dentro das embalagens.

<b>Dióxido de Carbono</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(<W)
NAB	0,1083	0,0997	0,2771
NAF	0,4246	0,2748	0,1223
NBB	0,0303	0,0006	0,0000
NCO	7,7875	1,4451	0,0000
NJ	0,0392	0,0060	0,0000
NP	0,0301	0,0002	0,0000
NPAB	0,4955	0,3787	0,1907
NV	0,0886	0,0806	0,2716
Tempo	0,0281	0,0069	0,0000
NAF:Tempo	0,1304	0,0214	0,0000
NBB:Tempo	-0,0296	0,0069	0,0000
NCO:Tempo	-0,2246	0,1520	0,1396
NJ:Tempo	-0,0283	0,0065	0,0000
NP:Tempo	-0,0285	0,0069	0,0000
NPAB:Tempo	0,1083	0,0252	0,0000
NV:Tempo	0,1718	0,0014	0,0000

Os resultados descritos no Quadro 1 evidenciaram que a embalagem NCO apresentou efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de concentração de  $\text{CO}_2$  no interior das embalagens do café natural são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Concentração de CO<sub>2</sub> no interior das embalagens contendo grãos crus de café processado por via seca.



No tratamento CO, foram observadas as maiores concentrações de CO<sub>2</sub>. Nesse tratamento, foram injetados 10% de CO<sub>2</sub> no início do armazenamento. Observa-se que a concentração inicial decresceu em níveis próximos a 4% após seis meses de armazenamento. A partir deste período, ocorreu aumento do nível de CO<sub>2</sub> até 6% aos doze meses de armazenamento.

Nos demais tratamentos com embalagens descritas como de alta barreira às trocas gasosas, sem injeção de CO<sub>2</sub>, o aumento na concentração do dióxido de carbono foi resultado da respiração dos grãos e da impermeabilidade de embalagem às trocas gasosas. Observa-se que as embalagens PAB, AF e V concentraram mais CO<sub>2</sub> do que as embalagens P, BB, AB e J. Nessas embalagens, os níveis de CO<sub>2</sub> foram constantes e iguais à condição normal do ar atmosférico.

O tratamento AB apresentou concentração de CO<sub>2</sub> mais baixa quando comparado com os demais tratamentos de alta barreira.

### Teor de água

O resumo da ANAVA, para o teor de água (%bu) do café natural, é apresentado no Quadro 2.

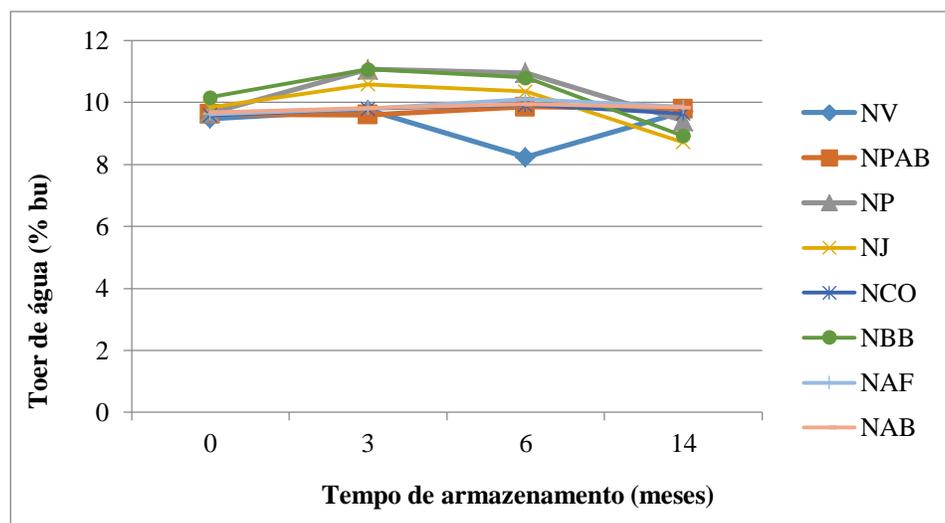
Quadro 2 – Resumo da ANAVA para o teor de água (%bu) do café natural.

<b>Teor de Água</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(< W )
NAB	9,7984	0,0802	0,0000
NAF	9,6937	0,0781	0,0000
NBB	10,7484	0,5683	0,0000
NCO	9,6698	0,0666	0,0000
NJ	10,3248	0,4017	0,0000
NP	10,6228	0,4722	0,0000
NPAB	9,7525	0,0308	0,0000
NV	9,4659	0,1936	0,0000
Tempo	0,0084	0,0085	0,3232
NAF:Tempo	0,0077	0,0039	0,0499
NBB:Tempo	-0,0987	0,0494	0,0457
NCO:Tempo	-0,0056	0,0050	0,2587
NJ:Tempo	-0,1043	0,0326	0,0014
NP:Tempo	-0,0764	0,0423	0,0710
NPAB:Tempo	-0,0128	0,0051	0,0130
NV:Tempo	-0,0057	0,0246	0,8176

Os resultados descritos, por meio do Quadro 2, evidenciaram que as embalagens NCO, NP e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo

Os valores de teor de água do café natural são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Teor de água dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



Observou-se que grãos acondicionados em embalagens sem barreira (P e J) e com baixa barreira (NBB) apresentaram variações, no teor de água, ao longo do armazenamento em resposta às variações na umidade relativa, durante a exportação e em equilíbrio, após armazenamento nos Estados Unidos. Para as demais embalagens, o teor de água permaneceu estável, indicando a efetividade das barreiras ao vapor d'água das embalagens estudadas. Em razão do equilíbrio higroscópico com a condição do armazém, em Minneapolis, o teor de água do café acondicionado em embalagens permeáveis reduziu até atingir valores abaixo de 10% (bu).

### Massa específica

O resumo da ANAVA, para a massa específica do café natural, é apresentado no Quadro 3.

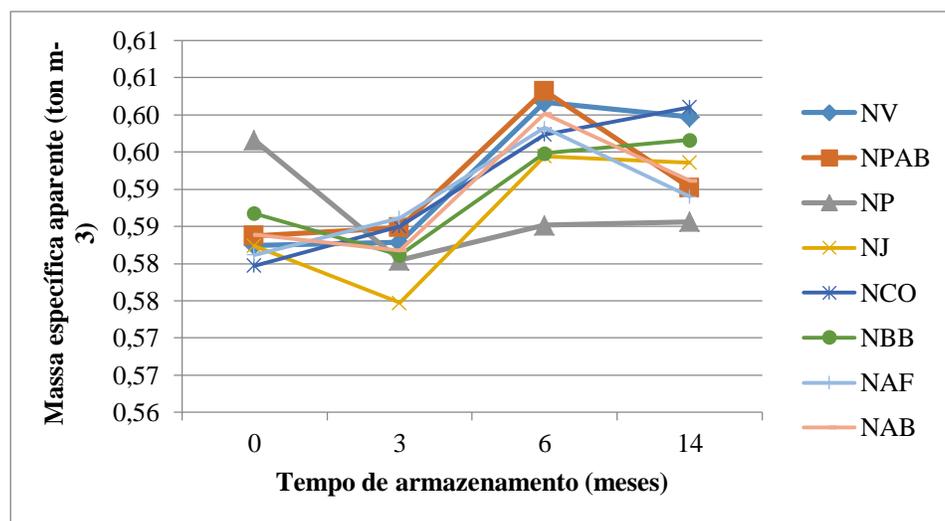
Quadro 3 – Resumo da ANAVA para a massa específica aparente do café natural.

<b>Massa Específica</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(<W)
NAB	0,5858	0,0048	0,0000
NAF	0,5889	0,0042	0,0000
NBB	0,5760	0,0019	0,0000
NCO	0,5809	0,0013	0,0000
NJ	0,5859	0,0064	0,0000
NP	0,5863	0,0059	0,0000
NPAB	0,5798	0,0033	0,0000
NV	0,5881	0,0055	0,0000
Tempo	0,0007	0,0005	0,2185
NAF:Tempo	0,0001	0,0001	0,1751
NBB:Tempo	0,0008	0,0006	0,2031
NCO:Tempo	0,0008	0,0004	0,0305
NJ:Tempo	0,0002	0,0006	0,6783
NP:Tempo	-0,0010	0,0011	0,3368
NPAB:Tempo	0,0002	0,0006	0,6690
NV:Tempo	0,0007	0,0004	0,0758

Os resultados descritos, por meio do Quadro 3, evidenciaram que as embalagens NAF, NBB, NJ, NP, NPAB e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo

Os valores de massa específica do café natural são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Massa específica dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



A massa específica do café manteve-se estável, durante o armazenamento, em todas as embalagens estudadas, incluindo aquelas sem barreira, papel (NP) e juta (NJ). Isso reflete o efeito positivo da baixa temperatura e baixa umidade relativa do ambiente de armazenamento do café (ABREU et al., 2015, 2017; RIGUEIRA et al., 2011).

Ressalta-se que a massa específica aparente do café natural armazenado em embalagens com alta barreira com injeção de CO<sub>2</sub> (NCO) e a vácuo (NV) apresentaram valores, significativamente maiores, ao final do período de armazenamento.

### Condutividade elétrica

O resumo da ANAVA, para a condutividade elétrica dos grãos de café natural, é apresentado no Quadro 4.

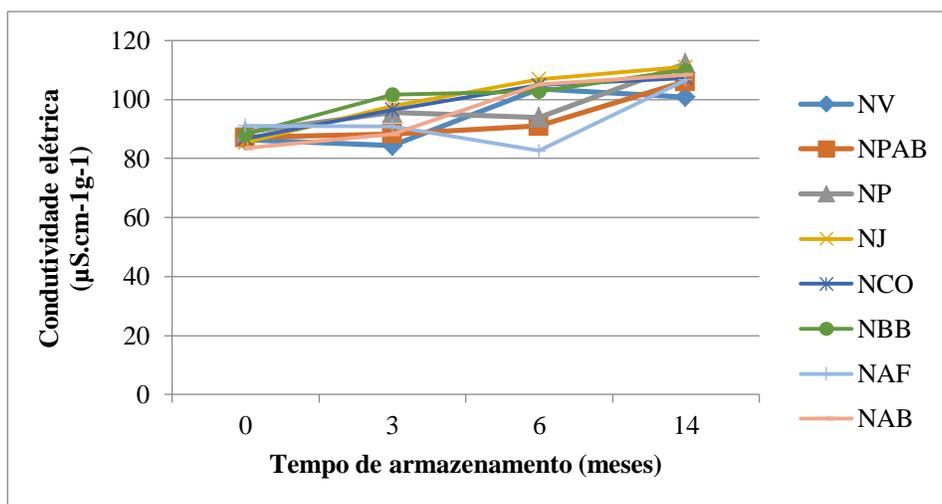
Quadro 4 – Resumo da ANAVA para condutividade elétrica dos grãos de café natural.

<b>Condutividade Elétrica</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(<W)
NAB	85,4047	2,6065	0,0000
NAF	86,4928	3,5686	0,0000
NBB	92,9997	3,1890	0,0000
NCO	90,9677	2,8312	0,0000
NJ	90,7163	3,2617	0,0000
NP	88,7052	1,1445	0,0000
NPAB	85,2147	1,4879	0,0000
NV	86,7207	3,2824	0,0000
Tempo	1,8280	0,2520	0,0000
NAF:Tempo	-0,6725	0,6328	0,2879
NBB:Tempo	-0,4859	0,2437	0,0462
NCO:Tempo	-0,4699	0,1636	0,0041
NJ:Tempo	-0,1573	0,1996	0,4307
NP:Tempo	-0,2079	0,3410	0,5421
NPAB:Tempo	-0,4291	0,4010	0,2846
NV:Tempo	-0,6214	0,1212	0,0000

Os resultados descritos, por meio do Gráfico 4, evidenciaram que as embalagens NAF, NJ, NP e NPAB apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de condutividade elétrica dos grãos crus de café natural são apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Condutividade elétrica dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento



A condutividade elétrica foi crescente durante o armazenamento para todas as embalagens. Ao final de 14 meses de armazenamento do café natural, os valores foram semelhantes em todas as embalagens estudadas.

### Luminosidade

O resumo da ANAVA, para a luminosidade dos grãos de café natural, é apresentado no Quadro 5.

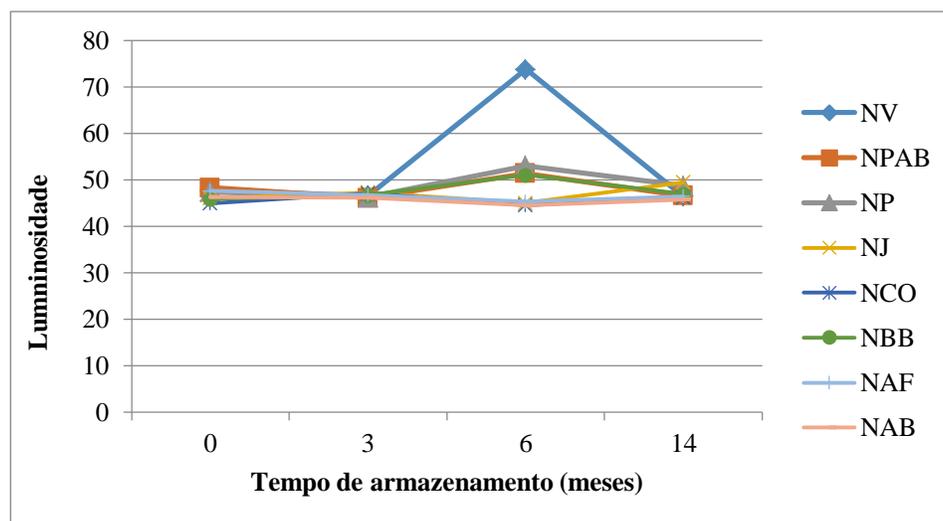
Quadro 5 – Resumo da ANAVA para luminosidade dos grãos de café natural.

<b>Luminosidade</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(< W )
NAB	45,9440	0,3990	0,0000
NAF	46,7244	0,6870	0,0000
NBB	47,2419	1,1593	0,0000
NCO	45,4563	0,7067	0,0000
NJ	45,7578	0,5713	0,0000
NP	48,0355	1,3811	0,0000
NPAB	48,4876	1,1719	0,0000
NV	53,8439	6,7007	0,0000
Tempo	-0,0418	0,0407	0,3044
NAF:Tempo	-0,0328	0,0360	0,3626
NBB:Tempo	0,1105	0,1637	0,4999
NCO:Tempo	0,0872	0,0605	0,1498
NJ:Tempo	0,2730	0,0161	0,0000
NP:Tempo	0,1886	0,1567	0,2288
NPAB:Tempo	-0,0226	0,1275	0,8590
NV:Tempo	0,0303	0,7054	0,9658

Os resultados descritos, por meio do Quadro 5, evidenciaram que todas as embalagens, menos a NJ, apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os valores de Luminosidade do café natural são apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Luminosidade dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



Os valores observados, para a coordenada L, permaneceram estáveis, durante o armazenamento, em todas as embalagens estudadas. Alterações na cor são fortes indícios da ocorrência de processos oxidativos e transformações bioquímicas enzimáticas que alteram a composição dos precursores responsáveis pelo sabor e aroma da bebida, resultando em redução da qualidade (ABREU et al., 2015; BORÉM et al., 2013; ISQUIERDO et al., 2011; NOBRE, 2005; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2014; RIBEIRO; BORÉM; GIOMO, 2011).

### **Análise sensorial**

O resumo da ANAVA, para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural, é apresentado no Quadro 6.

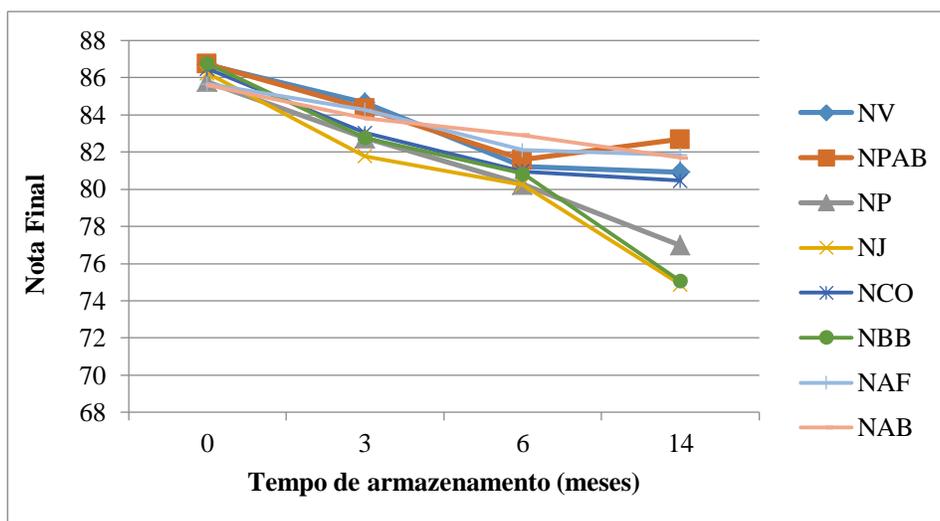
Quadro 6 – Resumo da ANAVA para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural.

<b>Análise Sensorial</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(< W )
NAB	85,0647	0,4617	0,0000
NAF	85,3322	0,3713	0,0000
NBB	86,3577	0,8389	0,0000
NCO	84,5888	0,8584	0,0000
NJ	84,9464	1,1300	0,0000
NP	85,0819	0,4350	0,0000
NPAB	85,1125	1,4317	0,0000
NV	85,2690	1,3412	0,0000
Tempo	-0,2020	0,0353	0,0000
NAF:Tempo	-0,1992	0,0454	0,0000
NBB:Tempo	-0,8141	0,0496	0,0000
NCO:Tempo	-0,1127	0,0637	0,0771
NJ:Tempo	-0,3396	0,0898	0,0002
NP:Tempo	-0,5191	0,0459	0,0000
NPAB:Tempo	-0,1064	0,1099	0,3333
NV:Tempo	0,0388	0,1320	0,7688

Os resultados descritos, por meio do Quadro 6, evidenciaram que as embalagens NCO, NPAB e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo

Os valores obtidos, com base nas análises sensoriais do café natural, são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Resultados da análise sensorial dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



Grãos crus de café acondicionados em embalagens sem barreira (NP e NJ) e com baixa barreira (NBB) apresentaram maior redução da qualidade sensorial ao final de 14 meses de armazenamento. Nesses tratamentos, as notas obtidas foram abaixo dos 80 pontos e, por isso, os cafés deixam de pertencer à categoria dos especiais. Resultados, também, encontrados em outros trabalhos (BORÉM et al., 2008, 2013; CORADI; BORÉM, 2009; GODINHO et al., 2000; ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO; BORÉM; GIOMO, 2011), enfatizando que essas embalagens não são adequadas para o armazenamento e exportação de cafés especiais.

Os resultados encontrados demonstram que embalagens sem barreira, como o tradicional saco de juta, não são adequados, para o armazenamento de cafés especiais, corroborando com outros trabalhos (ABREU et al., 2015; BORÉM et al., 2013; CORADI; BORÉM, 2009; GODINHO et al., 2000;

ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE et al., 2007; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

Em contrapartida, os grãos crus armazenados em embalagens com alta barreira permaneceram na categoria de especiais e tiveram comportamento similar aos grãos armazenados a vácuo. Esse resultado indica que as tecnologias, para o acondicionamento dos grãos crus de cafés com alta barreira, são recomendadas para o armazenamento e exportação de cafés especiais e oferecem a mesma proteção que embalagens a vácuo.

### Açúcares

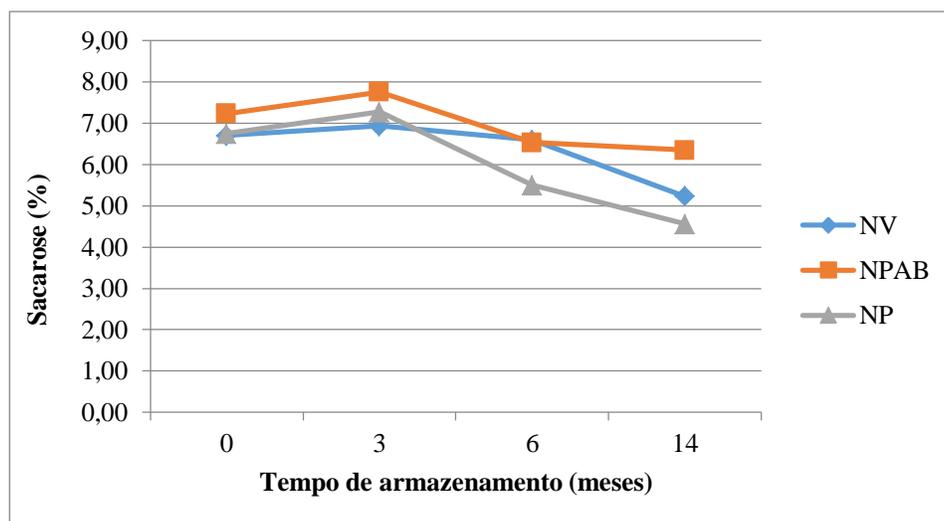
O resumo da ANAVA, para o teor de sacarose (%) dos grãos de café natural, é apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Resumo da ANAVA para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural.

<b>Sacarose</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(< W )
NP	7,4137	0,3865	0,0000
NPAB	7,4662	0,1925	0,0000
NV	6,7337	0,3123	0,0000
Tempo	-0,2056	0,0263	0,0000
NPAB:Tempo	0,1112	0,0195	0,0000
NV:Tempo	0,1164	0,0304	0,0001

Os teores de sacarose do café natural são apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Teor de sacarose dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



O teor de sacarose dos grãos crus de café acondicionados em todas as embalagens reduziu durante o armazenamento. Após 14 meses, o café natural armazenado em embalagem sem barreira (NP) apresentou maior redução do conteúdo de sacarose. A sacarose foi hidrolisada, indicando maior deterioração dos grãos acondicionados nesse tipo de embalagem como observado na análise sensorial.

O resumo da ANAVA, para o teor de glicose (%) dos grãos de café natural, é apresentado no Quadro 8.

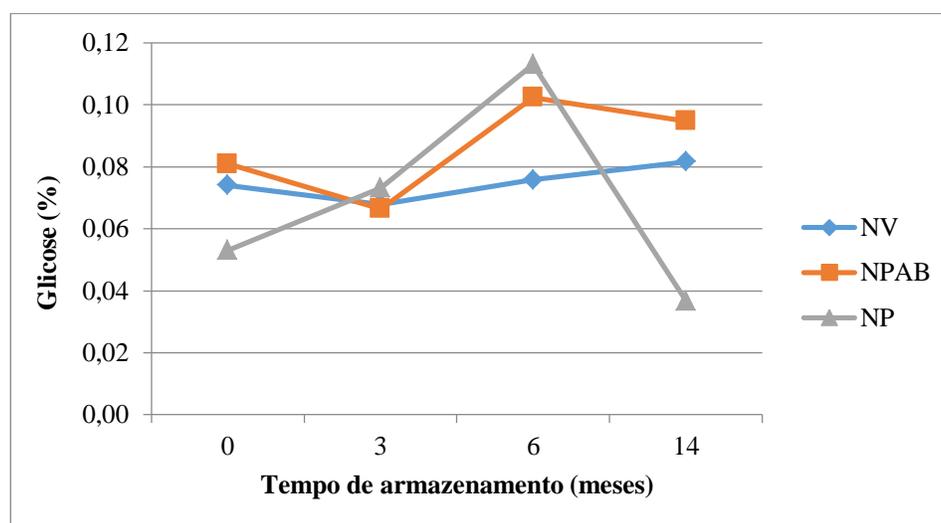
Quadro 8 – Resumo da ANAVA para a nota final da análise sensorial dos grãos de café natural.

Glicose			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(<W)
NP	0,0752	0,0154	0,0000
NPAB	0,0824	0,0061	0,0000
NV	0,0680	0,0017	0,0000
Tempo	-0,0017	0,0017	0,2975
NPAB:Tempo	0,0027	0,0015	0,0655
NV:Tempo	0,0030	0,0015	0,0435

Os resultados descritos, por meio do Quadro 8, evidenciaram que as embalagens NPAB e NV apresentaram efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

Os teores de glicose do café natural são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Teor de glicose dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



O resumo da ANAVA, para o teor de frutose (%) dos grãos de café natural, é apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Resumo da ANAVA para o teor de frutose dos grãos de café natural.

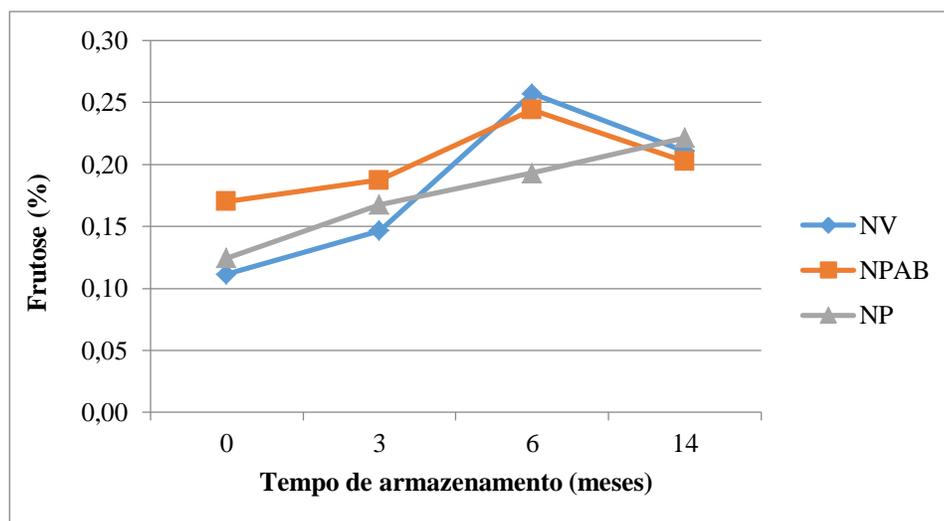
<b>Frutose</b>			
Fonte	Estimativa	Erro padrão	Pr(< W )
NP	0,1174	0,0092	0,0000
NPAB	0,2011	0,0192	0,0000
NV	0,1492	0,0250	0,0000
Tempo	0,0089	0,0010	0,0000
NPAB:Tempo	-0,0083	0,0010	0,0000
NV:Tempo	-0,0017	0,0018	0,3502

Os resultados descritos, por meio do Quadro 9, evidenciaram que a embalagem NV apresentou efeito de interação com o tempo não significativa ( $P < 0,05$ ). Tal fato sugere que as estimativas desses parâmetros apresentam pouca influência no poder preditivo do modelo.

A embalagem a vácuo (NV) garantiu melhor manutenção da porcentagem de glicose ao longo do armazenamento. Grãos acondicionados em embalagens com alta barreira (NPAB) tiveram o seu conteúdo de glicose aumentado, discretamente, ao longo do armazenamento. Entretanto grãos acondicionados em sacos de juta (NJ) tiveram um rápido aumento no conteúdo desse açúcar, seguido de drástica queda, indicando uma rápida hidrólise da sacarose em glicose seguida pelo consumo quase que total da glicose.

Os teores de frutose do café natural são apresentados nas Figuras 13.

Figura 13 - Teor de frutose dos grãos crus de café processado por via seca e acondicionado em diferentes embalagens ao longo de 14 meses de armazenamento.



O conteúdo de frutose dos grãos de café acondicionados nas três embalagens aumentou durante o armazenamento. Estes resultados estão coerentes com a porcentagem de sacarose que reduziu, ao longo do armazenamento nas três embalagens, pois foi hidrolisada a açúcares de baixo peso molecular (glicose e frutose).

#### **4 CONCLUSÃO**

Embalagens sem barreira e com baixa barreira não são adequadas para acondicionar e exportar cafés especiais.

Grãos acondicionados em embalagens com alta barreira preservam sua qualidade por longos períodos de tempo e são recomendadas para a exportação de cafés especiais.

Cafés especiais acondicionados em embalagens sem barreira ou com baixa barreira não são mais classificados como especiais após seis meses de armazenamento.

Cafés especiais acondicionados, em embalagens com alta barreira, a vácuo ou com a injeção de dióxido de carbono são classificados como especiais aos 14 meses de armazenamento. Embalagens com alta barreira oferecem a mesma proteção aos grãos que embalagens a vácuo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, G. F. et al. Alterações na coloração de grãos de café submetidos a diferentes métodos de processamento e armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 429-436, 2015.
- ABREU, G. F. et al. Simultaneous optimization of coffee quality variables during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 1, p. 56-60, jan. 2017.
- BORÉM, F. M. et al. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1724-1729, nov./dez. 2008.
- BORÉM, F. M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 52, p. 1-6, Jan. 2013.
- CORADI, P. C.; BORÉM, F. M. Alterações dos parâmetros físico químicos na qualidade de bebida do café natural e despulpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 11, p. 54-63, 2009. Edição especial café.
- GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição especial.
- HARRIS, R. L.; MILLER, A. Storing & preserving green coffee: part 2. **Roast Magazine**, New York, p. 31-38, July/Aug. 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee**: determination of loss mass at 105°C: ISO 6673:2003. New York, 2003. 4 p.
- ISMAIL, I.; ANUAR, M. S.; SHAMSUDIN, R. Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 20, n. 1, p. 255-264, 2013.
- ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, jan./abr. 2011.

LIANG, K. Y.; ZEGER, S. L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. **Biometrika**, London, v. 73, n. 1, p. 13-22, 1986.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7<sup>th</sup> ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MALTA, M. R.; PEREIRA, G. F. A.; CHAGAS, S. J. R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudado de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 5, p. 1015-1020, 2005.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, London, v. 147, p. 279-286, Mar. 2014.

RIBEIRO, F. C. **Métodos alternativos para armazenamento de cafés especiais**. 2013. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

RIBEIRO, F. C.; BORÉM, F. M.; GIOMO, G. S. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 47, n. 4, p. 341-348, Oct. 2011.

RIGUEIRA, R. J. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

TRUBEY, R.; RAUDALES, R.; MORALES, A. **Café britt hermetic cocoon storage trial II report**. Beneficio Pataliyo: Mesoamerican Development Institute Corp, 2005. 14 p.

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. de. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição especial.