

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR EM TECNOLOGIA EM ALIMENTOS**

**GISELE NOVOSSAD
THAÍS SAUKOSKI PAUZER**

**ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE CAFÉ TORRADO E MOÍDO EM
EMBALAGEM PILLOW-PACK (ALMOFADAS)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2014**

**GISELE NOVOSSAD
THAÍS SAUKOSKI PAUZER**

**ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE CAFÉ TORRADO E MOÍDO EM
EMBALAGEM PILLOW-PACK (ALMOFADAS)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR, como pré-requisito para a obtenção do título de Tecnólogo.

Orientadora: Prof. Dr^a. Denise Milléo Almeida

**PONTA GROSSA
2014**

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE CAFÉ TORRADO E MOÍDO EM EMBALAGEM PILLOW-PACK (ALMOFADAS)

por

**GISELE NOVOSSAD
THAÍS SAUKOSKI PAUZER**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado(a) em nove de dezembro de dois mil e quatorze como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos em Tecnologia em alimentos. As candidatas foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a Dr^a Denise Milléo Almeida

Orientador(a)

Prof^a Dr^a Giovana de Arruda Moura Pietrowski

Membro titular

Prof. Dr. José Luís Ferreira da Trindade

Membro titular

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, nosso bem maior, nada seria possível sem Ele.

A nossa Prof^a Dr^a Denise Milléo por toda a paciência para nos auxiliar nas inúmeras dificuldades, pela orientação e dedicação que teve para com o nosso trabalho.

Aos nossos amigos que de alguma forma nos ajudaram, sendo com incentivos ou mesmo auxiliando, quando necessário, em nosso trabalho.

A nossa gratidão, em especial, a nossa amiga Jéssica Romanoski, pela coragem, dedicação e amizade.

As nossas famílias por todo amor, carinho, compreensão e apoio, sem eles nada teria sentido, nossas bases.

A UTFPR, pela estrutura que nos forneceu para a realização e concretização da nossa pesquisa, por ter nos proporcionado tantos momentos felizes que estarão pra sempre em nossa memória.

Resumo

NOVOSSAD, Gisele. PAUZER, Thaís S. **Estimativa da Vida Útil de Café Torrado e Moído em Embalagem “Pillow-Pack” (Almofadas)**. 2014. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Entre as maiores perdas de qualidade de café torrado e moído está o aumento de umidade, o que resultará em aglomeração do produto quando se atingir níveis de 5%. Considerando esse aspecto, o objetivo deste trabalho foi estimar a vida útil de cafés torrado e moído acondicionados em embalagens tipo *pillow-pack* (almofadas), assumindo a umidade como principal fator de perda de qualidade. Foram analisadas três marcas de cafés torrados e moídos (A, B e C), em que a vida útil do café foi avaliada pela granulometria, umidade inicial, vida útil do café sem embalagem, considerando as temperaturas de estocagem, distribuição e comercialização em relação à umidade e a isoterma de sorção de umidade por modelo matemático de GAB. Foram caracterizados a TPVA e PVA da embalagem e a vida útil do café torrado e moído associada a embalagem. A maior vida útil do café sem embalagem foi observada pela marca B (11,7 dias), seguido das marcas C (9,7 dias) e A (8,7 dias). A Isoterma de sorção mostrou que o café da marca A apresentava maior capacidade de absorção de umidade, confirmado pela menor granulometria dessa marca. O ponto crítico de umidade para as três marcas de cafés foi observado em atividade de água a partir de 0,75. A embalagem da marca A apresentou maior TPVA e PVA, influenciada pelo tipo de material da embalagem (PETmetPEBD) e as menores pela marca B. O café torrado e moído da marca B apresentou a maior estimativa de vida útil associada da embalagem, em 198,5 e 197,5 dias sob as temperaturas de 20°C e 25°C, respectivamente. No entanto, considerando apenas a umidade, as três marcas apresentaram estimativa de vida útil maior que a estipulada pela indústria.

Palavras-chaves: umidade, isoterma de sorção, TPVA, PVA, granulometria.

Abstract

NOVOSSAD, Gisele. PAUZER, Thaís S. **Estimated Coffee Life Roasted and Ground in Pillow-Pack Packaging (pads)**. 2014. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Among the major quality losses of the roast and ground coffee is increased humidity, which results in agglomeration of the product when it reaches level of 5%. Considering this aspect, the objective of this study was to estimate the useful life of roasted and ground coffee packaged in pillow-pack packaging (pads), assuming moisture as the factor of loss of principal quality. Three marks were analyzed roast and ground coffee (A, B and C), where the life of roasted and ground coffee was evaluated by grain size, initial moisture content, life packing coffee without considering the storage temperature distribution and marketing in relative humidity and moisture absorption isotherm for the mathematical model of GAB. Were characterized and PVA WVTR of the package and the life of roasted and ground coffee combined with the package. The longer life without coffee pack of brand B was observed (11.7 days), followed by the marks C (\pm 9.7 days) and A (8.7 days). Moisture sorption isotherm showed that coffee brand A has higher moisture absorption capacity, confirmed by the finer particles that mark. The critical point of moisture for the three brands of coffee was observed in water activity of 0.75. The packaging of brand A showed higher WVTR and PVA, influenced by the type of packaging material (PETmetPEBD) and the lowest in the brand B. The roast and ground coffee brand B had the highest estimated life of the associated packaging, in 198, 5 and 197.5 days at 20 ° C and 25 ° C respectively. However, considering only the moisture of the three brands were more life than stipulated by the industry.

Keywords: Humidity, sorption isotherm, WVTR, PVA, grain size.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1	AMOSTRAS DE CAFÉS.....	11
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO CAFÉ.....	11
2.2.1	Determinação da distribuição granulométrica.....	11
2.2.2	Umidade inicial (U ₀).....	11
2.2.3	Vida útil do café sem a embalagem.....	11
2.2.4	Isoterma de sorção de umidade.....	13
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA EMBALAGEM.....	14
2.4	DETERMINAÇÃO DA VIDA DA VIDA ÚTIL COM BASE NO GANHO DE UMIDADE DO PRODUTO/EMBALAGEM.....	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
3.1	GRANULOMETRIA DO CAFÉ.....	16
3.2	UMIDADE INICIAL E A VIDA ÚTIL DO CAFÉ.....	17
3.3	ISOTERMA DE SORÇÃO DE UMIDADE.....	20
3.4	TAXA DE PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA.....	24
3.5	ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO CAFÉ TORRADO E MOÍDO ASSOCIADO A EMBALAGEM.....	25
4	CONCLUSÃO.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L.) por ser um produto natural com sabor e aroma característicos é uma das bebidas mais consumida em diversos países do mundo e sua aceitabilidade, comercialização e valorização no mercado estão associadas a parâmetros qualitativos (SILVA et al., 2009). Devido à grande concorrência mundial, o café brasileiro vem se adequando às exigências do mercado consumidor e, com isso, diversas técnicas estão sendo utilizadas para a análise de qualidade do café (GONZALEZ, 2004).

O café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, no qual já se encontram descritas mais de 90 espécies. Destas, cerca de 25 são exploradas comercialmente e apenas quatro têm importância significativa no mercado mundial, como a *Coffea arabica* conhecida como café arábica, *Coffea canephora* conhecido como café robusta, e em menor volume a *Coffea Liberica* e *Coffea dewevrei*, que produzem os cafés libérica e excelsa, respectivamente. Outras espécies de café que merecem destaque pelo fato de serem cultivadas em seus locais de origem e, principalmente, por serem fontes importantes de genes para o melhoramento genético são as *Coffea bengalensis* Heyne ex Willd, *Coffea eugenioides* S. Moore, *Coffea Stenophylla* G. Don; *Coffea racemosa* Lour, *Coffea congensis* Froenh, *Coffea Zanguebariae* Lour, *Coffea abeokutoe* e ainda as espécies da subseção Mascharocoffea, dos cafés descafeinados (CHARRIER, 1978).

A qualidade do café embalado, disponível para o consumo, depende da qualidade da matéria-prima, do processamento e secagem, tipo de embalagem utilizada, distribuição, armazenamento e da comercialização (BORÉM, 2008).

Segundo Fernandes et al. (2006) a instabilidade do café torrado e moído durante o armazenamento se manifesta por meio da perda de sabor e aroma típicos do café, devido, em parte, à oxidação de componentes de natureza lipídica, modificações na acidez e degradação de alguns componentes.

As embalagens são utilizadas para armazenar o produto e, principalmente, para manter as características do produto. Para o café as mais utilizadas são as embalagens à vácuo e do tipo almofadas, porém o café tem um tempo relativamente curto de vida de prateleira em embalagens do tipo pillow-pack revestidas com alumínio (HOFFMANN, 2001).

O mercado utiliza como material de embalagem para cafés a estrutura laminada composta de PET/impressão/metalização/ PEBD, sendo denominada embalagem almofada. Neste sistema, a vida-útil do café torrado e moído descrita na literatura é cerca de 10 a 20

dias, enquanto, o mercado brasileiro declara validade de 90 dias (ALVES et al., 2003).

Dentre os principais fatores de perda de qualidade do café a umidade é a principal causa, portanto, a embalagem deve garantir que não haja saída e nem entrada de umidade, pois as características devem ser mantidas até seu prazo de validade, de acordo com o que consta em cada marca de café. Alguns autores apontam a granulometria na moagem, como sendo um fator que pode influenciar na umidade, pois o tamanho das partículas pode estar relacionado diretamente na sorção de água (GAVA et al, 2008).

Segundo Moraes e Trugo (2001), para o café a granulometria é definida industrialmente como grossa, média e fina, sem, no entanto, associar as características do processo com a composição química e a qualidade do produto final, sendo o processo de infusão responsável por definir as características da moagem dos grãos de café.

Ao considerar o ganho de umidade como principal causa de perda de qualidade do café, o período de vida útil em uma determinada embalagem depende do nível de proteção oferecido pelo material da embalagem. Este pode ser definido por meio de modelo matemático, onde a vida útil pode ser estimada, desde que seja assumido que esta depende somente do conteúdo de umidade do produto (ALVES; BORDIN, 1998).

Como o consumidor está mais exigente quanto a qualidade dos produtos alimentícios, estes requerem informações precisas sobre a vida útil do café torrado e moído com e sem embalagem, já que após a compra a maioria das pessoas não mantém o café na embalagem original. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estimar a vida de prateleira de cafés torrado e moído acondicionados em embalagens tipo *pillow-pack*, assumindo a umidade como principal fator de perda de qualidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS DE CAFÉS

Foram analisadas três marcas de café torrado e moído acondicionadas em embalagem tipo *pillow-pack* (almofadas), denominadas como A, B e C, adquiridas recém-produzidas por suas empresas na região dos Campos Gerais no estado do Paraná.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CAFÉ

2.2.1 Determinação da distribuição granulométrica

A determinação da granulometria dos cafés torrado e moído foi realizada baseado na porcentagem de retenção, utilizando peneiras granulométricas, classificação ASTM – E11/81, com diâmetro 203 mm por 50 mm de altura, em N°80 (180 μ m) e fundo (ASTM, 1997).

2.2.2 Umidade inicial (U_0)

A umidade inicial do café foi determinada em estufa a 105°C \pm 1°C até massa constante, quantificada em balança analítica, com resolução 0,0001g. O resultado foi expresso em porcentagem de umidade em base seca (% b.s.).

2.2.3 Vida útil do café sem embalagem

O tempo de vida útil das amostras foi estimado utilizando metodologia para testes normais, segundo MOURA e GERMER (2004). O fator estabelecido como limitante para a avaliação foi à umidade total, que segundo a ANVISA - RDC n°. 277 de 22 de setembro de 2005 e Instrução Normativa n° 16 de 24 de maio de 2010, o café torrado deve ter no máximo 5,0% (g 100g⁻¹) de umidade.

Para determinar a vida útil às amostras sem embalagem foram mantidas em umidade relativa de 80% proporcionada com solução saturada de cloreto de sódio, simulando

as temperaturas próximas das condições de estocagem, comercialização e distribuição a 20, 25 e 30°C, respectivamente, durante 84 dias, onde a umidade total foi analisada a cada 14 dias.

A vida útil do café foi estabelecida considerando a influência da umidade total para a perda de qualidade, nas etapas de estocagem, distribuição e comercialização, segundo as equações 1, 2, 3 e 4.

$$\text{Estocagem} = \frac{VU_{\text{estocagem}}}{t_{\text{total armazenamento}}} \times TD_{\text{estocagem}} \quad (1)$$

$$\text{Distribuição} = \left(\frac{t_{\text{médio distribuição}}}{24} \right) \times TD_{\text{distribuição}} \quad (2)$$

$$\text{Comercialização} = 1 - (\text{Estocagem} + \text{Distribuição}) \quad (3)$$

$$\text{Vida de Prateleira} = \left(\frac{\text{Comercialização}}{TD_{\text{comercialização}}} \right) \quad (4)$$

Onde,

$VU_{\text{estocagem}}$ – vida útil para temperatura de estocagem (dias)

$TD_{\text{estocagem}}$ – taxa de deterioração diária na temperatura de estocagem (dia^{-1})

$t_{\text{total armazenamento}}$ – tempo total de armazenamento do ensaio (dias)

$t_{\text{médio distribuição}}$ – tempo médio de distribuição durante um dia (horas)

$TD_{\text{distribuição}}$ - taxa de deterioração diária na temperatura de distribuição (dia^{-1})

$TD_{\text{comercialização}}$ – taxa de deterioração diária na temperatura de comercialização (dia^{-1})

A taxa de deterioração diária (TD) relaciona a capacidade de perda da característica estudada para cada dia de armazenamento nas condições simuladas e foi obtida conforme a equação 5.

$$TD_{\text{diária}} = \frac{1}{VU} \quad (5)$$

Onde,

VU (vida útil) - tempo necessário para atingir limite mínimo do fator limitante, obtido em gráfico (Figura 1).

2.2.4 Isoterma de sorção de umidade

A isoterma de adsorção foi determinada nas amostras a partir da umidade inicial (U_0) estabelecida. Foram pesados 2 g das amostras e mantidas em frascos herméticos em temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, pelo método estático (Mortola *et al.*, 2003), com umidade relativa (UR) variando entre 5% e 100%, obtidas com diferentes concentrações de solução de ácido sulfúrico P.A. (Ditchfield, 2000) (Tabela 1). As amostras foram mantidas nestas condições por 16 dias até a estabilização da massa constante, obtendo a umidade de equilíbrio por meio da equação 6. O resultado foi expresso em g de água por 100g^{-1} de matéria seca. Os ensaios foram realizados em triplicata.

$$X_{eq} = \frac{meq - ms}{ms} \quad (6)$$

Onde,

X_{eq} = umidade de equilíbrio (base seca) (g de água por 100g^{-1} de matéria seca)

meq = massa da amostra no equilíbrio (g)

ms = massa da amostra seca (g)

Tabela 1. Atividade de água (a_w) em temperatura de 20°C e diferentes concentrações de ácido sulfúrico.

Concentração de H_2SO_4 (%)	Atividade de água (A_w)
	20°C
0	1,000
5	0,980
10	0,955
20	0,879
30	0,749
40	0,562
50	0,355
55	0,258
60	0,167
80	0,053

Os resultados da isoterma foram ajustados matematicamente pelo modelo de GAB (Guggenheim – Anderson – de Boer), segundo equação 7 e para avaliar a qualidade do ajuste foi verificado o coeficiente de determinação (R^2). O modelo de GAB foi escolhido por apresentar os melhores resultados em trabalhos com produtos desidratados (FERREIRA *et al.*, 2003; MOREIRA *et al.*, 2013)

$$X_{eq} = \frac{KCX_m a_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)} \quad (7)$$

Onde,

X_{eq} = umidade de equilíbrio (g de água por 100 g⁻¹ de matéria seca)

K = constante de GAB relacionada à energia de interação das moléculas adsorvidas na multicamada

C = constante de GAB relacionada à energia de interação das moléculas adsorvidas na monocamada

X_m = umidade na monocamada (g de água por 100 g⁻¹ de matéria seca)

A_w = atividade de água (UR/100)

A determinação dos parâmetros do modelo foi realizada por regressão não-linear, com critério de convergência de 0,0001, usando o método Quasi-Newton, por meio do programa Statistica 5.1.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMBALAGEM

A embalagem da marca *A* tinha como material PETmetPEBD e as marcas *B* e *C* era de material PET/Al/PEBD, tipo *pillow-pack* (almofadas). Todas as embalagens foram caracterizadas quanto à taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) e a permeabilidade ao vapor de água (PVA).

A taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) foi determinada por gravimetria pelo método padrão da norma da *American Society for testing and materials-ASTM E96-00* (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002). Os corpos de prova das embalagens apresentaram área de 0,04417 m² e foram aplicados em cápsulas de alumínio contendo 2g de CaCl₂ (anidro), dessecado em estufa a 150°C por 24h, e vedados com silicone. As cápsulas

foram acondicionadas em dessecadores contendo solução saturada de cloreto de sódio (36g 100mL⁻¹). O conjunto foi acondicionado em estufa de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Thelga – Modelo T34P) a 20°C ± 0,5°C, proporcionando umidade relativa de 75%.

A permeabilidade da embalagem foi calculada por meio de regressão linear entre o ganho de peso (g) e o tempo (h) durante o experimento. O coeficiente angular da reta determina a quantidade de água ganha pelo tempo (tg α). A TPVA foi calculada segundo a equação 8 e expressa em g H₂O m⁻² dia⁻¹.

$$TPVA = \frac{tg\alpha}{A} \quad (8)$$

Onde,

$$TPVA = g \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Tg α = coeficiente angular da reta

A = área em (m²)

O resultado da TPVA permite calcular a permeabilidade ao vapor de água (PVA) por meio da equação 9 e, foi expressa em gH₂O mm m⁻² dia⁻¹ mmHg⁻¹.

$$PVA = \frac{100 \cdot TPVA \cdot e}{p \cdot URe} \quad (9)$$

Onde,

$$PVA = g\text{H}_2\text{O mm m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ mmHg}^{-1}$$

e = espessura da embalagem (mm)

p = pressão de vapor de água pura na temperatura de 20°C, expressa em mmHg

UR_e = umidade relativa a 20°C

2.4 DETERMINAÇÃO DA VIDA DA VIDA ÚTIL COM BASE NO GANHO DE UMIDADE DO PRODUTO/EMBALAGEM

Com base na isoterma de sorção de umidade do produto, a taxa de permeabilidade ao vapor de água da embalagem (TPVA) e as condições de estocagem foi estimada, por modelo matemático, a vida útil do café segundo o ganho de umidade (Alves *et. al.*, 1998), conforme equação 10 e os resultados expressos em dias.

$$t = \frac{M_s \cdot U_{Re} / 100}{100 \cdot TPVA} \int_{U_o}^{U_c} \frac{dU}{\frac{U_{Re}}{100} - Aa(U)} \quad (10)$$

Onde,

t = estimativa de tempo de vida útil (dias)

Ms = massa seca do produto (g)

UR_e = umidade relativa do ambiente de estocagem (%)

TPVA = taxa de permeabilidade ao vapor d'água do material (g água/m²/dia)

Aa(U) = atividade de água do produto em função do conteúdo de umidade, que é a isoterma de sorção de umidade do produto

U_o = umidade inicial do produto (% base seca)

U_c = umidade crítica do produto (% base seca)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 GRANULOMETRIA DO CAFÉ

Segundo Schmidt et al. (2008) cafés com granulometria média apresentam predominância de partículas maiores que 200µ e a fina menor que 200µ. Desta forma, a marca A mostrou menor porcentagem de retenção na peneira nº 80, sendo classificada como café com granulometria fina (Tabela 2).

A Tabela 2 mostra que as amostras A, B e C tem granulometria distintas. A amostra C apresentou uma granulometria maior em relação as marcas A e B, pois a retenção das partículas foi de 30,14%, sugerindo café com granulometria maior, indicando menor capacidade de absorção de umidade.

Tabela 2 - Porcentagem de café retido em peneiras com abertura de malha de 180 µm.

Marca de café	Peneira	Abertura da malha (µm)	% de retenção
A	80	180	0,88
	Fundo	-	0,03
B	80	180	9,39
	Fundo	-	0,1
C	80	180	30,14
	Fundo	-	2,15

Segundo Lantz *et. al.* (1990) o tamanho das partículas interfere na sorção de umidade, quanto menor a granulometria maior será a superfície de contato, portanto, mais rápida será absorção de água.

3.2 UMIDADE INICIAL E A VIDA ÚTIL DO CAFÉ

A amostra A apresentou maior umidade inicial (U_0) (Tabela 3), no entanto, todas as marcas de cafés estavam dentro do padrão legal vigente, com máximo de 5% de umidade total para café torrado e moído.

Tabela 3-Teor de umidade inicial do café torrado e moído			
Amostras de cafés			Padrão de Umidade:
	A	B	C
Umidade inicial			
(%)	3,43	2,42	2,55

Resolução nº 277, de 22 de setembro de 2005
do MAPA- Instrução Normativa Nº16, de 24
de maio de 2010: **Máximo de 5,0% (g/100 g)**

A vida útil dos cafés foi obtida pelos gráficos (Figura 1), considerando o máximo de umidade de 5%, conforme legislação vigente, relacionando com os dias em que foi extrapolado esse limite. Durante o período de armazenamento dos cafés o limite da umidade foi ultrapassado na temperatura de 20°C em 24, 39 e 76 dias, em 25 °C ocorreu em 7, 8 e 9 dias e, em 30°C foi em 9, 12 e 10 dias nas amostras A, B e C, respectivamente (Figura 1), o que compromete a estabilidade física, química e biológica do produto. Desse modo, a amostra A mostrou maior susceptibilidade a absorção a água nas três temperaturas, sendo confirmado pela granulometria encontrada nesta marca (Tabela 2).

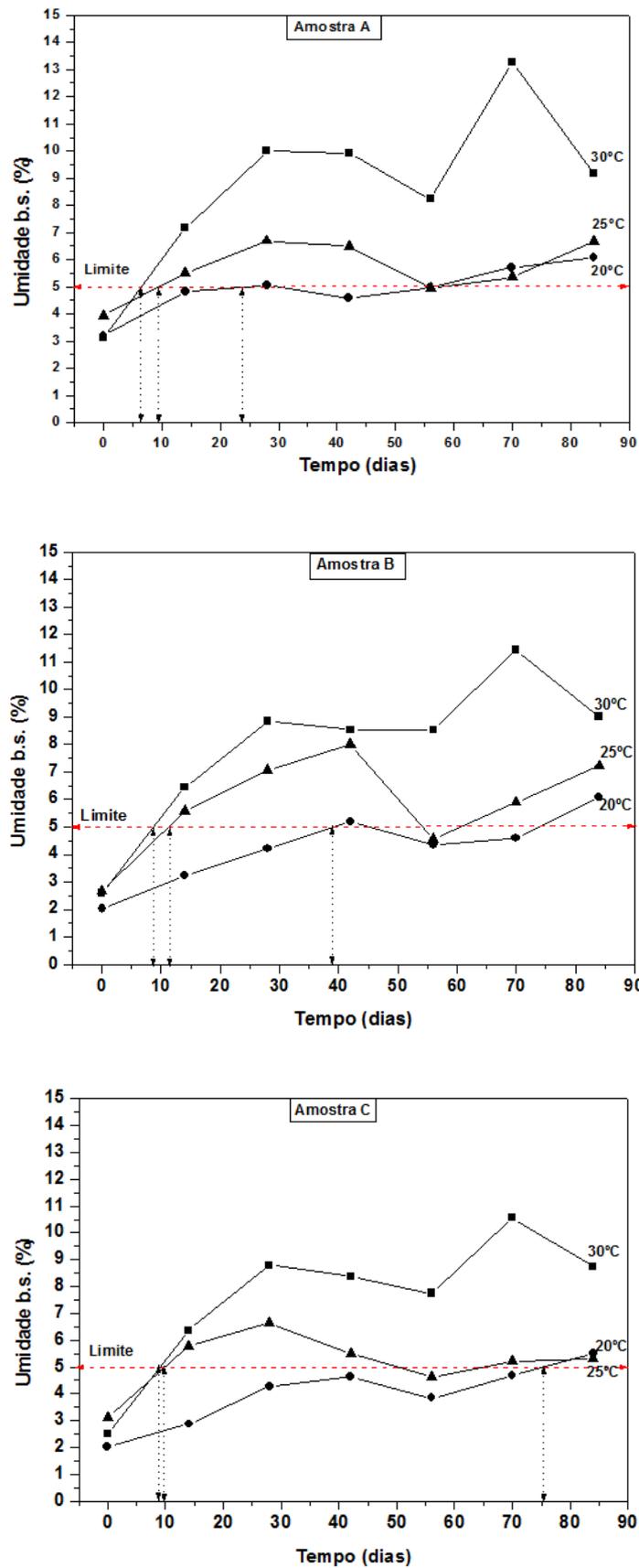


Figura 1. Evolução da umidade total do café torrado e moído das amostras A, B e C acondicionado nas temperaturas de 20, 25 e 30°C, durante 84 dias.

Fonte: autoria própria.

Alimentos desidratados tendem a ganhar umidade do ambiente de estocagem, alterando assim sua atividade de água, até que o equilíbrio seja novamente restituído. As alterações notadas em alimentos em pó são aglomeração, alterações na textura, mudança de cor e até crescimento microbiano, onde as variações tendem a levar à rejeição do produto (MEDEIROS *et. al.*, 2010). De acordo com Quast (1997), a forma para se atingir o equilíbrio da umidade no alimento não se altera, mas os tempos de alcance são diferentes e estão relacionados à temperatura de exposição.

A temperatura afeta a qualidade de qualquer produto, temperaturas elevadas causam deterioração de qualquer produto, porque apresentam um meio ótimo para o desenvolvimento de micro-organismos. De acordo com Demito *et. al.* (2009), a redução da temperatura é uma técnica economicamente viável para conservar a qualidade dos alimentos. Isso explica porque as amostras em temperatura menor (20°C) tiveram um retardamento para atingir o limite de umidade.

A Tabela 4 apresenta os valores da taxa de deterioração obtida pela razão de 1/vida de prateleira e a vida de prateleira, referentes aos processos de estocagem, distribuição e comercialização. Em ordem decrescente, as marcas B, C e A apresentaram vida útil de 11,7, 9,7 e 8,7 dias, com o máximo de umidade de 5%. Vale ressaltar que as umidades dos cafés foram avaliadas sem levar em consideração a embalagem.

Tabela 4 - Valores da taxa de deterioração (dias⁻¹) e vida útil do café, segundo o limite de umidade nas temperaturas de estocagem, distribuição e comercialização.

Amostra	Parâmetros	Temperatura (°C)	Limite da umidade* (dias)	Taxa de deterioração** (dias ⁻¹)	Vida útil (dias)
A	Estocagem	20	24	0,0416	8,7
	Distribuição	30	7	0,1428	
	Comercialização	25	9	0,1111	
B	Estocagem	20	39	0,0256	11,7
	Distribuição	30	8	0,1250	
	Comercialização	25	12	0,0833	
C	Estocagem	20	76	0,0131	9,7
	Distribuição	30	9	0,1111	
	Comercialização	25	10	0,1000	

Nota – * Limite da umidade (dias) obtida pelo gráfico (Figura 1), considerando o máximo de umidade de 5%, conforme legislação vigente.

**A taxa de deterioração foi obtida pela razão de 1/limite da umidade (dias⁻¹).

A menor vida útil da marca A se confirma pela maior capacidade de absorção de água, nas três temperaturas (Tabela 3), que pode estar relacionada a granulometria fina do café (Tabela 2).

Segundo Labuza (1982) após a abertura das embalagens a perda de qualidade dos cafés se intensifica, mesmo em baixa umidade relativa, sendo inadequada para o consumo entre 4 a 7 dias, o que se confirma neste trabalho, considerando o limite de 5% de umidade. No entanto, segundo Sarantópoulos *et al.* (2002) a absorção de umidade em café torrado e moído pode promover a aglomeração do pó se a umidade do produto ultrapassar 6,7% em base seca, que neste trabalho foi verificado em 13, 15 e 17 dias nas marcas A, B e C, respectivamente.

3.3 ISOTERMA DE SORÇÃO DE UMIDADE

As isotermas de adsorção de umidade descreveram a relação entre o conteúdo de umidade de equilíbrio do café em relação a sua atividade de água em temperatura de 20°C e as isotermas forneceram informações sobre a hidrofiliicidade dos cafés sob diferentes valores de umidade relativa, entre 5,3% a 100%.

O modelo de Guggenheim – Anderson - de Boer (GAB) forneceu altos coeficientes de correlação, indicando significativa a representação dos dados (Tabela 5) e descreveu de maneira satisfatória as isotermas de sorção dos cafés torrados e moídos na temperatura de 20°C, uma vez que apresentaram aceitáveis coeficientes de determinação (R^2), superiores a 93%.

Tabela 5. Parâmetro de ajuste do modelo GAB para as isotermas de adsorção a água dos cafés na temperatura de 20 °C e 75% UR, o coeficiente de determinação (r^2) e a variância explicada.

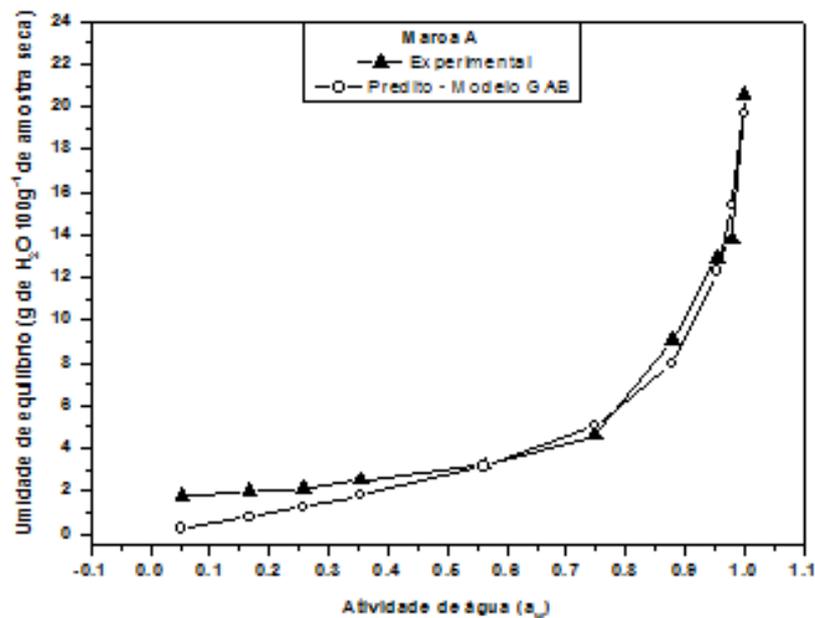
Modelo matemático de ajuste	Marcas	Parâmetros			R^2	Variância explicada (%)
		X_m	C	K		
GAB	A	6,58	0,1984	0,9431	0,98	97,3
	B	5,63	0,5927	0,8876	0,99	98,5
	C	3,49	0,7462	0,8931	0,96	93,6

NOTA: X_m = umidade na monocamada (g de água/100 g⁻¹ de matéria seca); C = constante relacionada à energia de interação das moléculas na monocamada; K = constante relacionada à energia de interação das moléculas adsorvidas na multicamada.

O valor da monocamada (X_m) indica a quantidade máxima de água por grama de sólido seco, que pode ser adsorvida em uma única camada e, é uma medida do número de

sítios de adsorção (JENSEN *et al.*, 2009). O conteúdo de umidade na monocamada molecular (X_m) foi maior na amostra A, o que demonstra maior absorção de umidade. Segundo Goula *et al.* (2008) a quantidade de umidade na monocamada proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e prejuízos mínimos de qualidade para o alimento. Valores menores significam que as taxas de reações de deterioração são reduzidas, com exceção da oxidação de gorduras insaturadas.

A Figura 2 mostra as isotermas de adsorção do café torrado e moído segundo ajuste pelo modelo de GAB, onde se observa um acréscimo da umidade de equilíbrio com a ampliação da atividade de água (A_w), desempenho característico típico de isotermas do tipo III (MOREIRA *et al.* 2013).



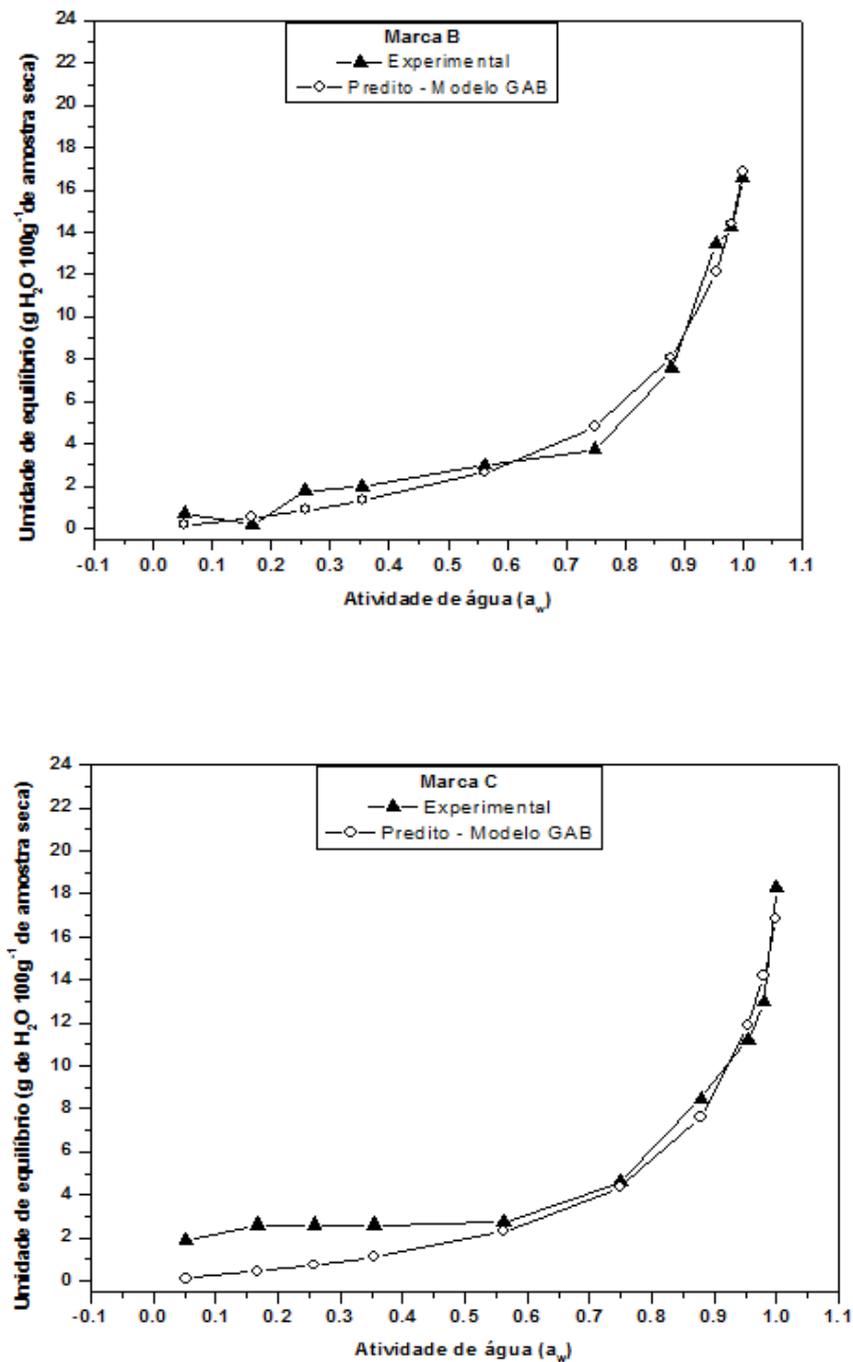


Figura 2 - Isotermas de adsorção de água em três marcas de cafés torrado e moído a 20°C e 75% de UR.
Fonte: autoria própria

Através dos gráficos (Figura 2) foi observado que as isotermas apresentaram condições muito próximas ao modelo de GAB, ou seja, são ajustadas ao modelo de GAB em toda a faixa de atividade de água estudada. O modelo matemático que descreve as isotermas

de adsorção a água dos cafés das marcas A, B e C estão apresentados nas equações 11, 12 e 13, respectivamente.

$$y = \frac{(0,9431508) \cdot (0,1984959) \cdot (6,585036) \cdot x}{(1 - (0,9431508) \cdot x) \cdot (1 - 0,9431508) \cdot x + (0,1984959) \cdot (0,9431508) \cdot x} \quad (11)$$

$$y = \frac{(0,8876391) \cdot (0,5927802) \cdot (5,632601) \cdot x}{(1 - (0,8876391) \cdot x) \cdot (1 - (0,8876391) \cdot x) + (0,5927802) \cdot (0,8876391) \cdot x} \quad (12)$$

$$y = \frac{(0,8931019) \cdot (0,7462782) \cdot (3,4970165) \cdot x}{(1 - (0,8931019) \cdot x) \cdot (1 - (0,8931019) \cdot x) + (0,7462782) \cdot (0,8931019) \cdot x} \quad (13)$$

Com a ampliação da atividade de água a umidade de equilíbrio aumentou em todas as amostras. O ponto crítico da isoterma para as três amostras (A, B e C) foi verificado a partir das atividades de água de 0,75, onde as umidades de equilíbrio mostraram valores de 4,3%, 3,8% e 4,8%, respectivamente (Figura 2). O ponto crítico de uma isoterma determina o limite da atividade de água e da umidade de equilíbrio, acima do qual o produto acelera as suas transformações conduzindo a deterioração (MOURA *et al.*, 2004).

A amostra C apresentou menor valor da monocamada, 3,49 g de água g⁻¹ de café seco e, a marca A maior valor, 6,5 g de água g⁻¹ de café seco. Esta diferença pode estar relacionado a granulometria da amostra C, sendo maior em relação a outras amostras, o que diminui a capacidade de absorção a água, pois a área superficial é menor. A equação de GAB indica que o valor de umidade correspondente à monocamada em gramas de água 100g⁻¹ massa seca, e poderá ser usado como referência para o teor de umidade crítica, para manter a estabilidade do produto durante o armazenamento na temperatura analisada (LABUZA *et al.*, 1985).

O formato da curva de adsorção e os valores da monocamada de umidade dependem do tamanho das partículas. Estes aspectos são influenciados pela porosidade do café, ou seja, pela área superficial disponível com os sítios de absorção e outras áreas para absorção por capilaridade dos poros (CLARKE *et al.*, 1989). Segundo Baptistini *et al.* (2013) na isoterma a partir de 0,5 de atividade de água há uma menor atividade de água no café com granulometria grossa, o que pode estar associada a menor área específica exposta.

Segundo Labuza *et al.* (2001) a vida útil do café torrado e moído poderá ser diminuída em 50% se os valores da monocamada ultrapassarem de $3,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ para $4,5\text{g } 100\text{g}^{-1}$, fato que pode ter ocorrido neste trabalho.

O parâmetro C está relacionado à energia de interação das moléculas de água adsorvidas na monocamada dos cafés, onde foi observado os maiores valores nas embalagens de PE/Al/PEBD das marcas B e C (Tabela 5). Os valores são referentes a primeira curvatura da forma sigmóide que caracteriza o modelo de Guggenheim – Anderson - de Boer (GAB). O parâmetro K está relacionado à energia de interação das moléculas adsorvidas na multicamada do produto. As marcas A, B e C tiveram valores de K menores que 1, sendo encontrados valores de 0,94, 0,88 e 0,89, respectivamente, sendo característicos de produtos alimentícios, indicando que a isoterma tende a uma assíntota, ou seja, sugerindo uma sorção infinita, em atividade igual a 1,0 (TIMMERMANN, 2003).

3.4 TAXA DE PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (TPVA) E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA) DA EMBALAGEM

O tipo de embalagem utilizada no acondicionamento do café da marca A era do tipo PETmet/PEBD, onde segundo Sarantópoulos *et al.* (2002) a TPVA varia entre $0,5$ a $2,5\text{g } \text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a 38°C a 90% de UR, com espessuras de $12\mu\text{m}/58\mu\text{m}$, sendo esta influenciada pela presença ou não de riscos, uniformidade, grau de metalização e forma de laminação.

A maior TPVA foi verificada na embalagem da marca A com $0,0339\text{g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 6), o que pode ter favorecido a capacidade de absorção de umidade do café observada nos resultados da isoterma (Figura 2) e na vida útil do café sem embalagem (Tabela 4) e com embalagem (Tabela 7).

Tabela 6 - Valores da taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) e permeabilidade ao vapor de água (PVA) das embalagens de cafés torrado e moído a 20°C e 75% de UR.

Marcas	Embalagens	TPVA ($\text{g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	PVA* ($\text{g H}_2\text{O mm m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ mmHg}^{-1}$)
A	PETmetPEBD	$0,0339\pm 0,016$	$0,00368\pm 0,0006$
B	PET/Al/PEBD	$0,0220\pm 0,001$	$0,00108\pm 0,0003$
C	PET/Al/PEBD	$0,0226\pm 0,013$	$0,00118\pm 0,0003$

Nota - Espessura das embalagens A, B e C $7, 6,5$ e $6,9 \text{ mm}$, respectivamente, usada para o cálculo da PVA.

A maior permeabilidade ao vapor de água da embalagem da marca A, pode ser justificada pelo tipo de material que a compõem (PETmetPEBD) e possível presença de microfuros (pinholes) gerados pelo manuseio, onde a taxa de permeabilidade foi maior comparada com as embalagens de PET/Al/PEBD.

Segundo Garcia *et al.* (1989) a TPVA de uma embalagem laminada com folha de alumínio está relacionada a qualidade da estrutura do material, espessura e pela presença de microfuros (pinholes).

3.5 ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO CAFÉ TORRADO E MOÍDO ASSOCIADO A EMBALAGEM

Considerando a temperatura média de estocagem (20°C) e comercialização (25°C) na estimativa de vida útil dos cafés, não foi observada diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre as temperaturas nas marcas A e C. No entanto, entre as marcas foi observado que a marca B demonstrou uma vida útil maior, com acréscimos na vida útil em torno de 30% e 62% em relação às marcas A e C, nas temperaturas de 20°C e 30°C, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativa da vida útil do café torrado e moído associado a embalagem

Marcas	Embalagens	Estimativa da vida útil do café (dias)	
		20°C	25°C
A	PETmetPEBD	152,6	152,4
B	PET/Al/PEBD	198,5	197,5
C	PET/Al/PEBD	122,6	122,4

Apesar das marcas A e C terem uma vida útil menor, a data de validade estipulada pela empresa, impressa na sua embalagem está em torno de 90 dias. No entanto, se for levado em consideração apenas o parâmetro de umidade ainda estariam dentro da validade.

As embalagens de PETmetPEBD e PET/Al/PEBD são empregada nas embalagens de café torrado e moído por terem ótimas características de barreira. A embalagem formada por PETmetPEBD tem boa barreira ao oxigênio e ao vapor d'água e a PET/Al/PEBD por apresentar excelente barreira a umidade (ALVES *et.al.*, 2012), confirmando a maior proteção da umidade na marca B de café.

4 CONCLUSÃO

A maior vida útil do café sem embalagem foi observada pela marca B (11,7 dias), seguido das marcas C (9,7 dias) e A (8,7 dias).

A Isoterma de sorção da umidade mostrou que o café da marca A apresentava maior capacidade de absorção de umidade, confirmado pela menor granulometria desta marca. O ponto crítico de umidade para as três marcas de cafés foi observado em atividade de água a partir de 0,75.

A embalagem da marca A apresentou maior TPVA e PVA, influenciada pelo tipo de material da embalagem (PETmetPEBD) e as menores foram apresentadas pela marca B.

O café torrado e moído da marca B apresentou a maior estimativa de vida útil associada a embalagem, em 198,5 e 197,5 dias sob as temperaturas de 20°C e 25°C, respectivamente. No entanto, considerando apenas a umidade as três marcas apresentaram estimativa de vida útil maior que a estipulada pela indústria.

Para o consumidor, um café com uma granulometria muito fina, influencia no momento em que o café é extraído, já que muito fino, pode ocorrer a aglomeração do pó, dificultando a extração do café. Novos estudos voltados a esse tema seriam de grande interesse para a indústria, para facilitar a vida do consumidor.

REFERÊNCIAS

ABIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Disponível em: <www.abic.com.br>. Acesso em 10 dez. 2014

ALVES, R. M. V, BORDIN, M. R.; **Estimativa Da Vida Útil De Café Solúvel Por Modelo Matemático**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18(1):19-24,Campinas Jan./Apr. 1998.

ALVES, R. M. V., et. al. **Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada**. Braz. J. Food Technol. vol.15 no.1 Campinas Jan./Mar. 2012

ALVES, R. M. V.; Mori, E. E.; Milanez, C. R.; Padula, M. **Café torrado e moído em embalagens inertizadas**. Ciência e Tecnologia em Alimentos, v.23, p.22-27, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. “**Standart test method for randon vibration testing of shipping container.**” V.15.09, ASTM: D 4728-95.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 277, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "**REGULAMENTO TÉCNICO PARA CAFÉ, CEVADA, CHÁ, ERVA-MATE E PRODUTOS SOLÚVEIS**". D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005.

BAPTESTINI, F. M; CORRÊA, P. C.; ELÍAS, G. A. V.; FERNANDES, L. S.; CARVALHO, M. S. **Cinética de sorção de água do café torrado e moído**. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 25 a 28 de novembro de 2013, Salvador – BA

BORÉM, F. M. **Pós colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 630p. cap.5, pag. 158.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 16** de 24/05/2010. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, 2010.

CHARRIER, A. **La structure génétique dès caféiers spontanés de larégion Malgache (Mascaracoffea):Leurs relations avec les caféiers d’origine africaine (Eucoffea)**. Paris: ORSTOM, 1978. 223 p.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee Technology**. 2. ed. London: Elsevier Science, 1989. v. 2, p. 207-219.

DEMITO, A.; AFONSO, A. D. L. **Qualidade das sementes de soja resfriadas artificialmente**. Engenharia na Agricultura, v.17, p.7-14, 2009.

DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERNANDES, S. M., PEREIRA, R. G. F. A., BORÉM, F. M., NERY, F. C., PÁDUA, F. R. M. **Alterações químicas em cafés torrados e moídos durante o armazenamento**. R. Bras. Armaz., Viçosa – Especial Café, MG, n. 9, p. 12-18, 2006.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S.. **Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (Bactris gasipaes)**. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. 2003, vol.23, n.2, pp. 251-255 , 2003.

GARCIA, E.E.C., PADULA, M., SARANTOPÓULOS, C.I.G.L. **Embalagens plásticas: propriedades de barreira**. Campinas: CETEA/ITAL, 1989. 44p.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. da; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Nobel, 2008.

GONZALEZ, E. A. S. **Estudo da viabilidade de implantação de pequenas unidades de torrefação de café**. 2004. Trabalho final (Graduação em Bacharelado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estácio de Sá. Rio de Janeiro.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K.G.. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, v.85, p.73-83, 2008.

HOFFMANN, C. E. **Resfriamento no processo de torra nas características de qualidade tecnológica e sensorial do café**. 2001. 86f. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

JENSEN, S.; GROSSMANN, M. V. E. MALI, S. Microestrutura e estabilidade de filmes de amido de mandioca adicionados de emulsificantes com diferentes equilíbrios hidrofílico/lipofílico. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 97-105, abr./jun. 2009.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, INC, 1982. p.360-371.

LABUZA, T. P.; KAAUANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**. London, v.50, p. 385-391, 1985.

LABUZA, T. P.; CARDELLI, C.; ANDERSON, E.; SHIMONI, E. **Physical Chemistry of Roasted and Ground Coffee: shelf life improvement for flexible packaging**. In: INTERNATIONAL SCIENCE COLLOQUIUM, 19., 2001, Trieste. **Anais**. Trieste: ASIC, 2001. 39p.

LANTZ, Jr RJ. Size Reduction. In: Lieberman HA, Lachman L, Schwartz JB. **Pharmaceutical dosage forms: Tablets**. New York: Marcel Dekker; 1990. 107-99.

MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. **Propriedades físicas de substitutos do cacau**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, supl. 1, p. 243-253, 2010.

MORAES, R.C. de P.; TRUGO, L.C. **Efeito da torrefação e da granulometria na composição química do café**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001. CD-ROM. p.1511-1517

MOREIRA, T. B; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C da. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.10, p.1093–1098, 2013.

MORTOLA, V. B.; MEILI, L.; PINTO, L. A. A. Determinação das isotermas de equilíbrio para cebola, gelatina e farinha de pescado: análise dos modelos de GAB, BET e Henderson. **Revista Vetor**, Rio Grande, RS, v. 13, n. 2, p. 79-91, 2003.

MOURA, S. C. S. R., GERMER, S. P. M. **Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Manual técnico n.6, 3ª Ed., Campinas: Instituto de Tecnologia em Alimentos (ITAL), 2004.

QUAST, D. **Quem tem medo de atividade de água?** In: ATIVIDADE DE ÁGUA EM ALIMENTOS. Jardim, D.C.P.; Germer, S. P. M. (coord.) Campinas: ITAL. p. 13-1 a 13-8, 1997.

SARANTÓPOULOS, C.G.L.; OLIVEIRA, L.M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R.M.V; GRACIA, E.E.C. **Embalagens Plásticas Flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. CETEA/ ITAL, Campinas, 2002.

SHMITD, C. A. P., MIGLIORANZA, É., PRUDÊNCIO, S. H. **Interação da torra e moagem do café na preferência do consumidor do oeste paranaense.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.4, p.1111-1117, jul, 2008.

SILVA, M. C., CASTRO, H. A. O., FARNEZI, M. M. M., PINTO, N. A. V. D., SILVA, E. B. **Caracterização química e sensorial de cafés da Chapada de Minas, visando determinar a qualidade final do café de alguns municípios produtores,** *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1782-1787, 2009.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? **Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v.220, p.235-260, 2003.