

RENATA CÁSSIA CAMPOS

**PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE CAFÉ MOCA DURANTE O
PROCESSO DE TORRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C198p
2016 Campos, Renata Cássia, 1988-
Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o
processo de torra / Renata Cássia Campos. – Viçosa, MG, 2016.
xii, 74f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Paulo Cesar Corrêa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Café - Propriedades. 2. Café - Variedades. 3. Café -
Efeito da temperatura. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

RENATA CÁSSIA CAMPOS

**PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE CAFÉ MOCA DURANTE O
PROCESSO DE TORRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de fevereiro de 2016.

Mônica Ribeiro Pirozi

Fabício Rossi
(Coorientador)

Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

Aos meus pais, José Jorge e Maria do Carmo.
Ao meu irmão, Gustavo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois sem Ele não sou nada.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de ser sua aluna. À professora Lêda Rita Faroni, por seu apoio e confiança. Aos professores do departamento que fortaleceram minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos.

Ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenamento (CENTREINAR), pelo fornecimento das instalações e facilitar o desenvolvimento de minha pesquisa.

Aos professores Paulo Cesar Corrêa e Fabrício Rossi pela orientação, apoio e ensinamentos, o que me permitiu terminar esta etapa com sucesso.

Aos meus pais José Jorge e Maria do Carmo, por seu amor e apoio contínuo e incondicional. Ao meu irmão por seu grande carinho e companheirismo.

À toda a minha família e amigos que de alguma forma contribuíram com apoio carinho, e muitas orações para a realização desse trabalho.

Aos colegas e amigos do laboratório, por sua cooperação, parceria e amizade: Úrsula, Daniel, Batuti, Cristina, Cristian, Brenda, Marcela, Guillermo, Claudia, Iasmine, Sabrina, Juliana, Fernanda e Lara.

Ao professor Tetuo Hara, pelos conselhos.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso!

BIOGRAFIA

RENATA CÁSSIA CAMPOS, filha de José Jorge Lopes Campos e Maria do Carmo Barbosa Silva Campos, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, em 16 de Dezembro de 1988.

Em março de 2008, iniciou o curso de Engenharia de Alimentos na Universidade de Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em setembro de 2013. Em agosto de 2012 realizou graduação sanduiche, estudando em Iowa State University – Ames/Iowa – EUA; e atuou como estagiária em National Swine Research Information Center (Iowa State University).

Também foi monitora de inglês pela escola de idiomas FISK; além de atuar em projetos de pesquisa pela Universidade Federal de Viçosa durante à graduação.

Em janeiro de 2014, realizou estágio voluntário no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas (Departamento de Engenharia Agrícola – UFV/CENTREINAR); e em seguida, em agosto de 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Café.....	3
2.2. Produção de café no Brasil: Safra 2015	5
2.2.1. Produção de café em Minas Gerais	7
2.3. Café moca	8
2.3.1. Mercado do café moca.....	11
2.4. Qualidade do café	13
2.5. Propriedades físicas do grão de café.....	14
2.6. Torrefação	16
2.7. Análise sensorial: avaliação de qualidade de bebida	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. Objetivo Geral.....	18
3.2. Objetivos Específicos	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Etapa 1	21
4.2. Etapa 2	23
4.2.1. Processo de torrefação	24
4.2.2. Massa específica real	25
4.2.3. Teor de água no grão	26

4.2.4.	Perda de massa	26
4.2.5.	Esfericidade e Circularidade.....	27
4.2.6.	Área superficial do grão	28
4.2.7.	Volume	28
4.2.8.	Modelagem matemática da expansão volumétrica.....	29
4.2.9.	Cor	30
4.2.10.	Comparação entre grãos moca e grãos chato.....	31
4.3.	Etapa 3	32
4.4.	Etapa 4	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1.	Etapa 1	36
5.2.	Etapa 2	37
5.2.1.	Processo de torrefação	37
5.2.2.	Massa específica.....	39
5.2.3.	Teor de água e perda de massa no grão	40
5.2.4.	Variação dos eixos ortogonais.....	43
5.2.5.	Esfericidade e circularidade.....	45
5.2.6.	Volume	47
5.2.7.	Área superficial.....	53
5.2.8.	Cor	55
5.2.9.	Comparação entre café moca e café chato.....	58
5.3.	Etapa 3	62
5.4.	Etapa 4	63
6.	CONCLUSÃO	66
	BIBLIOGRAFIA	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo de área, produtividade e produção – Café arábica.....	6
Tabela 2. Informações referentes à venda de cafés moca (grão torrado)	12
Tabela 3. Cafés de grãos moca brasileiros torrados comercializados no Brasil e em outros países	12
Tabela 4. Modelos matemáticos usados para a modelagem da expansão e da contração volumétrica de grãos.....	29
Tabela 5. Distribuição do número de amostras coletadas em cada localidade.....	35
Tabela 6. Classificação dos grãos utilizados por meio de peneiras.....	37
Tabela 7. Regressão linear entre a perda de massa e teor de água em grãos de café moca para cada temperatura de torra.....	43
Tabela 8. Parâmetros estimados pelos modelos de expansão de café torrado com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P).....	48
Tabela 9. Parâmetros estimados pelo modelo Campos-Copace seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P).....	51
Tabela 10. Equações que representam os parâmetros do modelo	52
Tabela 11. Coordenadas relacionadas à cor dos grãos de café moca cru e após os processos de torra.....	56
Tabela 12. Parâmetros relacionados à cor dos grãos moca ao final do processo de torra...	57
Tabela 13. Parâmetros estimados pelos modelos de expansão de café torrado com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e tendenciosidade	61
Tabela 14. Levantamento da produção de moca em localidades de Minas Gerais	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Países produtores de café arábica, robusta e ambos.....	5
Figura 2. Mapeamento do café em Minas Gerais	7
Figura 3. Café moca.....	9
Figura 4. Café chato.....	9
Figura 5. Comparação de preços entre variados e diferenciados tipos de cafés nos mercados internacionais de Agosto a Dezembro de 2006 (dólar/libra) (Uma libra corresponde à aproximadamente 453 gramas).....	11
Figura 6. Etapas do experimento desenvolvido.....	20
Figura 7. Fluxograma da Etapa 1 do experimento correspondente à preparação dos grãos de café para à torra	21
Figura 8. Peneiras utilizadas na classificação de café. Peneiras de crivos circulares para grão chato à esquerda e de crivos oblongos para grão moca.....	22
Figura 9. Dimensão dos crivos utilizados na separação por peneiras	22
Figura 10. Fluxograma dos processos correlatos à etapa 2	23
Figura 11. Torrador com cilindro rotativo.....	25
Figura 12. Termopar tipo k.....	25
Figura 13. Medição de temperatura na superfície dos grãos por meio de termômetro infravermelho.....	25
Figura 14. Representação esquemática dos eixos ortogonais do grão de café moca.....	27
Figura 15. Fluxograma que representa a etapa 3	32
Figura 16. Escala de pontos do Nível Mínimo de Qualidade (NMQ).....	33
Figura 17. Fluxograma que representa a etapa 4.....	34
Figura 18. Localidades no entorno de Viçosa onde foram coletadas amostras.....	35
Figura 19. Aspecto dos grãos durante o processo de torra do café moca.....	38
Figura 20. Massa específica do grão de café moca durante à torra.....	39
Figura 21. Evolução no teor de água dos grãos de café moca durante o processo de torra	40
Figura 22. Perda de massa durante o processo de torra do grão de café moca.....	41
Figura 23. Relação entre a perda de massa e teor de água durante à torra	42
Figura 24. Incremento relacionado ao aumento do eixo “a” nas temperaturas de torra utilizadas.....	44
Figura 25. Incremento relacionado ao aumento do eixo “b” nas temperaturas de torra utilizadas.....	44

Figura 26. Incremento relacionado ao aumento do eixo “c” nas temperaturas de torra utilizadas.....	44
Figura 27. Média dos incrementos dos eixos ortogonais a, b e c dos grãos de café durante à torra.....	45
Figura 28. Esfericidade dos grãos de café moca durante à torra	46
Figura 29. Circularidade dos grãos de café moca durante à torra	46
Figura 30. Visão “frontal” (fenda), lateral e “dorsal”, dos grãos de café moca cru e torrado à 220, 240, 260, 280 e 300°C respectivamente.....	46
Figura 31. Expansão volumétrica dos grãos de café moca durante o processo de torra	47
Figura 32. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 220°C	50
Figura 33. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 240°C	50
Figura 34. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 260°C	50
Figura 35. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 280°C	50
Figura 36. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 300°C	50
Figura 37. Distribuição dos valores observados e estimados pelo modelo matemático proposto	52
Figura 38. Distribuição dos valores estimados e resíduos do modelo proposto.....	53
Figura 39. Área superficial do café moca durante à torra	53
Figura 40. Incrementos da expansão superficial dos grãos de café moca durante as temperaturas de torra	54
Figura 41. Cor do grão moca cru e ao final de cada processo de torra estudado	55
Figura 42. Teor de água dos grãos de café do tipo chato e moca durante o processo de torra à 260°C	58
Figura 43. Perda de massa dos grãos de café do tipo chato e moca durante o processo de torra à 260°C.....	59
Figura 44. Expansão dos eixos ortogonais dos grãos de café chato durante o processo de torra à 260 °C.....	60
Figura 45. Expansão dos eixos ortogonais dos grãos de café chato durante o processo de torra à 260 °C.....	60
Figura 46. Expansão volumétrica dos grãos de café do tipo chato e moca durante o processo de torra à 260 °C.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Atributos avaliados para análise de qualidade de bebida	34
Quadro 2. Notas dos atributos avaliados para o café moca e chato.....	63

RESUMO

CAMPOS, Renata Cássia, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra e avaliação de qualidade.** Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Coorientador: Fabrício Rossi.

Objetivou-se com este trabalho avaliar e modelar as propriedades físicas do grão de café moca em diferentes condições de torra, além da avaliação de qualidade da bebida e posterior comparação ao grão de café convencional (chato). Foram utilizados grãos de café arábica com teor de água inicial de $0,104 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$, torrados em um torrador de queima de gás direto com cilindro rotativo a 45 rpm. Foram fixadas 5 temperaturas do ar no interior do cilindro (220, 240, 260, 280 e 300 °C) e o tempo de processamento de 10 minutos para fins de modelagem. Foram utilizadas amostras de 300 g. O teor de água e as propriedades físicas (volume, área superficial, massa específica) do grão foram determinadas a cada 20 s, e a cor ao final da torra. Modelos empíricos foram ajustados para representar a variação das propriedades em função do teor de água. Observou-se que o teor de água diminuiu linearmente durante a torra, tendendo à estabilização ao final do processo. Verificou-se o aumento das medidas características dos grãos com o tempo e temperatura de torra, caracterizando aumento volumétrico e área superficial dos mesmos. O aumento verificado foi de 98% e 58% respectivamente à 300°C. A expansão volumétrica foi modelada em relação ao teor de água, porém os modelos matemáticos sugeridos pela literatura não se ajustaram aos dados experimentais. Dessa forma, foi proposto um novo modelo intitulado Campos-Copace que se ajustou satisfatoriamente aos dados. Com relação à cor, quanto maior a temperatura de torra, maior o escurecimento dos grãos e intensificação da cor castanha. Foram comparadas as propriedades físicas supracitadas aos grãos chatos e verificou-se que o moca perdeu menos água e conseqüentemente, menos massa, porém apresentou maior expansão volumétrica. Apesar de alguns dos modelos matemáticos anteriormente sugeridos (para expansão volumétrica) se ajustarem aos dados experimentais do café chato, Campos-Copace apresentou melhor ajuste que os demais; sendo assim, este modelo mais indicado para caracterizar a expansão volumétrica de café de uma forma geral. No teste de xícara realizado, observou-se que o grão chato apresentou melhor avaliação global de bebida e o grão moca apresentou melhor pontuação com relação à doçura. Dessa forma pode ser verificada a diferença entre os dois tipos de café e a influência das propriedades físicas no processo de qualidade final do produto.

ABSTRACT

CAMPOS, Renata Cássia, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2016. **Physical properties of peaberry coffee beans at roasting process and quality evaluation.** Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Co-adviser: Fabrício Rossi.

The objective of this study was to evaluate and model the variation of physical properties of peaberry coffee bean in different roasting conditions, besides drink quality assessment and subsequent comparison to the conventional coffee bean (flat). Arabica coffee beans were used with an initial water content of 0.104 kga kgms⁻¹. Was used a direct gas burning roaster with rotating cylinder 45 rpm. Were set 5 air temperature inside the cylinder (220, 240, 260, 280 and 300 ° C) and the 10 min processing time for modeling purposes. 300g of samples were used. The water content and physical properties (volume, surface area, density) of grains were determined each 20s, and color at the final roasting. Empirical models were adjusted to represent the variation of properties depending on the water content. It was observed that the water content decreases linearly during the roasting, tending to stabilize at the end of the process. There was a significant increase in grain characteristics measured with time and roasting temperature, featuring increased volume and surface area thereof. The increase was 98% and 58% respectively at 300 ° C. The volume expansion was modeled in relation to water content, but the mathematical models suggested in the literature did not fit the experimental data. Thus, a new model called Campos-Copace that satisfactorily fit the data has been proposed. With regard to the color, the higher the temperature roasting, the higher the blackening of the grains and intensifying the brown color. The above-mentioned physical properties were compared to flat grains and were found that the peaberry grains lost less water and hence less weight, but showed greater volumetric expansion. Although some of the mathematical models previously suggested (for volume expansion) fit to the experimental data of flat coffee, Campos-Copace showed better fit than the others; Thus, this most appropriate model to characterize the volumetric expansion of coffee in general. In the cup test conducted, it was observed that the flat grain beverage showed better overall evaluation and the peaberry coffee grain showed better score regarding sweetness. Thus it can be seen the difference between the two types of coffee and influence the physical properties in the final product quality process.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o café é produzido no Brasil desde a época do império. Durante toda sua história, tem absorvido grande quantidade de mão-de-obra, sendo uma importante fonte de renda para a economia do país e contribuindo significativamente como uma commodity na formação do capital no setor agrícola, contribuindo para o PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil. Os principais estados brasileiros produtores de café são: Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Espírito Santo, Bahia e Rondônia. A produção do *Coffea arabica* concentra-se principalmente em Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo, sendo que este estado é o grande produtor do *C. canephora* da variedade conilon (popularmente chamado de robusta) (CONAB, 2015).

O Brasil é o maior produtor de café do mundo com uma produção estimada para 2015, entre 44,11 e 46,61 milhões de sacas de 60 quilos de produto beneficiado, sendo 73,7% correspondente à espécie arábica e o restante à espécie robusta. Esta estimativa representa uma redução de 2,7% e um crescimento de 2,8%, respectivamente, quando comparado com a produção de 45,34 milhões de sacas obtidas na safra anterior (CONAB, 2015).

Os grãos de café são classificados por peneiras com base no tamanho e forma do grão, sendo as peneiras de crivos redondos para medição e separação dos cafés chatos e as de crivos alongados para a separação dos grãos mocas. A separação dos cafés por peneiras é muito importante para indicar o potencial produtivo das cultivares (LOPES et al., 2003), e permitir maior uniformidade dos grãos e à presença de defeitos (RENA & FAVARO, 2000). Além disso, é necessária para possibilitar uma torração mais uniforme, já que, na torração de um café desuniforme (bica-corrída), os grãos maiores torram lentamente, enquanto os menores torram rapidamente e podem ser carbonizados (MATIELLO et al., 2010).

O cafeeiro é uma planta muito influenciada pela interação de genótipo e ambiente, e a produtividade alcançada por determinada cultivar está relacionada, além de outros aspectos técnicos, com o espaçamento de plantio adotado, ou seja, a densidade de plantas e sua distribuição no campo (CAIXETA, 2003). Os cultivares de café arábica possuem diferentes porcentagens de formação de grãos chatos ou grãos normais, mais desejados

pelos compradores, grãos moça e grãos na forma de concha. Conforme ABIC (2015a), grãos chatos são grãos de superfície dorsal convexa e a ventral plana ou ligeiramente côncava, com ranhura central no sentido longitudinal. Grãos moça são apresentados em formato ovóide, também com ranhura central no sentido longitudinal. Os grãos concha são em forma de concha, resultante da separação de grãos imbricados oriundos da fecundação de dois óvulos em uma única loja do ovário.

O mercado de café moça no Brasil ainda é pequeno quando comparado aos demais tipos de café, porém ele é muito valorizado internacionalmente, sendo o que é produzido na Tanzânia, o mais apreciado e de maior valor comercial quando comparado aos demais.

O moça produzido no Brasil possui um grande reconhecimento dentre os países consumidores assim como um valor de mercado superior quando comparado ao café tradicional e alguns cafés classificados como especiais, fato esse que contribui para o comércio exterior quando comparado ao interior.

Embora o Brasil seja o maior produtor e o segundo maior mercado consumidor depois dos Estados Unidos, a economia cafeeira brasileira ainda não desenvolveu a tecnologia de países exportadores de café industrializado como a Itália e a Alemanha. Para conseguir uma geração de valor agregado na cadeia produtiva do café, é preciso conhecer e estudar as operações unitárias inerentes ao seu processamento.

A torra é a operação unitária de maior importância do processamento e determinante na qualidade do café. Neste processo, o objetivo principal é a formação de aroma e sabor da bebida de café. O aquecimento modifica a textura do grão até atingir um ponto que permite a moagem e posterior extração dos aromas e sabores (BAGGENSTOSS et al., 2008). Durante esta operação ocorre uma destilação a seco (pirólise), com aumentos de temperatura contínuos, acompanhada de modificações na destruição, transformação e formação de compostos do grão, eventos estes correlacionados à expansão de volume sem o rompimento das paredes celulares com formação de poros na estrutura da matriz celular (FERRÃO, 2009).

A qualidade do café é um fator essencial como definição de seu valor no mercado. Para a determinação da qualidade, o grão de café é classificado quanto ao tipo, formato,

tamanho, bebida e cor conforme a Instrução Normativa nº 8 (BRASIL, 2003). A origem genética e as condições ambientais são fatores determinantes na formação da composição química do café, que após a torra, definirão a qualidade sensorial da bebida (MATIELLO et al., 2010).

As propriedades físicas dos grãos são características relevantes na otimização dos processos industriais e no desenvolvimento de novos projetos e equipamentos utilizados nas operações pós-colheita. Variações dessas propriedades em função do teor de água e de outros fatores durante a secagem de vários produtos têm sido investigadas por diversos autores.

No Brasil há uma maior necessidade de se aprofundar seus conhecimentos sobre a composição química e transformações do café, durante o processamento, bem como sobre procedimentos que melhorem a qualidade do produto, situando o país em posições mais favoráveis no mercado externo e interno. Existe a necessidade de incentivar o consumidor a reconhecer e valorizar diferentes padrões de bebidas, imprimindo-se características de uniformidade e qualidade ao produto (PINTO, 2001).

Dessa forma, este trabalho tem o intuito de apresentar propriedades físicas dos grãos de café moça durante o processo de torra, uma vez que este tipo de grão possui características diferenciais em sua estrutura (forma elipsóidica), as quais podem estar relacionadas à um comportamento de torra diferenciado, o que influenciará no padrão de bebida resultante. É válida a verificação da conduta deste grão durante o processo de torra e posterior comparação aos grãos chato, e assim analisar se se faz necessário diferenciar processos e equipamentos para ambos os tipos de café. Além disso, o moça possui um valor de mercado atrativo, o que acrescenta relevância à este trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Café

O fruto de café é uma drupa constituída de duas sementes cobertas por uma camada de aspecto pergaminoso (endocarpo) formada por fibras esclerenquimáticas alongadas com lúmen estreito e pontoações arredondadas. O endocarpo é coberto pela pulpa ou mucilagem (mesocarpo) e finalmente pela casca (exocarpo) (FUNED, 2012). A semente

apresenta forma plana convexa sulcada longitudinalmente na face plana e é formada pela testa (película prateada composta de fibras alongadas com células de paredes espessadas) e pelo endosperma, principal componente da semente, apresentando pequenas células ricas em óleo nas camadas externas e células maiores com paredes finas no centro da semente (BORÉM et al., 2014).

A composição química do endosperma é de grande importância pois representa os compostos precursores do aroma que serão transformados durante a torrefação. Tais compostos podem ser solúveis (cafeína, trigonelina, niacina, ácidos clorogênicos, carboidratos de baixo peso molecular, ácidos carboxílicos e algumas proteínas e minerais) ou insolúveis (polissacarídeos, celulose, lignina, hemicelulose, proteínas, minerais e lipídeos). Os polissacarídeos representam cerca de 50% do peso seco do café cru. A sacarose é o carboidrato de baixo peso molecular mais abundante (5 – 12% no café arábica) e os lipídeos representam entre 12 e 18% do peso seco do grão (BORÉM et al., 2014).

O café é originário da Etiópia, país localizado na parte central do continente africano. Porém, os maiores propagadores da sua cultura pelo mundo foram os árabes. Graças a eles o café chegou à Europa no século XIV, mas foi somente por volta de 1615 que ele começou a ser amplamente consumido pelos europeus. O crescente mercado consumidor europeu propiciou a expansão do plantio de café em países africanos e a sua chegada ao Novo Mundo. Pelas mãos dos colonizadores, o café chegou ao Suriname, em São Domingos, em Cuba, em Porto Rico e nas Guianas. Foi por meio das Guianas que chegou ao norte do Brasil. Desta maneira, se espalhando por todos os cantos do mundo (Figura 1) (BOULAY et al., 2000).



Figura 1. Países produtores de café arábica, robusta e ambos.
 Fonte: Porto (2014).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de café - ABIC, a exportação brasileira de café na safra 2014/15 (julho de 2014 a junho de 2015) registrou recorde histórico de 36,49 milhões de sacas de 60 kg. O volume corresponde a um aumento de 6,9% em comparação com os 12 meses anteriores, segundo levantamento do Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CeCafé) (ABIC, 2015a).

De acordo com o balanço do CeCafé, no primeiro semestre de 2015, 77,3% do café exportado foi da variedade arábica, 12,9% de robusta, 9,7% de solúvel e 0,1% de torrado e moído. O relatório mostra, ainda, que, de janeiro a junho de 2015, a Europa foi o principal mercado importador, responsável pela compra de 54% do total embarcado do produto brasileiro. A América do Norte adquiriu 24% do total de sacas exportadas, a Ásia, 16% e outros países da América do Sul, 3% (ABIC, 2015a).

2.2. Produção de café no Brasil: Safra 2015

Segundo a Conab (2015), os impactos das adversidades climáticas sobre os cafezais em 2014 e início de 2015 comprometeram o potencial produtivo das lavouras, principalmente daquelas situadas em menores altitudes. Os baixos índices pluviométricos entre o final de dezembro e o início de fevereiro afetaram as lavouras na fase de enchimento dos grãos,

resultando em grãos miúdos e, conseqüentemente, em baixo rendimento, refletindo a estimativa de uma produção significativamente menor do que a esperada.

Como consequência, o café ao ser beneficiado, apresentou tamanho reduzido, com percentual de grãos moca acima da média (10%) nas amostras, alcançando cerca de 15 a 20%. Além disso, a qualidade da bebida desses cafés também pode estar comprometida devido às frequentes chuvas na região na ocasião da colheita e secagem nos terreiros (CONAB, 2015).

A Tabela 1 a seguir fornece dados comparativos dos principais produtores nacionais de café arábica nas safras de 2014 e 2015. Os dados relacionam a área destinada à produção em ha, a produtividade (sc/ha) e a produção contabilizada em mil sacas beneficiadas.

Tabela 1. Comparativo de área, produtividade e produção – Café arábica

REGIÃO/UF	ÁREA EM PRODUÇÃO (ha)			PRODUTIVIDADE (sc/ha)			PRODUÇÃO (mil sacas beneficiadas)		
	Safra 2014	Safra 2015	VAR %	Safra 2014	Safra 2015	VAR %	Safra 2014	Safra 2015	VAR %
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(c/d)	(e)	(f)	(e/f)
NORDESTE	111.339,0	111.050,0	-0,3	11,99	10,46	-12,70	1.331,3	1.162,1	-12,7
BA	111.339,0	111.050,0	-0,3	11,96	10,46	-12,50	1.331,3	1.162,1	-12,7
Cerrado	11.973,0	9.129,0	-23,8	36,34	37,00	1,80	435,1	337,8	-22,4
Planalto	99.366,0	101.921,0	2,6	9,02	8,09	-10,30	896,2	824,3	-8,0
CENTRO-OESTE	6.271,8	6.286,0	0,2	38,04	36,43	-4,20	238,6	229,0	-4,0
MT	135,0	111,0	-17,8	14,81	15,32	3,40	2,0	1,7	-15,0
GO	6.136,8	6.175,0	0,6	38,55	36,81	-4,50	236,6	227,3	-3,9
SUDESTE	1.344.197,0	1.326.726,6	-1,3	22,38	21,56	-3,70	30.084,5	28.599,3	-4,9
MG	981.610,0	954.067,0	-2,8	22,77	22,55	-0,90	22.346,7	21.516,3	-3,7
Sul e Centro-Oeste	501.214,0	474.611,0	-5,3	21,56	21,60	0,20	10.803,7	10.251,3	-5,1
Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste	174.369,0	170.634,0	-2,1	33,06	24,80	-25,00	5.765,5	4.231,4	-26,6
Zona da Mata, Rio Doce e Central	275.827,0	279.633,0	1,4	18,53	23,18	25,10	5.111,5	6.482,9	26,8
Norte, Jequitinhonha e Mucuri	30.200,0	29.189,0	-3,3	22,05	18,87	-14,40	666,0	550,7	-17,3
ES	150.118,0	156.601,0	4,3	19,03	18,76	-1,40	2.856,7	2.938,5	2,9
RJ	12.783,0	12.568,0	-1,7	22,87	24,63	7,70	292,3	309,6	5,9
SP	199.686,0	203.490,6	1,9	22,98	18,85	-18,00	4.588,8	3.834,9	-16,4
SUL	33.251,0	44.500,0	33,80	16,8	27,19	61,90	558,6	1.210,0	116,6
PR	33.251,0	44.500,0	33,80	16,80	27,19	61,90	558,6	1.210,0	116,6
OUTROS	10.862,0	8.731,0	-19,60	8,53	10,83	27,00	92,7	94,6	2,0
NORTE/NORDESTE	111.339,0	111.050,0	-0,30	11,96	10,46	-12,50	1.331,3	1.162,1	-12,7
CENTRO-SUL	1.383.719,8	1.377.512,6	-0,40	22,32	21,81	-2,30	30.881,7	30.038,3	-2,7
BRASIL	1.505.920,8	1.497.293,6	-0,60	21,46	20,90	-2,60	32.305,7	31.295,0	-3,1

Fonte: Conab, 2015.

Como pode ser observado na tabela, o principal estado produtor de café arábica é Minas Gerais, seguido de Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rio de Janeiro e Goiás. Também pode ser observado o crescimento significativo da região Sul com relação aos três

aspectos apresentados. Porém, no total ocorreu uma queda de 3,1% na produção nacional deste tipo de café.

2.2.1. Produção de café em Minas Gerais

A Conab já publicou uma série de quatro mapeamentos do café em Minas Gerais. Sendo o de setembro de 2015 (mais atual) apresentado na Figura 2, com a respectiva divisão das regiões produtoras de café do estado.

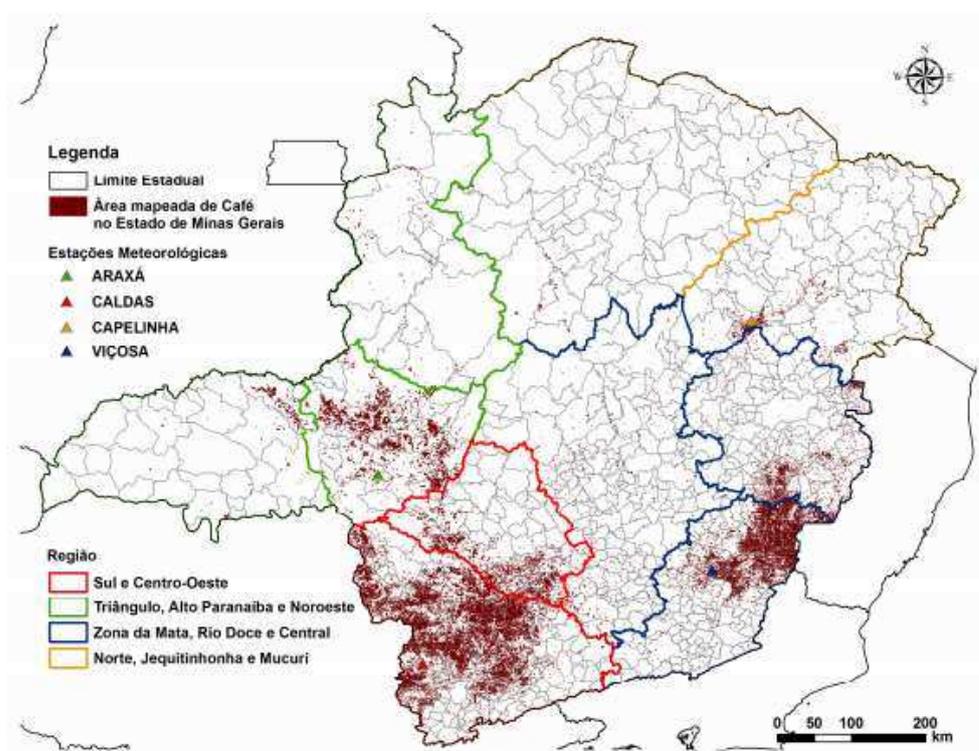


Figura 2. Mapeamento do café em Minas Gerais
Fonte: Conab, 2015.

Os dados fornecidos pela Conab (2015) apresentaram as estimativas de produção da safra mineira de café 2015 que foi de 21,86 milhões de sacas e ficaram 7,6% abaixo dos resultados apurados no levantamento anterior. A retomada das chuvas no último trimestre de 2014 e de fevereiro a junho de 2015 conseguiu, reverter todos os danos causados pelas intempéries do ano passado, mas possibilitou que não se tornassem ainda mais sérios. Este fato viabilizou a recuperação dos cafezais e a preservação da carga produtiva existente na presente safra, mas com uma renda de beneficiamento novamente aquém da média

histórica, resultando numa redução de 0,7% na produtividade média, estimada em 22,55 sc/ha.

Em termos da produção de café em Minas Gerais, estima-se uma retração de 3,5%, comparativamente ao ano safra 2014, que fechou com 22,72 milhões de sacas, e uma queda de 21% comparada a 2013, quando se atingiu uma produção recorde de 27,66 milhões de sacas (CONAB, 2015).

Com relação à qualidade da safra de café 2015, foi confirmado um maior volume de cafés de peneira baixa, visto que os períodos de estiagem comprometeram o enchimento dos grãos, e também a maior incidência de cafés com baixa qualidade de bebida, em face do clima mais frio na fase inicial da colheita (CONAB, 2015).

No tocante ao rendimento do café no beneficiamento, diferentemente da safra passada, em que as quebras decorreram do altíssimo índice de grãos chochos e mal granados, a safra de 2015 tem apresentado rendimentos menores devido à maior presença de grãos miúdos (CONAB, 2015).

2.3. Café moca

Moca (em árabe: المخملا, pronunciado "al-Mukhā") é uma “variedade” rara de café da espécie *Coffea arabica*, muito encontrada do porto de Moca, no Iêmen. Entre os séculos XV e XVII, Moca foi o mais importante mercado de café do mundo. O café Moca (Mocha) recebeu esse nome devido à cidade de Mocha, na costa do Mar Vermelho, no Iêmen, que no século XV foi um importante exportador de café, especialmente para áreas ao redor da Península Ibérica (MARTINS, 2012).

O fruto do café é uma drupa proveniente de um ovário bilocular, de cor avermelhada ou amarelada quando maduro, tornando-se escuro depois de seco. Possui duas lojas que abrigam normalmente duas sementes, chamadas de grãos chatos. No entanto, devido a problemas genéticos e ambientais, pode haver o desenvolvimento de uma só semente, que ocupa todo espaço do ovário se tornando um grão ovóide denominado moca (BOREM, 2008). As Figuras 3 e 4 ilustram a formação do café moca e do café chato respectivamente.



Figura 3. Café moca
Fonte: Maoncha, 2013.



Figura 4. Café chato
Fonte: Maoncha, 2013.

Os grãos denominados moca se diferenciam dos grãos chatos por serem arredondados. Os grãos chatos são mais compridos do que largos, mais afinados nas pontas e possuem uma ranhura central no sentido longitudinal (Figura 4). O café moca é proveniente da não fecundação de um dos óvulos do fruto que normalmente apresenta duas lojas. Assim, apenas um grão se desenvolve, preenchendo o vazio deixado pelo outro e tomando a forma arredondada (TEIXEIRA, 1999). Segundo Daviron & Ponte (2005), devido ao seu formato arredondado e por ser único no fruto de café, esse grão torra de uma forma mais homogênea e concentra um maior teor de açúcares quando comparado ao grão chato, isso favorece no “bouquet” (conjunto de aromas) da bebida final, proporcionando um melhor perfil de sabor na xícara. A maior concentração de açúcares favorece o aparecimento de um sabor achocolatado.

Em cafeterias espalhadas pelo mundo, é notório a presença de cafés Moca ou Mocha, que são aqueles que possuem (em sua maioria) uma mistura (principal) de café com chocolate e outros possíveis ingredientes. Segundo Smith (1985), a origem dessa mistura está intimamente ligada ao fato de que os revendedores incapazes ou não dispostos a comprar o café moca verdadeiro, começaram a adicionar pequenas quantidades de chocolate em outros grãos de café para revendê-los como moca, na tentativa de duplicar o sabor sutil do grão real. Esta prática foi depois aplicada a qualquer café ao qual foi adicionado o chocolate.

A presença de elevado número de grãos moca indica alguma deficiência na fecundação, fenômeno relacionado basicamente a problema genético, com interferência, ainda, de fatores climáticos e de nutrição. Na base e até no meio dos ramos produtivos, os frutos são maiores e apresentam maior porcentagem de grãos chatos. Já na ponta dos ramos, os grãos são menores e ocorre maior porcentagem de grãos mocas (MATIELLO et al, 2010). Boaventura (1987) constatou que a espécie *Coffea arabica* possui uniformidade com relação ao tamanho das sementes e reduzida quantidade de grãos tipo moca, enquanto que em *C. canephora* ocorre maior variabilidade no tamanho das sementes e quantidade elevada de grãos tipo moca.

Segundo Camargo & Camargo (2001), considera-se que o café arábica apresenta seis fases fenológicas distintas no decorrer do ano: vegetação e formação das gemas foliares; indução e maturação das gemas florais; florada; granação dos frutos; maturação dos frutos e repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários. Os autores relatam também que nas condições de déficit hídrico na fase de expansão, ocorre atraso com relação ao crescimento dos frutos, resultando em seu baixo diâmetro (não desejado para a comercialização), e redução da produtividade. Essa consideração ajuda a justificar a maior produção de grãos moca no Brasil em 2015.

O veranico de aproximadamente 25 dias ocorrido entre dezembro e janeiro de 2015 teve baixo impacto sobre os cafezais da região. Entretanto, as altas temperaturas que acompanharam o período de estiagem na fase de granação dos frutos, potencializadas pelas condições adversas a que foram submetidas as lavouras em 2014, se traduziram em abortamento de flores e frutos, menor desenvolvimento dos grãos, ou seja, os primeiros cafés colhidos apresentam grande quantidade de grãos verdes e tamanho reduzido – café peneira baixa, e elevação dos índices de grãos moca (CONAB, 2015).

A quantidade de grãos moca produzida é um fator de extrema relevância, e está intimamente ligada à estresse hídrico. Vários trabalhos relacionam o teor deste tipo de grão produzido à técnicas de irrigação, além de formas e tipos de adubação e de plantio (GARUMA et al., 2015; CUSTÓDIO et al., 2014; SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2011; PAIVA et al., 2010; PEDRODO et al., 2009; LAVIOLA et al., 2007; CUSTÓDIO et al., 2007; GOMES et al., 2007).

2.3.1. Mercado do café moca

Alguns fornecedores de cafés especiais comercializam o puro café moca, dando ênfase ao seu perfil de sabor característico e agradável (RICKETTS et al., 2004). O mercado de café moca ainda é pequeno quando comparado ao de café convencional, porém, os preços relacionados à esse tipo incomum de café são mais altos, podendo ser comparados aos preços de café especiais.

Na Figura 5 é possível verificar preços (em dólar) de vários tipos de café comercializados mundialmente. Segundo Malta et al., (2008) O preço do café baseia-se em parâmetros qualitativos e depende significativamente da qualidade apresentada. Sendo assim, cuidados e técnicas adequados de colheita e pós-colheita são fundamentais para a obtenção de um produto de qualidade com maior rentabilidade

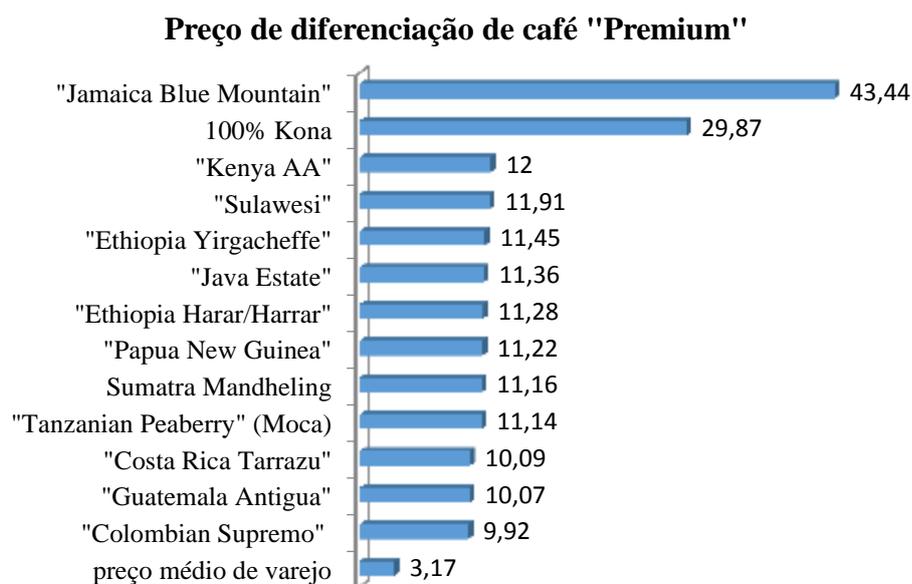


Figura 5. Comparação de preços entre variados e diferenciados tipos de cafés nos mercados internacionais de Agosto a Dezembro de 2006 (dólar/libra) (Uma libra corresponde à aproximadamente 453 gramas)

Fonte: Teuber, 2007.

Dentre os cafés mocas encontrados no mercado, o Tanzaniano (“Tanzanian Peaberry”) é o mais famoso e com maior valor de mercado. Essa declaração é confirmada por Bliss et al (2011), que afirma que a Tanzânia é o lugar onde as plantas parecem mais propensas à produzir moca do que em qualquer outro lugar no mundo, podendo chegar à 35% da produção, ao passo que o Brasil e a Etiópia, por exemplo, produz uma média de 10% e 15% respectivamente (RICKETTS et al., 2004). De acordo com a Figura 5, verifica-se que

esse tipo de café tem um alto valor de mercado, sendo comparado a outros tipos de café de padrão internacional como aqueles vindos de regiões africanas.

A Tabela 2 reúne informações mais recentes a respeito da venda do grão de café moça torrado provenientes de vários países.

Tabela 2. Informações referentes à venda de cafés moça (grão torrado)

País de origem	Quantidade de produto	Preço (Dólar)	Fonte
Tanzânia	500g	105,80	(WORDMARKET, 2015)
Tanzânia	500g	44,40	(COFFEEAM, 2015)
Sumatra	500g	21,30	(PEABERRYCOFFEE, 2015)
Iêmen	500g	21,90	(PEABERRYCOFFEE, 2015)
Kênia	500g	26,00	(PEABERRYS, 2015)
Etiópia	500g	26,00	(PEABERRYS, 2015)
Costa Rica	500g	19,50	(DOKAESTATE, 2015)

Comparando os dados apresentados na Tabela 2, aos da Figura 5, nota-se uma certa similaridade de valores e uma certa valorização com relação aos preços dos grãos. Porém é válido lembrar que a Figura 5 relaciona médias de valores catalogados na época de pesquisa e utiliza de um número muito maior de amostras e marcas, ao passo que esta tabela apresenta poucos produtos, pois foi apresentada apenas para comparação e verificação dos preços atuais de mercado.

Outro ponto importantes com relação à participação do Brasil no mercado internacional de café moça, uma vez que nacionalmente, não se dá grande enfoque desse tipo de café. Porém, apesar de pequeno, o mercado de café moça brasileiro existe e algumas amostras pertencentes à ele estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Cafés de grãos moça brasileiros torrados comercializados no Brasil e em outros países

Região	Quantidade de produto	Preço (Reais)	Mercado	Fonte
Serra da Mantiqueira, Carmo de Minas - MG.	500g	52,00	Brasileiro	LOMBAS, 2015
Mix do Cerrado Mineiro e Sul de Minas Gerais - MG	500g	55,00	Brasileiro	ARMAZEM, 2015
Sul de Minas - MG	500g	75,00	Internacional (exportação)	WORLDTRADERCOFFEE, 2015

A Associação Brasileira da indústria de Café – ABIC apresentou um levantamento de preços médios de varejo de café tradicional, para o ano de 2015, sendo que a média anual foi de 7,40 reais para 500g de produto (ABIC, 2016). Comparando este valor aos que podem ser observados na Tabela 3, verifica-se que o grão moça brasileiro também possui um preço expressivo, porém o mercado nacional ainda é pequeno quando comparado à outros tipos de cafés.

Um outro ponto a ser destacado que contribui para o pequeno porte do mercado nacional, seria o fato de a produção desse café ser voltada para exportação, uma vez que ele é maior valorizado internacionalmente.

2.4. Qualidade do café

O café de boa qualidade requer cuidados especiais desde a fase de pré-colheita, passando pela colheita, até a pós-colheita. Nestas fases diversos fatores podem ocasionar alterações que poderão prejudicar a futura bebida do produto (CARVALHO, 1998). A qualidade do café está diretamente relacionada aos diversos constituintes físicos, físico-químicos e químicos que são responsáveis pela aparência do grão torrado, sabor e aroma característicos das bebidas. Entre esses compostos, destacam-se os constituintes voláteis, fenólicos (ácido clorogênico), ácidos graxos, proteínas e algumas enzimas cujas presenças, teores e atividades conferem ao café sabores e aromas peculiares (LOCKHART, 1957; GNAGY, 1961; FELDMAN et al., 1969; AMORIM, 1972; OLIVEIRA, 1972; VALÊNCIA-ARISTIZABAL, 1972 e AMORIM & TEIXEIRA, 1975).

Pereira (1997) define a qualidade do café de forma mais ampla e dependente de: a) composição química dos grãos, determinada por fatores genéticos, ambientais e culturais; b) métodos de colheita, processamento e armazenamento; c) torração e preparo da bebida. Segundo este autor, a torração e o preparo da bebida influenciam na modificação da constituição química dos grãos e ressalta que estas alterações são dependentes da composição original dos mesmos. A qualidade da bebida do café está intimamente ligada ao sabor e aroma que este apresenta, gerando satisfação aos consumidores que o degustam. Para Lopes, Pereira e Mendes (2000) a qualidade da bebida do café está associada, principalmente, à satisfação dos consumidores na observação da combinação balanceada

de sabores e aromas (*Flavor*), que se tornam perceptíveis apenas com a torração dos grãos, a qual é dependente das substâncias químicas existentes no grão cru que são utilizadas na formação dos compostos responsáveis por esses atributos.

Bebidas de melhor qualidade são obtidas ao se processar o café no estágio de maturação cereja, conforme pode ser observado em diversos trabalhos encontrados na literatura. Nesse estágio de maturação, o fruto encontra-se com a composição química adequada para obtenção de cafés de qualidade superior (PAIVA, 2005).

Produzir cafés de melhor qualidade poderia representar bons diferenciais de preço do produto e, conseqüentemente, maior lucro para o produtor. Porém, em certas regiões, a produção de cafés de qualidade exige investimentos adicionais que precisam ser racionalizados, buscando associar a qualidade adequada ao menor custo (COFFEE BUSINESS, 2001).

Além do conjunto de atributos físicos, químicos e sensoriais que são frequentemente citados na literatura, vale lembrar que, os atributos higiênico/sanitários devem também ser considerados de grande importância para se produzir cafés de qualidade, para satisfazer às exigências dos mais rigorosos consumidores.

2.5. Propriedades físicas do grão de café

O conhecimento das propriedades físicas do grão de café (antes, durante e depois do processo de torrefação), além de fornecer informações úteis para o projeto de equipamentos e do processo, constitui uma ferramenta para avaliar a qualidade do produto e da bebida. Os grãos defeituosos representam entre 15 e 20% da produção do Brasil (OLIVEIRA et. al., 2006) e sua classificação pode ser feita com base em suas propriedades físicas.

Mendonça et al. (2009) realizaram uma avaliação comparativa (volume, massa específica e cor) de grãos sadios e defeituosos de café arábica e robusta antes e depois da torra verificando o tamanho como um bom indicador da qualidade para as duas espécies, enquanto a cor como um indicador mais efetivo para a espécie robusta. A massa específica

do grão está relacionada com o conteúdo de matéria seca e maiores valores desta propriedade refletem em grão de melhor qualidade.

As características estruturais (definidas pelo tratamento térmico) podem afetar diretamente as propriedades físico-químicas, funcionais, tecnológicas e ainda nutricionais dos produtos alimentícios (LAVERSE et al., 2012). O café torrado em altas temperaturas apresenta maior expansão volumétrica e poros maiores, facilitando a migração de óleo e a oxidação durante o armazenamento (SCHENKER et al., 2000; GEIGER, 2004) fatos estes que contribuem para diminuir a qualidade de bebida..

O mecanismo da expansão pode ser estudado como um processo balanceado entre a formação de gás (vapor de água e CO₂) como força motriz, e as transições de estado do material da parede celular como força de resistência (GEIGER, 2004). Schenker (2000) estudou as transições de estado vítreo para elástico durante a torrefação encontrando que o grão permanece maior tempo no estado elástico durante à torra a altas temperaturas, o que contribui à maior capacidade de expansão nestas condições. Segundo Pittia et al. (2001), o aumento do volume do café durante a torra pode ser quantificado pelas medidas dos seus três principais eixos.

Cortez (2001) relacionou as variáveis de temperatura com a perda da água dos grãos de café arábica durante a torrefação. Ele visualizou que até o momento em que os grãos atingem 105°C, não ocorre alterações químicas. Ao passo que entre 105 e 150°C, ocorre a fase endotérmica, com a produção de CO₂ e o aumento do tamanho dos grãos, em razão da pressão do gás que se expande nas paredes celulares do endosperma. A partir de 150°C, inicia-se a fase de reações exotérmicas que ocorrem significativamente até o grão atingir 230°C. A partir desse ponto, as reações químicas se esgotam, iniciando-se o processo de degradação de outros componentes do café, como celulose e lipídios insaponificáveis, dentre outros. Nesse momento, o processo deve ser interrompido por meio de resfriamento do grão.

Durante os processos que englobam a torrefação, o estudo das consequências (alterações no teor de água, cor e expansão dos grãos) torna-se necessário. Uma das formas de se avaliar as transformações ocorridas é por meio de modelagens matemáticas, as quais são de suma importância para predição de dados. Essa avaliação por meio de modelagem

pode fornecer parâmetros utilizados para o estudo de transferência de calor e massa, durante processos de secagem; para o dimensionamento de torradores; além de possibilitar maior praticidade em relação à predição da qualidade do produto final.

2.6. Torrefação

De acordo com Silvetz & Desrosier (1979), o processo de torrefação pode ser dividido em três etapas consecutivas: secagem, torrefação propriamente dita e resfriamento. Na primeira, a perda de massa ocorre devido à eliminação de água e liberação de compostos voláteis presentes nos grãos. Nesse estágio, os grãos mudam da cor verde para amarela. Já a segunda, é caracterizada por reações exotérmicas de pirólise, que resultam na modificação da composição química dos grãos em razão da liberação de grandes quantidades de gás carbônico. Esta etapa se inicia quando o grão atinge 150°C. A cor dos grãos muda de marrom-claro a escuro, devido à caramelização de açúcares e das “Reações de Maillard” (que ocorrem devido à presença de aminoácidos e sacarose) (CORTEZ, 2001). Além disso, esta fase também é caracterizada pela expansão dos grãos, cujo volume pode duplicar. A terceira etapa é necessária para promover o resfriamento imediato por injeção de ar frio ou aspersão de água, para evitar a carbonização do produto.

Na maioria dos torradores industriais, o controle do processo é feito indiretamente, usando a cor do grão e a perda de massa como os principais parâmetros para definir o nível de torra. Uma vez que estes parâmetros, por si só, não são confiáveis para obter uma correta avaliação (FRANÇA et al., 2009), durante a última década diversos estudos tentaram desenvolver ferramentas de controle do processo não invasivas e em tempo real (controle preventivo além de uma ferramenta de otimização) procurando obter um café de alta qualidade. Este controle pode ser feito mediante o monitoramento da temperatura do grão (ALONSO-TORRES et al., 2013) e pelo monitoramento dos compostos voláteis (VOC's) gerados durante o processo. Os gases gerados durante a torrefação são uma complexa mistura principalmente de gases inorgânicos inodoros (CO₂, CO, N₂ e H₂O) e menos de 1% de VOC's. Aproximadamente 800 VOC's têm sido identificados no café torrado e cerca de 40 deles são responsáveis pelo aroma. Sua presença e intensidade no produto final dependem do binômio tempo-temperatura. (BELITZ et al. 2009).

A Specialty Coffee Association of America - SCAA e a empresa norte-americana Agrtron criaram padrões aceitos internacionalmente para monitorar indiretamente, isto é fora do forno, o grau de torra. Este consiste de uma escala de 0 a 100 determinada com base na absorção de luz infravermelha pelo grão de café ou pelo pó. Também, a Agrtron desenvolveu um espectrômetro de infravermelho específico para a determinação do grau de torra e criou discos de cores conforme os padrões definidos na escala. Assim, a SCAA universalizou o controle da torra através de comparações visuais usando esses discos coloridos como também por espectroscopia no infravermelho próximo (EMBRAPA, 2004).

2.7. Análise sensorial: avaliação de qualidade de bebida

A avaliação da qualidade do café é feita pela análise sensorial (prova de xícara), a qual descreve as propriedades sensoriais dos produtos e mede a intensidade em que elas foram percebidas pelos provadores (MONTEIRO, 2002). Exige provadores especializados, que dependendo do treinamento, ou mesmo da frequência que provam determinados tipos de café, podem desenvolver habilidades sensoriais distintas. Isto acarreta distorções, fazendo com que haja discordância entre amostras provadas por diferentes provadores (MAZZAFERA, 2002).

O sabor característico do café deve-se à presença e aos teores de vários constituintes químicos voláteis e não voláteis, tais como aldeídos, ácidos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos e compostos fenólicos (VILAS BOAS et al., 2001). Segundo Franca, Mendonça e Oliveira (2005), as características de flavor e aroma do café são resultado de uma combinação de diversos compostos químicos produzidos através das reações que ocorrem durante a torração, sendo os constituintes dos grãos verdes os precursores do sabor final da bebida do café.

O café é rico em lipídios, com níveis variáveis para as espécies Arábica e Robusta. O conteúdo para grãos arábica varia entre 12 a 18%, e para grãos robusta entre 9 a 14% (CLIFFORD, 1985). Os lipídios desempenham papel importante na qualidade sensorial de várias plantas (GUTKOSKI et al., 1999) e, no caso específico do café, podem ser considerados como potenciais contribuintes para a perda de qualidade, devido à sua

oxidação e desenvolvimento de off-flavors (FRANKEL, 2005). Dentre os ácidos graxos encontrados nos grãos de café, alguns estudos recentes têm demonstrado a influência dos ácidos palmítico, esteárico, elaídico, oleico, linoleico, linolênico e araquídico na sua qualidade e também na diferenciação de ambientes (BERTRAND et al., 2008; FIGUEIREDO, 2013; JHAM et al., 2010; VILLARREAL et al., 2009).

De acordo com o exposto e considerando o fato de o grão moca possuir formato elipsóide e concentrar maior teor de açúcar (uma vez que se desenvolve de forma unitária no interior do fruto) quando comparado ao grão chato, objetivou-se o estudo aprofundado das mudanças que ocorrem durante o processo de torra; propendendo a análise de comportamento dos grãos moca durante esta operação unitária, visando a verificação de maior homogeneidade de torra (rolagem do grão facilitada no interior do torrador), o que poderá influenciar nas propriedades físicas deste café. Esta análise será importante para considerar se ambos os tipos de cafés apresentam comportamento semelhante durante o processo de torra, e assim, ponderar sobre as condições e metodologias dedicados ao café de forma geral. Uma vez que uma das funções do conhecimento das propriedades físicas é a otimização de processos. Sendo assim, este trabalho apresenta grande relevância, já que o produto apresenta valor de mercado atrativo, características que o diferencia do café convencional, além de poucos trabalhos correlatos na literatura.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Analisar a variação das propriedades físicas de grãos de café moca durante o processo de torra por meio de modelagem matemática e avaliar a qualidade da bebida resultante.

3.2. Objetivos Específicos

- a. Coletar dados referentes ao teor de moca encontrado em amostras de café em Minas Gerais, nas cidades: Coimbra, Araponga, Ervália, Paula Cândido, São Miguel do Anta, Teixeiras e Canaã;
- b. Analisar as variações das propriedades físicas: esfericidade, circularidade, massa específica real, volume, área superficial e cor de grãos de café moca durante o processo de torra;
- c. Determinar e modelar a expansão volumétrica unitária do grão em função da perda de umidade e das temperaturas de torra;
- d. Comparar as modificações ocorridas durante o processo de torra, com grãos de café convencionais (chato) provenientes da mesma amostra;
- e. Avaliar sensorialmente a bebida resultante da torra de café moca.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – Minas Gerais (MG).

O experimento realizado foi dividido em quatro etapas, as quais estão representadas na Figura 6 e serão discriminadas e detalhadas nos tópicos à seguir.

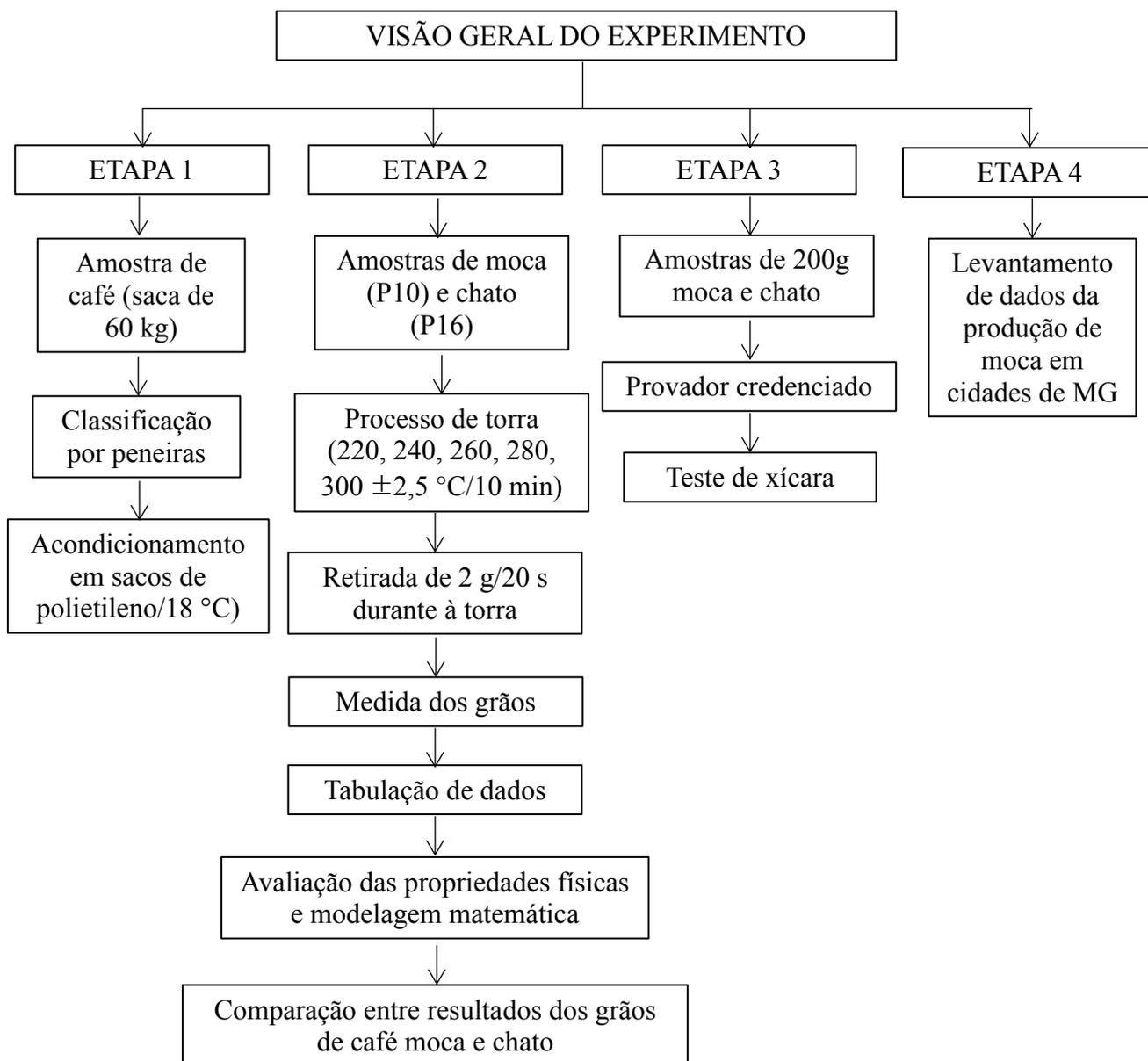


Figura 6. Etapas do experimento desenvolvido

Como pode ser observado na Figura 6, a Etapa 1 corresponde aos tratamentos prévios realizados à matéria-prima (saca de café *Coffea arabica*, variedade catuaí vermelho; de 60 kg) antes do processo de torra, o qual corresponde à etapa seguinte.

A Etapa 2 corresponde à torra dos grãos de café (moca e chato) selecionados seguida da análise dos dados correlatos, inerentes ao processo.

A terceira Etapa apresenta um teste de xícara comparativo para amostras de café moca e chato provenientes da mesma produção (saca de café em questão); e a última etapa foi

realizada com o intuito de verificar a quantidade de moca produzido em algumas cidades em Minas Gerais.

4.1. Etapa 1

O fluxograma que apresenta os passos relacionadas à etapa 1, está representado na Figura 7.

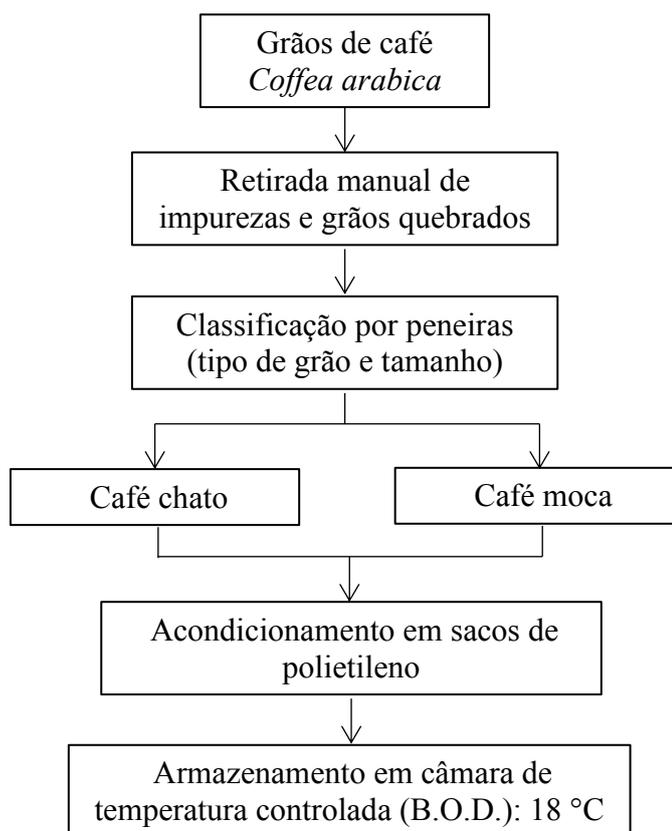


Figura 7. Fluxograma da Etapa 1 do experimento correspondente à preparação dos grãos de café para à torra

Assim como pode ser visualizado na Figura 7, foram utilizados grãos de café beneficiados, *Coffea arabica* L. variedade catuaí vermelho (saca de 60 kg), com teor de água inicial de 0,104 kg a . kg ms⁻¹ originários de uma unidade beneficiadora de café localizada em Viçosa, Minas Gerais. Os grãos foram submetidos à uma classificação prévia (manual) com o objetivo de se retirar impurezas, como cascas e grãos quebrados. Após esse processo, os grãos chatos foram separados dos mocas por meio da utilização de

peneiras. Elas separaram os grãos por formato e tamanho devido ao formato e tamanho de seus crivos.

A peneiras que possuíam de crivos oblongos, de numeração 9 à 13, foram utilizadas para o grão moça e as circulares de 12 a 19 para o chato (Figura 8 e Figura 9). As medidas dos crivos das peneiras são dadas em frações de 1/64 de polegada e o número da peneira corresponde ao numerador da fração. Por exemplo, a peneira de numeração 19 possui crivo de medida correspondente à 19/64 de polegada. Embora a classificação de grãos chatos se estenda no intervalo de peneiras entre o nº 8 e 22, o café para o comércio internacional só é aceito entre as peneiras de nº 13 a 20, com uma tendência dos importadores preferirem os cafés com peneira acima do número 16. Os cafés de maior peneira, associados a outros aspectos de boa qualidade, geralmente apresentam maior valor no mercado (LOPES et al., 2003).

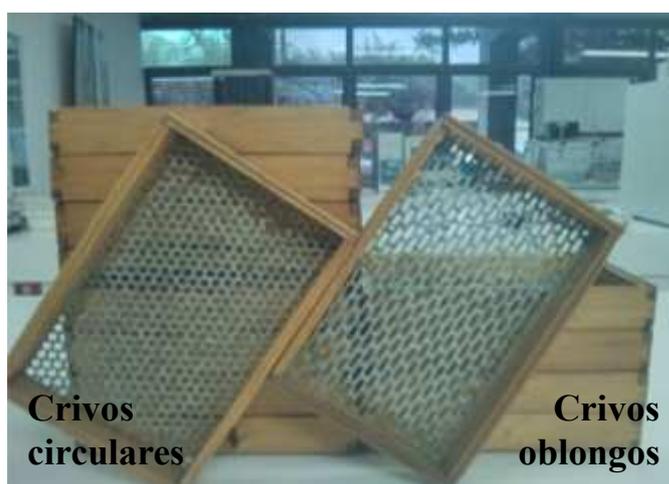


Figura 8. Peneiras utilizadas na classificação de café. Peneiras de crivos circulares para grão chato à esquerda e de crivos oblongos para grão moça.

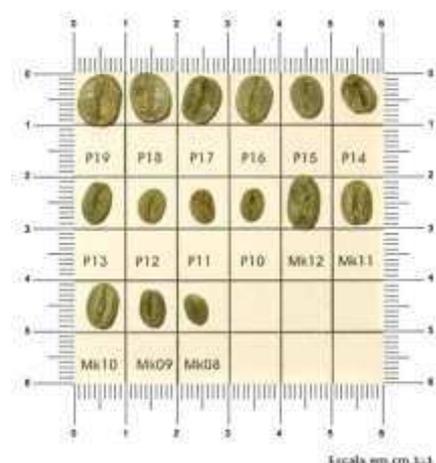


Figura 9. Dimensão dos crivos utilizados na separação por peneiras
Fonte: Unicafé, 2004.

Após essa etapa, os grãos classificados foram acondicionados em sacos de polietileno e armazenamento em câmara com temperatura controlada (B.O.D.) Fanem, modelo 347-CD, série TV 864, à 18°C, para manter as características iniciais dos grãos até o processo de torra.

4.2. Etapa 2

A Figura 10 representa o fluxograma de processo correspondente à etapa 2.

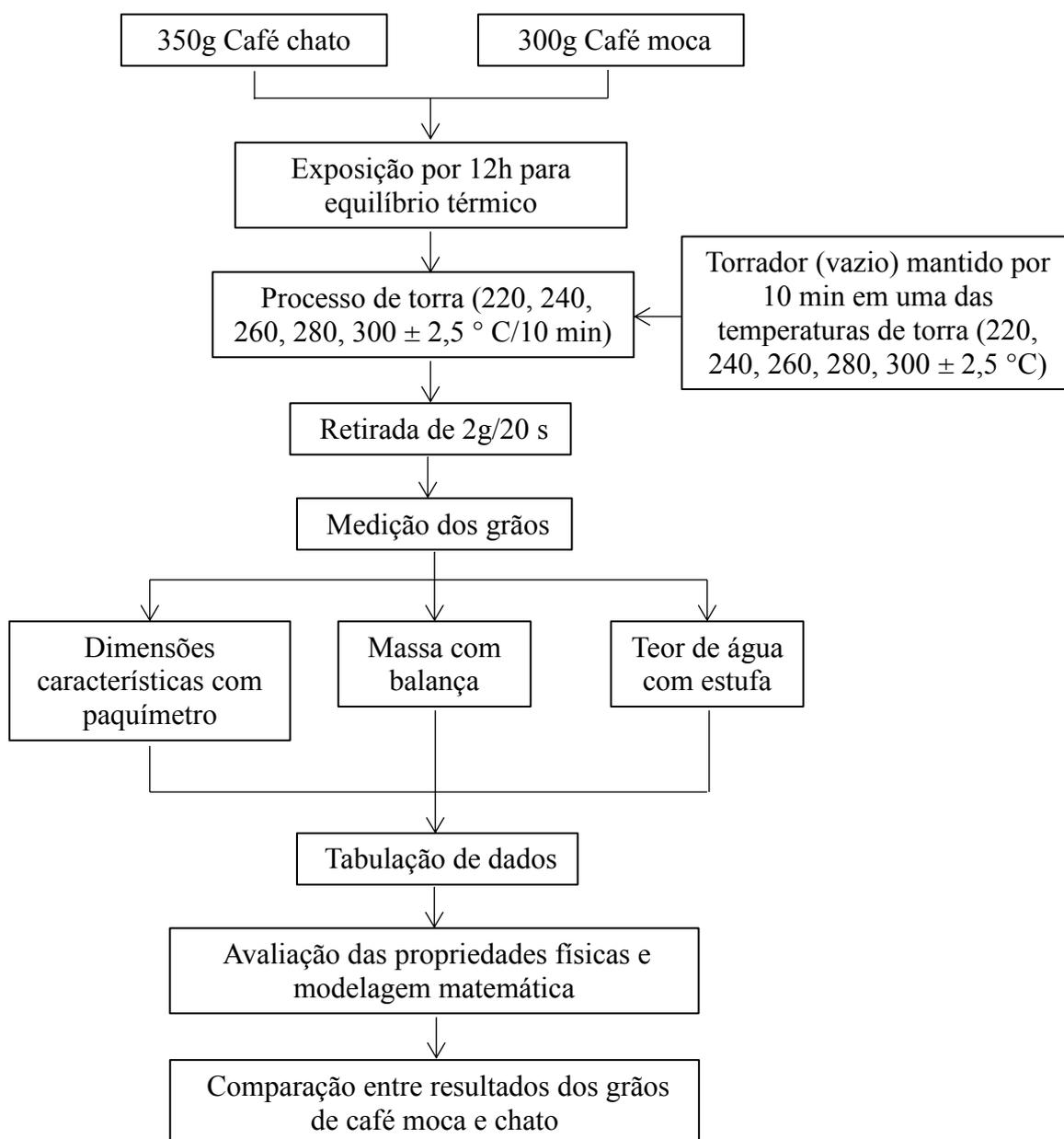


Figura 10. Fluxograma dos processos correlatos à etapa 2

Assim como pode ser observado na Figura 10, a etapa 2 corresponde à etapa em que ocorre a torra dos grãos propriamente dita, assim como a coleta de dados relacionados ao processo e análise dos mesmos, utilizando de equações matemáticas.

4.2.1. Processo de torrefação

Para a etapa de torra e geração de dados, foram utilizadas amostras de 300 g de grãos moca peneira n° 10 e 350 g grãos chato n°16 (peneiras que retiveram maior quantidade de grãos em relação às demais).

As temperaturas utilizadas foram: 220, 240, 260, 280 e $300 \pm 2,5$ °C. O tempo de processo total foi de 10 minutos sendo que a cada 20 segundos foram retiradas cerca de 2 g de amostra para verificação das modificações ocorridas durante o processo de torra. As temperaturas: 240, 260 e 280 °C, são valores definidos pela literatura (SCHENKER, 2000) (adaptado) para os níveis de torra clara, média e escura respectivamente. E para melhorar o ajuste do modelo, foram utilizadas temperaturas de 220 e 300°C, com o intuito de promover condições extremas.

As amostras foram retiradas da câmara com temperatura controlada e expostas ao ambiente por aproximadamente 12 h para atingir o equilíbrio térmico e minimizar as variações relacionadas à temperatura inicial.

Foi usado um torrador de queima de gás direto com cilindro rotativo a 45 rpm (Figura 11). A temperatura do ar foi medida por um termopar tipo k (Figura 12), posicionado no interior do cilindro e controlada manualmente com uma válvula de passo de gás. Os torradores eram previamente ligados e permaneciam por 10 minutos na temperatura de torra indicada para melhor controle de processo.



Figura 11. Torrador com cilindro rotativo



Figura 12. Termopar tipo k

A temperatura do grão foi medida por meio de termômetro infravermelho Testo 830-T1 (Figura 13).



Figura 13. Medição de temperatura na superfície dos grãos por meio de termômetro infravermelho

O experimento foi efetuado em 3 repetições para cada temperatura e cada grão.

4.2.2. Massa específica real

A massa específica real dos grãos de café foi determinada usando-se a metodologia de complementação de volume (MOREIRA et al., 1985) e óleo de soja como líquido. Como esta metodologia foi desenvolvida para grãos de pequenas dimensões, algumas adaptações tiveram de ser realizadas. A massa específica real de um produto é obtida pela equação apresentada a seguir (Eq. 1).

(Eq. 1)

$$\rho_u = \frac{m}{V}$$

Sendo:

ρ_u = massa específica real (kg.m^{-3})

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

Foram utilizadas amostras contendo 20 grãos derivados de cada formato (chato e moca) e tamanho (numeração de peneira). O experimento foi realizado em 3 repetições.

4.2.3. Teor de água no grão

O teor de água foi obtido empregando-se o método da estufa, a 105 °C por 24 h, utilizando-se uma balança analítica com precisão de 0,001 g (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Foram tiradas amostras de aproximadamente três gramas a cada 20 s durante o tempo de torra. Foram feitas três repetições para cada temperatura de torra.

4.2.4. Perda de massa

A massa do grão foi determinada em balança analítica de 0,001 g de precisão. Determinou-se a massa unitária de 10 grãos antes da torra e depois de cada intervalo de tempo de 20 s e então calculou-se a perda de massa (RL) (Eq. 2).

$$RL(\%) = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

RL = Perda de massa (%);

m_0 = massa inicial do grão (g);

m_f = massa do grão ao final do intervalo do tempo de torra (g).

4.2.5. Esfericidade e Circularidade

O grão moca foi aproximado a um elipsóide (Figura 14) e o grão chato a um semi-elipsóide, sendo as dimensões características “a”, “b” e “c”, onde “a” corresponde à maior medida do grão, seguida de “b” e a menor medida “c”.

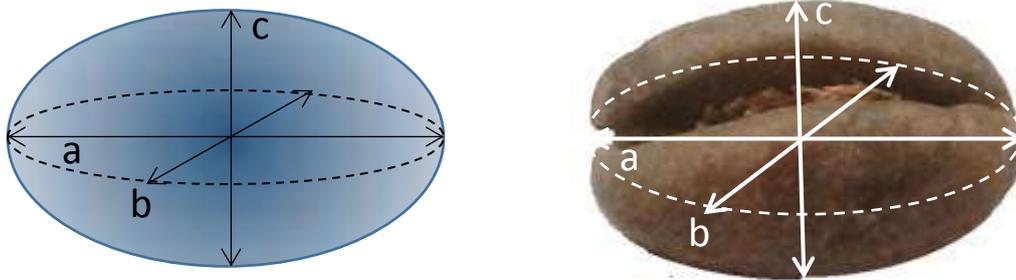


Figura 14. Representação esquemática dos eixos ortogonais do grão de café moca.

A forma dos grãos de moca foi caracterizada pela esfericidade (E_s) (Eq. 3) e circularidade (C) (Eq. 4), calculadas utilizando-se as expressões a seguir (MOHSENIN, 1986).

$$E_s = \left(\frac{abc^{1/3}}{a} \right) 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$C = \left(\frac{b}{a} \right) 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

E_s = esfericidade (%);

C = Circularidade (%);

a = maior dimensão característica (mm);

b = dimensão característica intermediária (mm);

c = menor dimensão característica (mm).

4.2.6. Área superficial do grão

A área superficial do grão (A) foi determinada utilizando-se o modelo citado por Mohsenin (1986) (Eq. 5), medindo-se os eixos a , b e c com paquímetro digital de 0,01 mm de precisão. Determinou-se a área superficial unitária de 10 grãos antes da torra e depois de cada intervalo de tempo de 60 s e então calculou-se o índice de expansão superficial (ΔS) (Eq. 6). Em seguida calculou-se o índice médio dos 10 grãos para cada intervalo de tempo.

$$A = \left[\left(\frac{\pi B^2}{2} + \frac{\pi a B}{2e} \operatorname{sen}^{-1} e \right) / 2 \right] + \left(\frac{\pi a b}{4} \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

onde:

$$B = (2bc)^{1/2} \quad e = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{a} \right)^2}$$

e

$$\Delta S = \frac{A_f}{A_0} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que:

A_f = área superficial do grão no final do intervalo do tempo (m^2);

A_0 = área superficial do grão antes da torra (m^2);

a , b e c = dimensões características do café (mm).

4.2.7. Volume

O volume do grão foi determinado aproximando a forma à um elipsoide para moca (Figura 12) e semi- elipsoide para chato; medindo os eixos a , b e c (MOHSENIN, 1986) (Eq. 7) com paquímetro digital de 0,01 mm de precisão. Determinou-se o volume unitário de 10 grãos antes da torra e depois de cada intervalo de tempo de 20 s e então se calculou o índice de expansão volumétrica (Ψ) para cada (Eq. 8). Por último calculou-se o índice médio dos 10 grãos para cada intervalo de tempo.

$$V = \frac{\pi abc}{6} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\psi = \frac{V_f}{V_0} \quad (\text{Eq. 8})$$

em que:

a, b e c = dimensão características dos grãos (mm);

V_f = volume do grão no final do intervalo de tempo (mm^3);

V_0 = volume do grão antes da torra (mm^3).

4.2.8. Modelagem matemática da expansão volumétrica

O índice de expansão volumétrica foi modelado em função do teor de água do grão usando modelos matemáticos comumente adotados para o fenômeno de expansão e de contração de grãos (BOTELHO, 2009) (adaptado) (Tabela 4). Para o ajuste dos dados ao modelo matemático, foi utilizado o software Statística, versão 7.

Tabela 4. Modelos matemáticos usados para a modelagem da expansão e da contração volumétrica de grãos

Autor	Modelo	
Correa 2004	$\psi = \frac{1}{a + b \exp(X)}$	(Eq. 9)
Exponencial	$\psi = a \exp(bX)$	(Eq. 10)
Linear	$\psi = a + bX$	(Eq. 11)
Polinomial	$\psi = 1 + aX + bX^2$	(Eq. 12)
Rahman	$\psi = 1 + a(X - X_0)$	(Eq. 13)
Bala e Woods	$\psi = a\{1 - \exp[-b(X_0 - X)]\}$	(Eq. 14)
Copace 2014	$\psi = \frac{1}{1 + a(X_0 - X) + b(X_0 - X)^2}$	(Eq. 15)

em que:

ψ = índice de expansão volumétrica unitária (adimensional);

X_0 = Umidade inicial do grão (decimal b.s.);

X = Umidade do grão no tempo (decimal b.s.);

a, b = Parâmetros do modelo.

4.2.8.1. Análise estatística

O ajuste dos modelos aos dados experimentais de índice de expansão volumétrica e superficial foi realizado por análise de regressão não linear pelos métodos Gauss-Newton e Simplex & Quase-Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo e escolher o que melhor representou o fenômeno, foram considerados o coeficiente de determinação (R^2), erro médio relativo (P) (Eq. 16) e o erro médio estimado (SE) (Eq. 17).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (\text{Eq. 17})$$

em que:

Y_i = valor observado;

\hat{Y}_i = valor estimado;

n = número de dados observados; e

GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

4.2.9. Cor

A cor foi avaliada em um colorímetro tristímulo, pela leitura direta de reflectância das coordenadas L^* , a^* e b^* , empregando-se a escala CIE e iluminante $10^\circ/D65$.

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , serão calculados os índices colorimétricos: o croma (C^*) (Eq. 18), e o ângulo hue (h^*) (Eq. 19). A diferença total de cor (ΔE) (Eq. 20) foi calculada levando-se em consideração as condições iniciais.

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (\text{Eq. 19})$$

$$\Delta E = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde:

C^* = croma;

h^* = ângulo hue;

L^* , a^* e b^* = coordenadas colorimétricas.

Também foi calculado o índice de escurecimento (BI) (Eq. 21) das amostras. Esta equação é utilizada em experimentos na área de alimentos processados (PINELI et al., 2005; SARICOBAN & YILMAZ, 2010) para a avaliação indireta da ação das reações químicas que provocam a mudança de cor durante o processamento e armazenamento.

$$BI = [100(x - 0,31)]/0,172 \quad (\text{Eq. 21})$$

em que:

$$x = \frac{(a^* + 1,75 L^*)}{(5,645 L^* + a^* - 3,012 b^*)} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde:

BI = Índice de escurecimento;

L^* , a^* e b^* = coordenadas colorimétricas.

4.2.10. Comparação entre grãos moca e grãos chato

O mesmo experimento realizado para grão moca (peneira 10) foi reproduzido para grão chato (peneira 16). Para critérios de comparação de resultados, foi utilizada a temperatura de torra de 260 °C, por ser a intermediária dentre as cinco utilizadas (220, 240, 260, 280 e 300 °C).

A única diferença com relação ao tratamento dado aos dois tipos de grãos foi a massa inicial de torra, pois foi utilizado 300 g para moça e 350 g para o chato.

4.3. Etapa 3

O fluxograma que representado na Figura 15 apresenta os processos relacionados à terceira etapa.

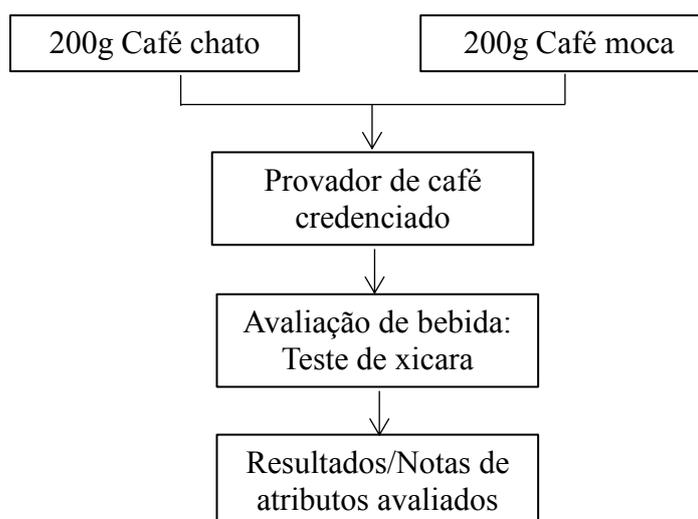


Figura 15. Fluxograma que representa a etapa 3

Como pode ser visualizado na Figura 15, 200 g de grãos moça e chatos provenientes da mesma amostra (saca de 60 kg) foram submetidos ao teste de xícara por um profissional experiente e devidamente credenciado pela EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural).

O profissional designado torrou e moeu os grãos. O processo efetuado por ele foi realizado da seguinte forma: adicionou – se à cada xícara, 10 g de pó de café, em seguida, água fervente a 90°C. A solução permaneceu em repouso por 10 minutos com o objetivo de baixar a temperatura para realizar a percepção do sabor. Neste processo o degustador realizou 3 repetições para cada tipo de grão (moça e chato). (SEGGES, 2001).

A avaliação de bebida seguiu as normas do programa desenvolvido pela ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café, as quais utilizam do Nível Mínimo de

Qualidade - NMQ, que é um conjunto de sugestões para a elaboração de editais de compra de café. Ele estabelece um monitoramento da qualidade do produto adquirido, com avaliações feitas em laboratórios credenciados, por especialistas em café, com base no PQC - Programa de Qualidade do Café (ABIC, 2015b).

O NMQ estabelece uma nota de Qualidade Global - QG, numa escala de 0 a 10 pontos (Figura 16), onde o mínimo aceitável é 4,5 pontos. Os organismos podem definir qual o nível de qualidade desejam para os cafés a serem adquiridos. Podem, por exemplo, definir o Nível Mínimo, que é de 4,5 pontos. Alternativamente, se desejarem uma qualidade melhor ainda e com preço competitivo, podem definir a nota 5,5 pontos, ainda na categoria Tradicional. Por outro lado, se a escolha for para um café diferenciado e ainda melhor, podem escolher um Café Superior, cuja nota inicia com 6,0 pontos (ABIC, 2015b).

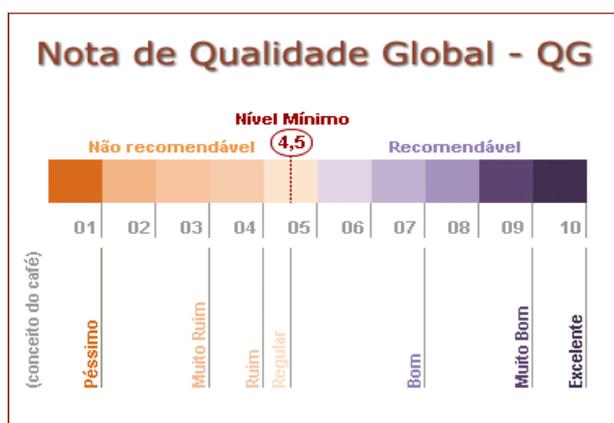


Figura 16. Escala de pontos do Nível Mínimo de Qualidade (NMQ).
Fonte: ABIC, 2015b.

Os atributos avaliados estão apresentados no quadro abaixo (Quadro 1) e a ficha de análise sensorial está apresentada no Anexo A.

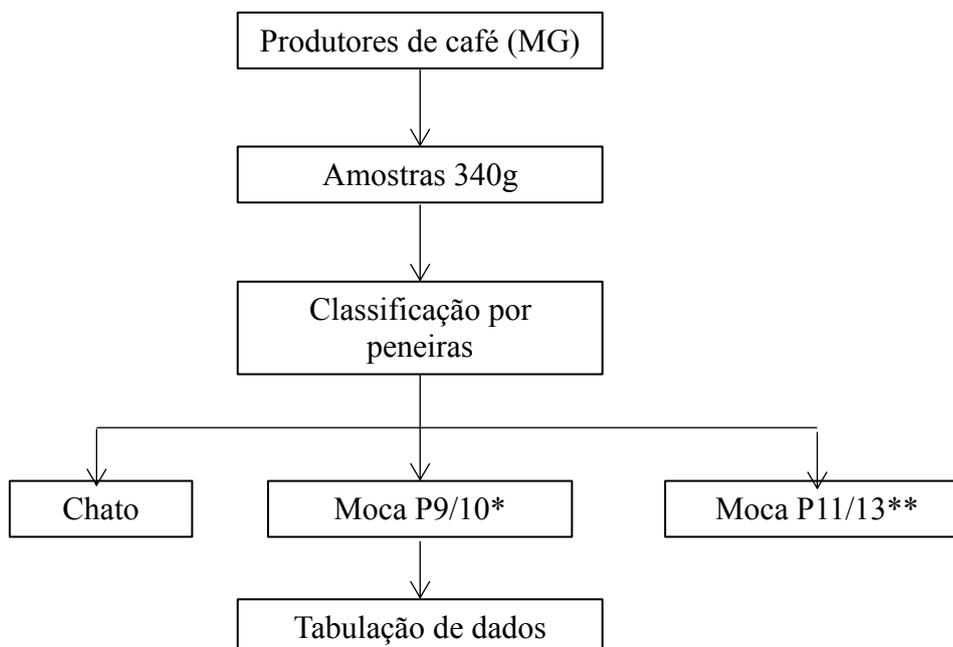
Quadro 1. Atributos avaliados para análise de qualidade de bebida

	Amostra	Moca	Chato
Notas negativas (0 a 5)	Umidade (%)		
	Adstringência		
	Verde/imaturo		
	Irregularidade		
	Subtotal (A)		
Notas positivas (0 a 10)	Sabor		
	Corpo		
	Doçura		
	Geral		
	Subtotal (B)		
	Resultado (B-A)		

* Exemplo de nota positiva: 0 (zero) significa ausência de doçura e 10 (dez) doçura máxima desejável.

4.4. Etapa 4

A Figura 17 apresenta o fluxograma da etapa 4.



P9/P10* = Grãos moca retidos nas peneiras de número 9 e 10;

P11/P13** = Grãos moca retidos nas peneiras de número 11, 12 e 13.

Figura 17. Fluxograma que representa a etapa 4

Como pode ser observado na Figura 17, foram selecionados aleatoriamente, produtores de café localizados em cidades no entorno de Viçosa, Minas Gerais: Coimbra, Araponga, Ervália, Paula Cândido, São Miguel do Anta, Teixeiras e Canaã (Figura 18).

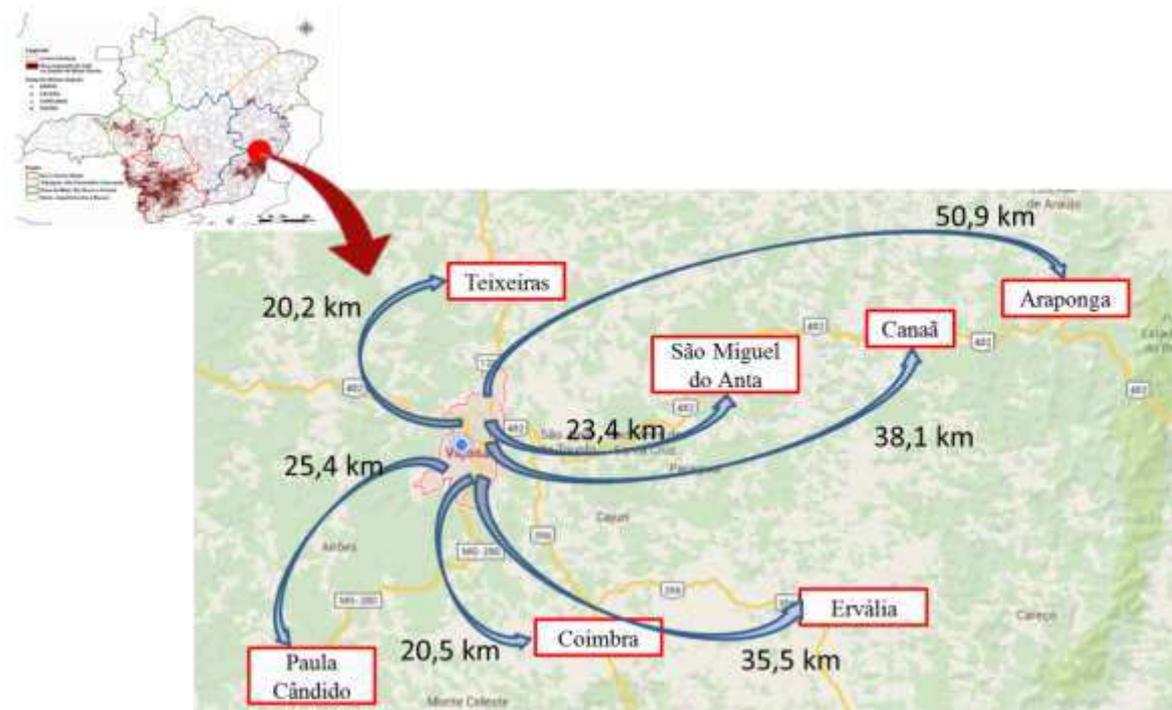


Figura 18. Localidades no entorno de Viçosa onde foram coletadas amostras

Foram coletadas um total de 25 amostras, sendo cada amostra correspondente à um produtor. A Distribuição do número de amostras de cada localidade está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição do número de amostras coletadas em cada localidade

Localidade	Número de amostras
Araponga	9
Coimbra	5
Ervália	5
Paula Cândido	2
São Miguel do Anta	2
Teixeiras	1
Canaã	1

Cada amostra possuía 340g (aproximadamente) e continha uma mistura de grãos moca e chato, dessa forma foi possível determinar o teor de moca produzido no ano de 2015 nessas localidades.

As amostras coletadas foram submetidas ao processo de classificação por meio de peneiras. Inicialmente foram separados dos grãos moca dos chatos, seguida da etapa de classificação por tamanho apenas para o grão moca.

Foram analisados grãos moca provenientes de peneiras 9 e 10, em conjunto, assim como os que foram retidos nas peneiras 11, 12 e 13. Essa divisão classificou mocas como menores e maiores respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Etapa 1

Foram analisados grãos de café *Coffee arábica* L., variedade catuaí vermelho, de amostras contendo grãos chatos e mocas misturados, sendo que do total (em massa), cerca de 71% correspondia ao grão chato e 24% ao grão moca e 5% à impurezas, cascas e grãos quebrados.

Após a retirada das impurezas, os grãos foram classificados por meio de peneiras e os resultados com relação ao teor obtido de cada formato e tamanho estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Classificação dos grãos utilizados por meio de peneiras

Grão moca		Grão chato	
Peneira	%	Peneira	%
Fundo	3	Fundo	5
9	25	12	9
10	44	13	10
11	22	14	14
12	5	15	18
13	1	16	21
		17	10
		18	8
		19	5

De acordo com Tabela 6, observa-se que a maior quantidade dos grãos moca foi classificada como peneira 10, que é um tamanho relativamente pequeno. Com relação aos grãos chatos, grãos de café acima da peneira 20 foram visualizados de forma não representativa em relação ao total de amostra ou não foram encontrados, e por esse motivo, não foram apresentados.

Por estar em maior quantidade, o grão moca peneira 10 foi o escolhido para o processo de torrefação e as respectivas modelagens matemáticas correlatas. E pelo mesmo motivo, foi escolhido o grão chato peneira 16, o qual foi submetido às mesmas condições experimentais do moca.

5.2. Etapa 2

5.2.1. Processo de torrefação

A torra é um processo dependente do tempo e da temperatura que induz consideráveis alterações físicas e químicas à estrutura do grão de café. As temperaturas utilizadas no processo de torrefação foram de 220, 240, 260, 280 e 300°C por 10 minutos. No momento final de torra, os grãos moca atingiram as temperaturas de 172, 195, 211, 219 e 237 °C respectivamente.

Foram utilizados 300g de café moca peneira 10 e 350g de café chato. Essa diferença com relação às massas iniciais foi atribuída devido à medida das massas específicas destes

grãos (1320 kg.m^{-3} e 1164 kg.m^{-3} , respectivamente), além de testes que antecederam ao experimento apresentado neste trabalho.

Foi verificado que o grão moça escolhido (peneira n° 10) possuía maior massa específica quando comparada ao grão chato (peneira n° 16), e por tanto, foi condicionada maior massa inicial de torra à este grão, para assim obter os resultados inerentes às equações e modelagens matemáticas, nas condições de tempo e temperatura apresentadas.

A Figura 19 representa a evolução das transformações físicas dos grãos de café moça ao longo do processo de torra.

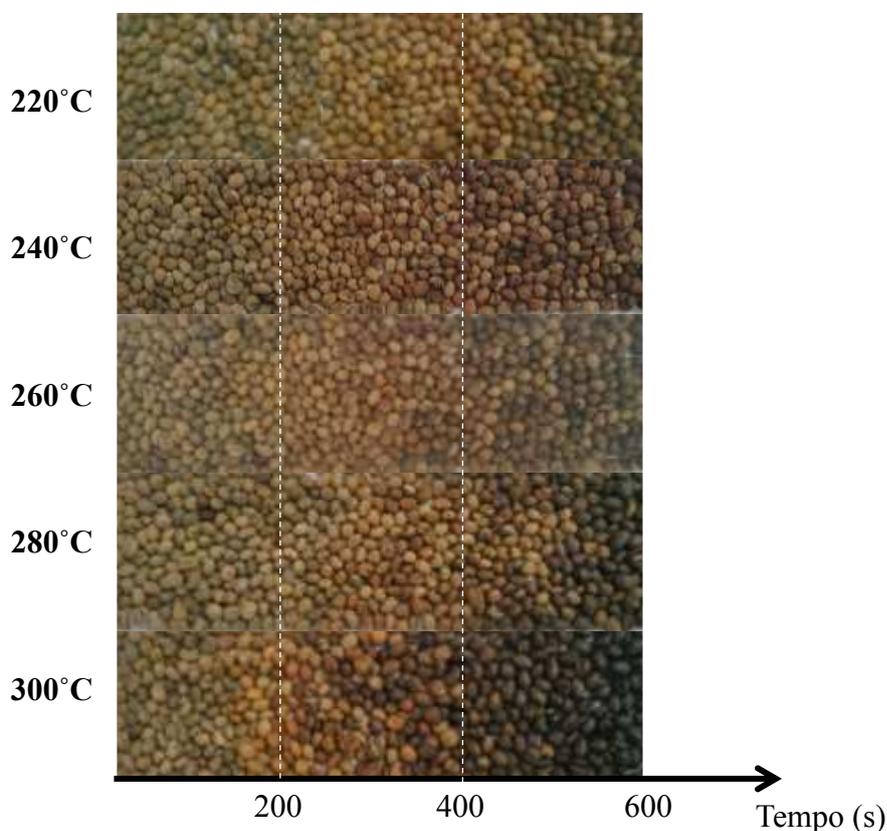


Figura 19. Aspecto dos grãos durante o processo de torra do café moça

Na Figura 19 percebe-se que a torra realizada à 220°C apresenta grãos de café de coloração esverdeada (cru) até aproximadamente os primeiros 300 segundos iniciais, seguidos da modificação da cor para amarela, e castanho claro respectivamente. Sendo assim, nota-se que o grão nessas condições, permaneceu no primeiro estágio de torra (secagem) durante a maior parte do processo de torra. Por outro lado, na torra à 300°C , o

grão permaneceu por menos tempo no primeiro estágio (200 segundos iniciais), atingindo uma coloração escura intensa mais rapidamente que as demais temperaturas de torra estudadas. Também foi verificada nessa temperatura, o desprendimento de óleo na superfície, fato esse explicado pelo fato de o grão ter atingido temperaturas superiores à 230°C em seu interior.

5.2.2. Massa específica

A massa específica inicial dos grãos de café moca peneira 10 foi de 1320 kg.m⁻³, chegando à 831, 572, 503, 424, e 353 kg.m⁻³ para as temperaturas de torra de 220, 240, 260, 280 e 300 °C respectivamente. A redução da massa específica durante o processo de torra pode ser observado na Figura 20 a seguir.

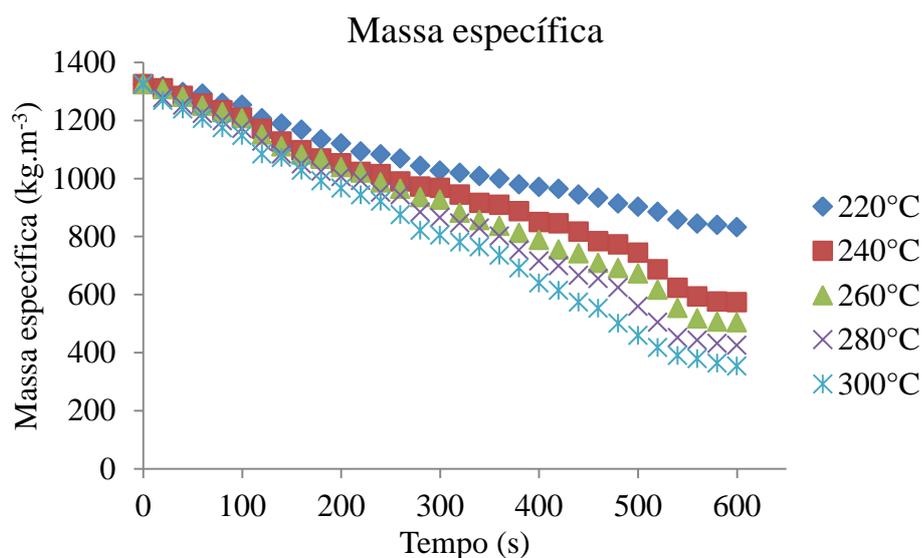


Figura 20. Massa específica do grão de café moca durante à torra

Uma vez que a massa específica trata de uma relação entre massa do produto e seu volume, como já era esperado, a massa específica diminui à medida que a torra avança, que pode ser visualizado na Figura 20. A torra aumenta o volume dos grãos e reduz sua massa, favorecendo assim uma diminuição da massa específica. Quanto maior a temperatura de torra, mais o grão se expande e mais massa ele perde, sendo assim, ele terá uma menor massa específica ao final do processo.

5.2.3. Teor de água e perda de massa no grão

O teor de água inicial dos grãos foi de 10,4% (b.s. kg água . kg ms⁻¹), reduzindo até 3.96% (b.s. kg água . kg ms⁻¹) para a temperatura de torra de 220°C, chegando a redução máxima de 1.83% (b.s. kg água . kg ms⁻¹) para 300°C. A Figura 21 a seguir mostra o comportamento do teor de água nos grãos de café moca durante o processo de torra.

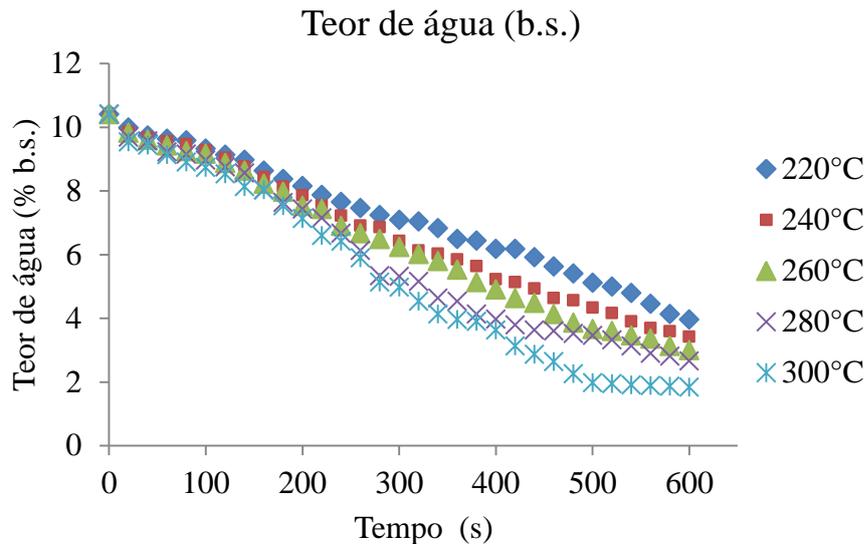


Figura 21. Evolução no teor de água dos grãos de café moca durante o processo de torra

De acordo com a Figura 21, foi verificada uma redução linear no teor de água no grão até os momentos finais da torra (quando o tempo atinge aproximadamente 500 segundos), seguida de uma tendência à estabilização até o final (600 segundos), principalmente para as maiores temperaturas.

Foi verificada uma perda de massa de 18,90; 31,25; 36,11; 40,88 e 47,30% para as temperaturas de 220 até 300°C, respectivamente (Figura 22). O comportamento do gráfico da perda de massa é semelhante (porém de forma invertida) ao comportamento de perda de umidade ao longo do processo de torra.

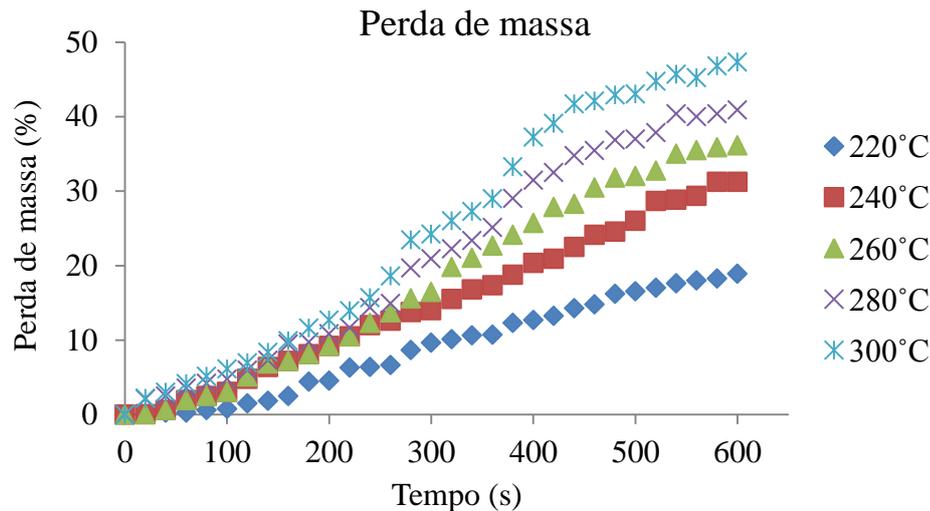


Figura 22. Perda de massa durante o processo de torra do grão de café moça

Assim como na perda do teor de água foi observado um comportamento linear e nesse caso, progressivo, da perda de massa (Figura 22) até os momentos finais de torra (cerca de 500 segundos), seguido de uma tendência à estabilização até o final (600 segundos), mais claramente observados para as maiores temperaturas.

Segundo Correa (1990), a perda de massa pode ter a seguinte origem: libertação do dióxido de carbono; libertação da pele de prata devido ao aumento do volume do grão; perda de compostos voláteis, entre outros. O autor ainda referencia quebras superiores para o café arábica, comparativamente ao café robusta, muito possivelmente devido ao facto de o café arábica ser mais rico em compostos voláteis.

Aproximadamente 90% da perda de massa durante a torra correspondem a água e 72% dela correspondem a umidade inicial do grão de café. Os outros 18% correspondem a água formada durante as reações de pirólise. Os 10% da perda total correspondem principalmente a CO₂ e pequenas quantidades de compostos voláteis de aroma que se formam e são liberados durante o processo (ILLY e VIANI, 1995). Concordando com Geiger (2004), Vargas-Elías (2011) e Botelho (2012), o teor de água variou na mesma proporção da perda de massa do grão independente da temperatura de torra. Esta tendência obedece que a perda de massa no início do processo é constituída principalmente por água. Observa-se também que depois deste ponto a perda de massa é maior nas altas temperaturas para um teor de água aproximadamente constante, indicando perda de matéria

seca. A perda de massa total, exceto para 220°C, foi superior ao valor que indica o nível de torra escuro (20 %).

Dessa forma percebe-se a íntima relação entre a perda de massa e o teor de água, e sendo assim, os mesmos foram relacionados e podem ser visualizados na figura a seguir (Figura 23).

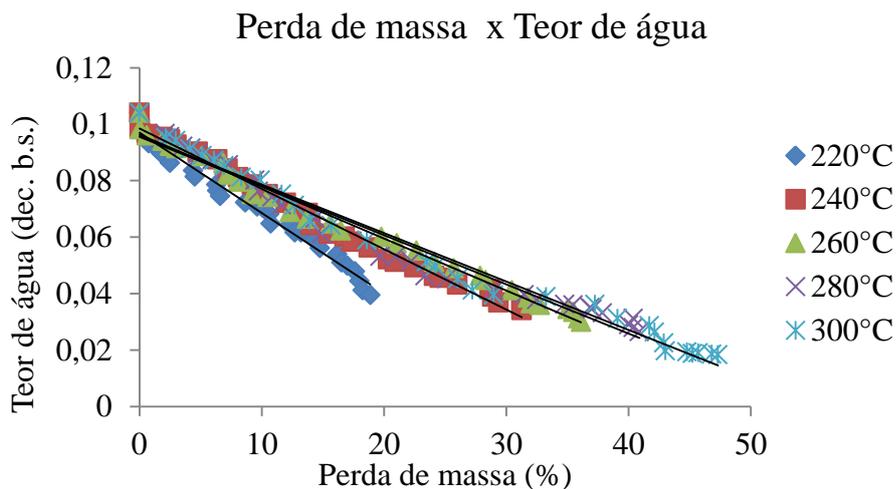


Figura 23. Relação entre a perda de massa e teor de água durante à torra

Na Figura 23 é possível observar que quanto maior o teor de água do grão, menor a perda de massa correlata. Comportamento semelhante foi observado em trabalhos desenvolvidos por Venegas (2015) e Vargas-Elias (2014). Franca et al. (2009) relacionaram essa variação da taxa de perda de massa à transição da etapa de secagem para a de torrefação e observaram uma maior perda nas temperaturas de torrefação altas.

Uma vez que essas propriedades supracitadas se relacionam, foi efetuada uma regressão linear a qual é apresentada na tabela a seguir (Tabela 7).

Tabela 7. Regressão linear entre a perda de massa e teor de água em grãos de café moça para cada temperatura de torra

Temperatura (°C)	Regressão	R ²
220	$y = -0,0028x + 0,0971$	0,98
240	$y = -0,0021x + 0,0985$	0,99
260	$y = -0,0018x + 0,0964$	0,99
280	$y = -0,0017x + 0,0957$	0,97
300	$y = -0,0017x + 0,0956$	0,98

Onde: y – Teor de água (decimal, b.s.); x – Perda de massa (%)

As equações lineares determinadas pela regressão linear apresentadas na Tabela 7 apresentaram R² superior a 0,97, o que indica alto grau de ajuste dos dados à equações apresentadas.

5.2.4. Variação dos eixos ortogonais

A evolução nas dimensões dos eixos do grão (a, b e c) durante a torra foi dependente da temperatura observando-se um aumento de incrementos de forma proporcional podendo-se considerar a expansão como isotrópica. Nas Figuras 24, 25 e 26 podem ser observados o aumento das medidas dos eixos a, b e c respectivamente, por meio de seus incrementos.

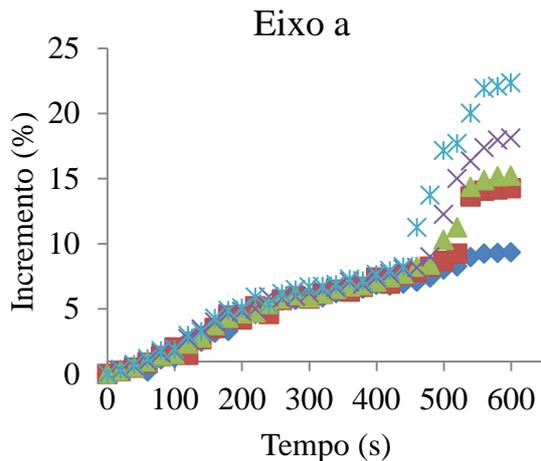


Figura 24. Incremento relacionado ao aumento do eixo “a” nas temperaturas de torra utilizadas

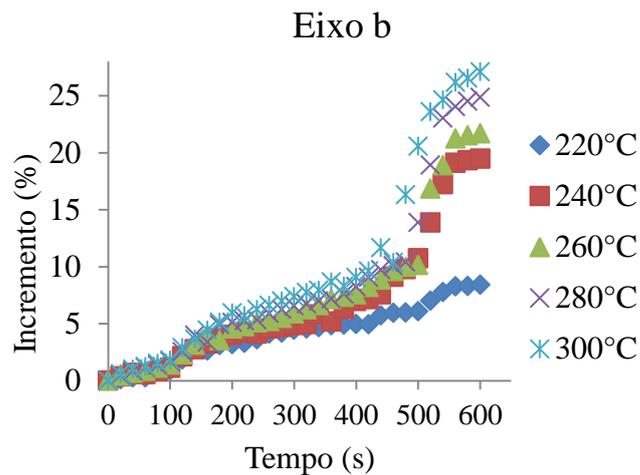


Figura 25. Incremento relacionado ao aumento do eixo “b” nas temperaturas de torra utilizadas

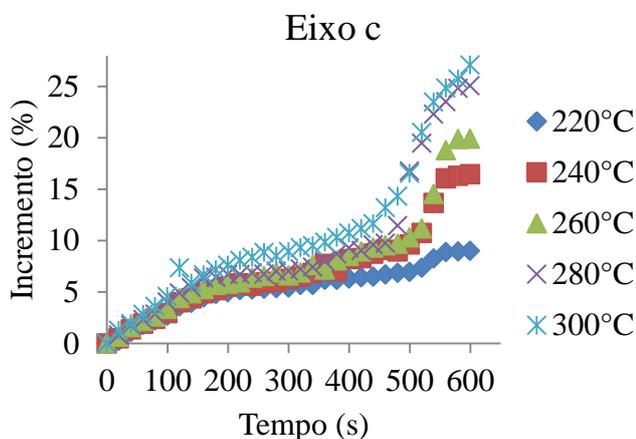


Figura 26. Incremento relacionado ao aumento do eixo “c” nas temperaturas de torra utilizadas

De acordo com as Figuras 24, 25 e 26, verifica-se que ocorre um aumento significativo nos incrementos dos eixos a medida que a temperatura de torra aumenta. Além disso, em todas as temperaturas de torra utilizadas, verifica-se um aumento dos valores dos eixos quando a torra atinge aproximadamente 500 segundos e a partir desse momento, ocorre uma tendência à estabilização; comportamento esse também verificado em outras propriedades físicas analisadas neste trabalho.

A Figura 27 apresenta a média dos aumentos dos eixos ortogonais supracitados durante à torra.

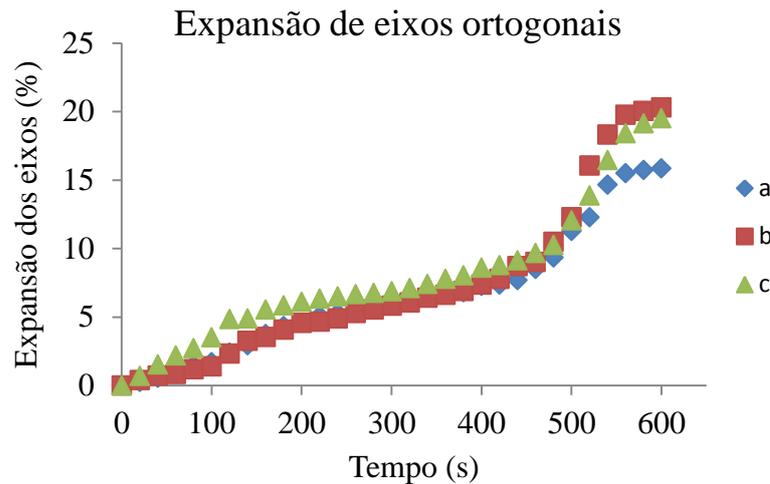


Figura 27. Média dos incrementos dos eixos ortogonais a, b e c dos grãos de café durante à torra

De acordo com a Figura 27, é possível observar que o eixo “c” tende à aumentar mais que os demais até o tempo de 400 segundos de torra; a partir desse momento, o eixo “b” aumenta significativamente, possuindo assim, uma maior expansão dentre os demais (cerca de 20%), sendo que o eixo “c”, apesar de expandir um pouco menos, expande-se a um um valor próximo do encontrado para o eixo “b” (19,5%) e por último, o eixo “a”, que se expande assim como os demais, porém, á uma taxa menor (cerca de 15%).

Geiger (2004) fez monitoramento on-line dos gases de saída do torrador usando análise com infravermelho não dispersivo. O autor estabeleceu a evaporação da umidade inicial no primeiro estágio do processo como a principal força motriz para a expansão volumétrica. Esta força motriz é então maior para processos em altas temperaturas, concordando com vários autores (SCHENKER, 2000; VARGAS-ELIAS, 2011; BOTELHO, 2012) que concluíram que estas condições de processo levam a altas taxas de expansão.

5.2.5. Esfericidade e circularidade

A esfericidade e a circularidade dos grãos de café moça durante o processo de torra podem ser visualizadas nas Figuras 28 e 29 respectivamente.

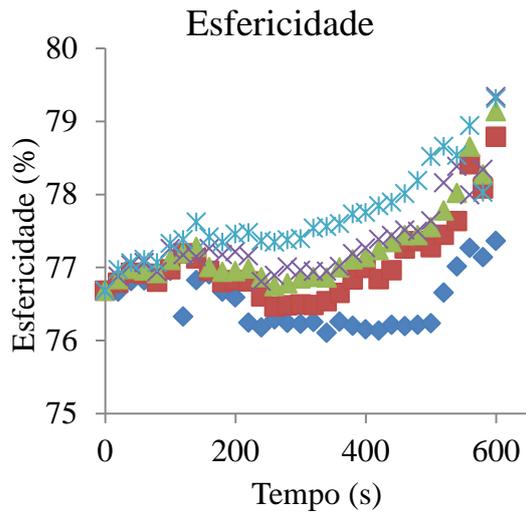


Figura 28. Esfericidade dos grãos de café moca durante à torra

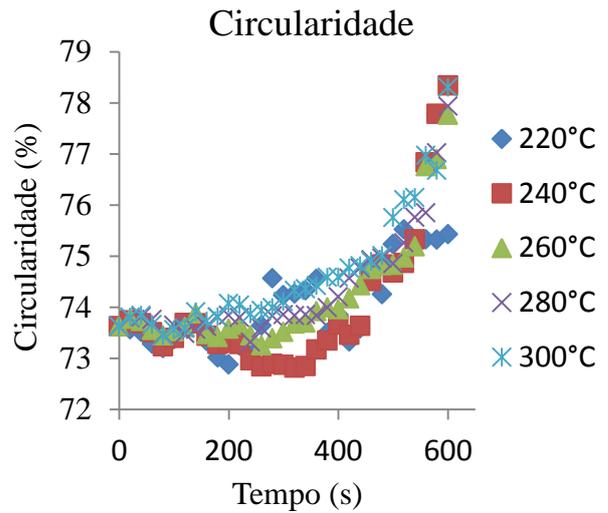


Figura 29. Circularidade dos grãos de café moca durante à torra

De acordo com as Figuras 28 e 29, verifica-se que à medida que a torra se avança, o grão torna-se mais arredondado, aumentando sua esfericidade e verifica-se o aumento da circularidade na posição natural de repouso. Esse fato pode ser justificado pela expansão dos eixos “b” e “c” durante à torra e por isso, o grão torna-se mais esférico. Esse fato pode ser visualizado na Figura 30 a seguir.



Figura 30. Visão “frontal” (fenda), lateral e “dorsal”, dos grãos de café moca cru e torrado à 220, 240, 260, 280 e 300°C respectivamente

Na Figura 30 é possível visualizar que à medida que a torra se intensifica (temperaturas aumentam), o grão torna-se mais esférico, e é possível visualizar a expansão dos eixos “a”, “b” e “c” em relação ao grão cru, o que ressalva os resultados supracitados.

5.2.6. Volume

Como já foi apresentado anteriormente, durante o processo de torra, ocorreu expansão dos eixos ortogonais e conseqüentemente, ocorreu expansão volumétrica dos grãos. Essa expansão pode ser visualizada na Figura 31. Ao final do processo de torra, para as temperaturas de 220 à 300 °C, as expansões foram de 29, 59, 68, 84, e 98%, respectivamente.

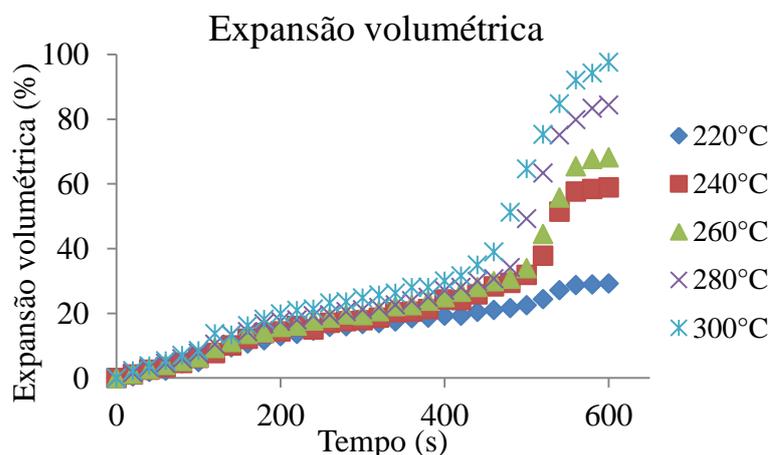


Figura 31. Expansão volumétrica dos grãos de café moça durante o processo de torra

A Figura 31 mostra que a expansão volumétrica foi maior nas maiores temperaturas de torra. Este fato entra em concordância com a ocorrência de que as dimensões características “a”, “b” e “c” apresentam maiores incrementos a medida que a temperatura de torra se intensifica (Figura 24, 25 e 26).

A expansão volumétrica é função principalmente da pressão acumulada pela rápida formação de vapor de água e CO₂ no interior do grão e pode atingir valores entre 40 e 60% para perdas de massa de 18% (ILLY & VIANI, 1995). Resultados semelhantes foram verificados por Venegas (2015), o qual partindo de um volume inicial médio do grão de 0,143 ml, observou uma expansão máxima de 62, 72, 77, 84 e 87% para as temperaturas de 200, 220, 240, 260 e 280 °C, respectivamente.

5.2.6.1. Modelagem matemática

A modelagem do fenômeno de expansão volumétrica foi feita em função do teor de água do grão. Na Tabela 8 estão apresentados os valores dos parâmetros estimados pelos modelos ajustados para a expansão volumétrica unitária do grão de café moça em função do teor de água para cada temperatura de torra.

Tabela 8. Parâmetros estimados pelos modelos de expansão de café torrado com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P)

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo		Parâmetros estatísticos		
		a	b	P (%)	SE	R^2
Correa 2004	220	-2,42568	3,06750	1,275	0,001	0,981
	240	-4,22505	4,73464	3,929	0,020	0,934
	260	-4,26546	4,77454	4,576	0,033	0,914
	280	-4,82487	5,30504	8,166	0,095	0,847
	300	-4,79059	5,27995	7,876	0,096	0,889
Exponencial	220	1,51596	-3,83345	1,183	0,001	0,984
	240	1,79165	-5,94684	4,176	0,023	0,923
	260	1,80548	-6,07632	4,841	0,039	0,902
	280	1,87179	-6,65083	8,185	0,106	0,828
	300	1,89076	-6,88511	8,161	0,113	0,869
Linear	220	1,47363	-4,45071	1,053	0,001	0,987
	240	1,67794	-6,94145	4,380	0,027	0,909
	260	1,69712	-7,20525	5,049	0,043	0,887
	280	1,74647	-7,87729	8,301	0,117	0,808
	300	1,78613	-8,46614	8,603	0,131	0,846
Polinomial	220	9,248	-93,070	1,825	0,004	0,944
	240	13,348	-139,547	6,663	0,077	0,711
	260	14,72374	-155,753	7,969	0,118	0,643
	280	16,982	-181,413	11,13	0,247	0,517
	300	20,194	-220,194	14,21	0,450	0,143
Raman	220	4,69777	-	1,098	0,001	0,985
	240	6,04847	-	4,034	0,0299	0,898
	260	6,22023	-	4,914	0,0467	0,876
	280	6,6271	-	8,013	0,124	0,795
	300	7,02741	-	8,456	0,143	0,688
Bala & Woods	220	1,183	313,239	7,663	0,210	0,000
	240	1,272	193,715	11,551	0,292	0,000
	260	1,306	158,582	12,571	0,327	0,000
	280	1,375	116,726	15,357	0,424	0,000
	300	1,470	80,304	17,052	0,486	0,000

	220	-5,10256	25,981	0,990	0,001	0,989
	240	-2,0390	-43,377	3,278	0,013	0,959
Copace 2014	260	-1,9679	-41,437	4,138	0,024	0,937
	280	0,6468	-79,6881	7,076	0,063	0,902
	300	-0,4973	-54,1664	6,693	0,064	0,928

De acordo com os valores apresentados na Tabela 8, observou-se que os modelos testados não representaram adequadamente o fenômeno em todas as temperaturas de processo. O modelo Copace foi sugerido para cafés convencionais e apresentou os melhores resultados estatísticos quando comparado aos demais, uma vez que ele apresentou coeficientes de determinação superiores a 90% e valores reduzidos do erro médio estimado e do erro médio relativo; porém, ao se analisar se o modelo é tendencioso ou não (relação entre os valores obtidos pela dispersão de resíduos do modelo), verifica-se um alto grau de tendenciosidade (Figuras 32, 33, 34, 35 e 36). Dessa forma, conclui-se que nenhum dos modelos apresentados se aplica ao grão de café em particular.

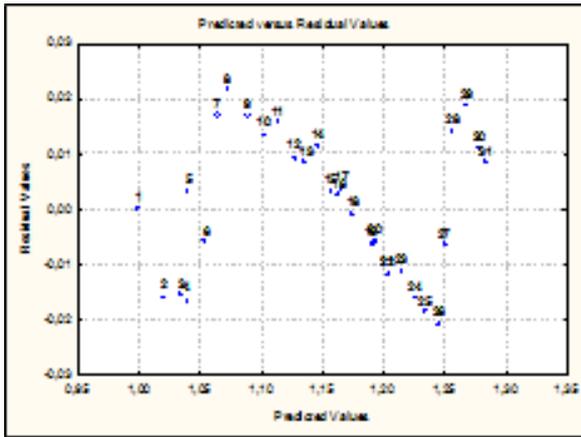


Figura 32. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 220°C

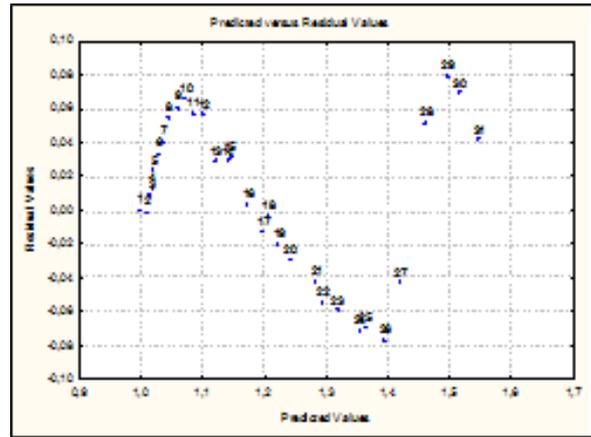


Figura 33. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 240°C

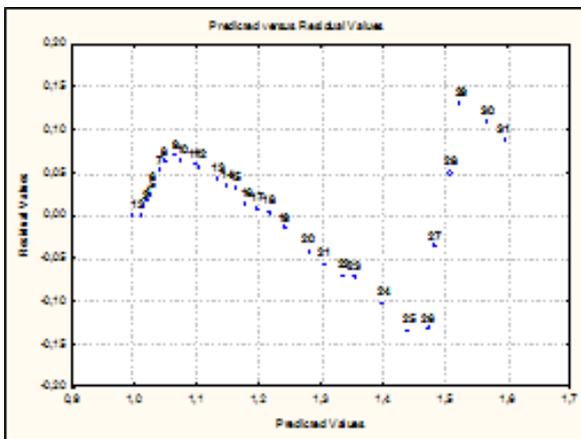


Figura 34. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 260°C

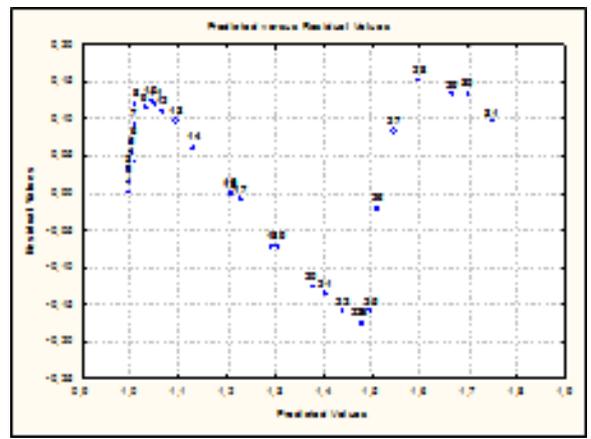


Figura 35. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 280°C

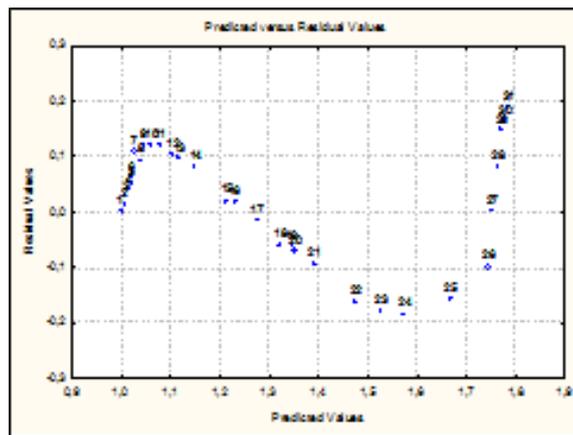


Figura 36. Dispersão dos valores preditos em relação aos resíduos para 300°C

Diante desse fato, os autores deste trabalho sugeriram um novo modelo matemático por meio de testes preliminares e avaliação de comportamento de gráficos formados durante o processo de torra, relacionados à perda de água. O modelo sugerido foi nomeado Campos-Copace (Equação 23) apresentado a seguir.

$$\psi = a(X_0 - X)^3 + b(X_0 - X)^2 + c(X_0 - X) + 1 \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

ψ = índice de expansão volumétrica unitária (adimensional);

X_0 = Umidade inicial do grão (decimal b.s.);

X = Umidade do grão no tempo (decimal b.s.);

a, b e c = Parâmetros do modelo.

O novo modelo diferente dos apresentados anteriormente possui três parâmetros: “a”, “b” e “c”, além de utilizar da variação do teor de água ao longo do processo de torra.

O modelo proposto representou de forma aceitável o fenômeno de expansão do grão de café, uma vez que ele apresentou coeficientes de determinação (R^2) superiores a 95% e valores reduzidos do erro médio estimado (SE) e do erro médio relativo (P) (Tabela 9) e distribuição aleatória de resíduos.

Tabela 9. Parâmetros estimados pelo modelo Campos-Copace seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P)

	Temperatura (°C)	a	b	c	P (%)	SE	R^2
Campos-Copace	220	1702,2	-178,3	6,7	0,775	0,001	0,99
	240	3777,4	-375,1	11,4	2,155	0,005	0,98
	260	4736,2	-401,9	12,5	3,205	0,015	0,96
	280	4928,3	-494,1	15,7	3,093	0,015	0,95
	300	7412,9	-664,1	17,5	4,972	0,039	0,96

De acordo com a Tabela 9 é possível observar bons parâmetros estatísticos com relação ao modelo, uma vez que o valor de P foi significativamente menor que 10, o valor de SE apresenta-se muito próximo à zero e R^2 está muito próximo à 1 (ou 100%).

Observou-se também que os parâmetros “a”, “b” e “c” do modelo apresentou uma relação linear com a temperatura de torrefação (R^2 igual a 93, 95 e 96% respectivamente) e as equações relacionadas estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Equações que representam os parâmetros do modelo

Parâmetros do modelo	Equações	R2	
a	$a = 62,861.T - 11832$	0,93	Eq. 24
b	$b = -6,453.T + 1275,1$	0,95	Eq. 25
c	$c = 0,129.T - 20,794$	0,96	Eq. 26

Dessa forma, substituindo os parâmetros encontrados, obtém-se uma equação geral em função da temperatura de torra e variação do teor de água do grão de café moça (Equação 27).

$$\psi = (62,861T - 11832)(X_0 - X)^3 + (-6,453T + 1275,1)(X_0 - X)^2 + (0,129T - 20,794)(X_0 - X) + 1 \quad (\text{Eq. 27})$$

Onde:

ψ = índice de expansão volumétrica unitária (adimensional);

X_0 = Umidade inicial do grão (decimal b.s.);

X = Umidade do grão no tempo (decimal b.s.);

a, b e c = Parâmetros do modelo.

Nas Figuras 37 e 38 se observam a correspondência dos dados observados e estimados pelo modelo geral (Eq. 27) assim como a distribuição dos resíduos. Pode se observar a não tendenciosidade do modelo.

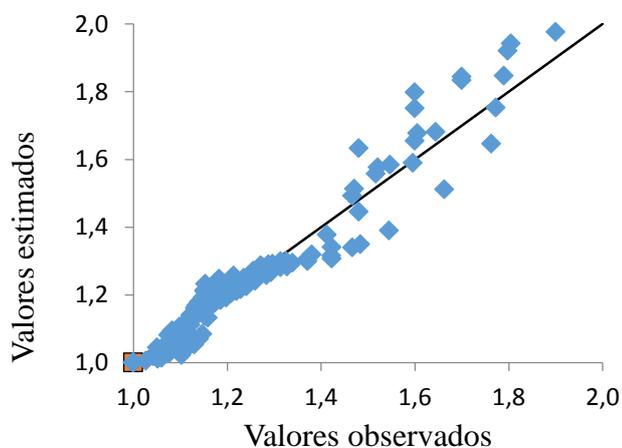


Figura 37. Distribuição dos valores observados e estimados pelo modelo matemático proposto

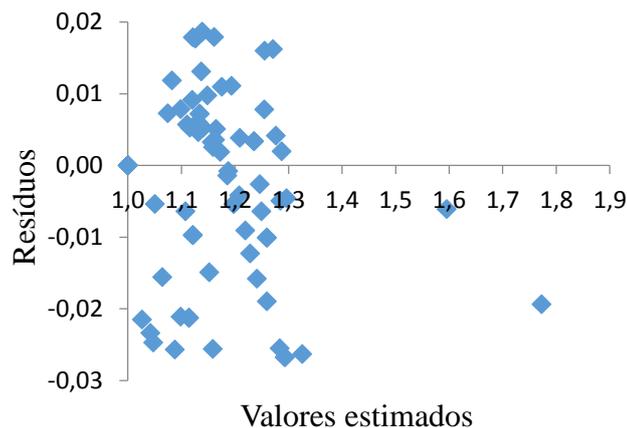


Figura 38. Distribuição dos valores estimados e resíduos do modelo proposto

Na Figura 37 é possível observar o alto grau de correlação dos dados apresentados e na Figura 38 é possível observar o alto grau de dispersão com relação aos valores estimados e o resíduo.

Dessa forma, verifica-se que o modelo Campos-Copace se aplica de forma satisfatória ao processo de torra de café moça.

5.2.7. Área superficial

A área superficial dos grãos de café moça durante o processo de torra está apresentada na Figura 39.

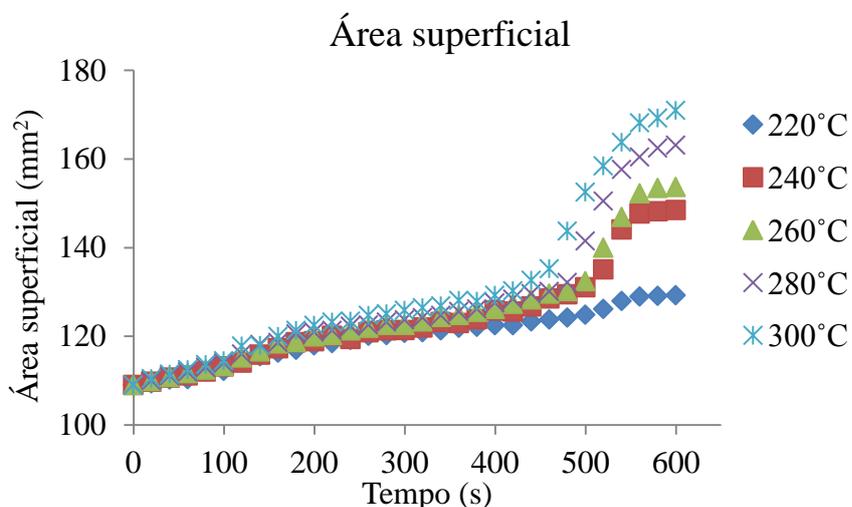


Figura 39. Área superficial do café moça durante à torra

Os grão de café moca cru (retido na peneira 10) possui área superficial média de 109 mm² (área inicial), e apresentou para as temperaturas analisadas, ao final do processo de torra, para 220, 240, 260, 280 e 300°C as áreas de 129, 149, 154, 163 e 171mm², respectivamente; caracterizando aumentos de 19, 37, 41, 51, e 58% respectivamente. Como pode ser observado na Figura 39, quanto maior a temperatura de torra, maior a área superficial.

Na Figura 40 são apresentados os incrementos (em porcentagem) do aumento da área superficial dos grãos de café nas temperaturas de torra.

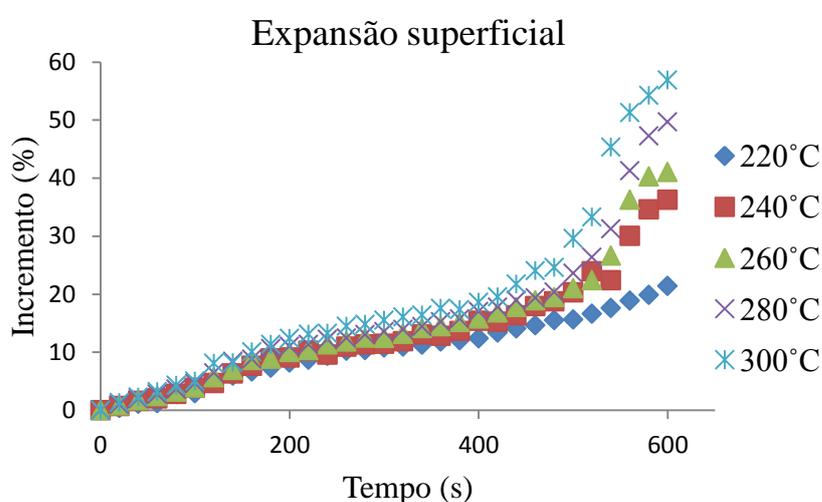


Figura 40. Incrementos da expansão superficial dos grãos de café moca durante as temperaturas de torra

Como pode ser verificado na Figura 40, em concordância com o aumento das medidas características “a”, “b” e “c” durante o processo de torra, o incremento da área superficial do grão foi maior nas altas temperaturas. O grão analisado, de área superficial inicial média de 108,96 mm² (medida correspondente ao grão moca retido em peneira 10), apresentou para as temperaturas analisadas incrementos de 21, 36, 41, 50 e 57% respectivamente. Hernández (2002) observou incrementos na superfície do grão (de café chato) entre 15 e 65% para temperaturas de torra entre 200 e 300 °C respectivamente durante 10 minutos de processo.

5.2.8. Cor

Na Figura 41 é possível perceber a variação de cores dos grãos de café moça que passam de cru para torrados nas temperaturas indicadas. A alteração física mais evidente é o acastanhamento do grão. Este passa de esverdeado/amarelado (no caso do café arábica), para castanho-escuro ou mesmo negro, à medida que decorre a torra, devido à caramelização dos açúcares e outras modificações que ocorrem durante as “reações de Maillard”, particularmente perceptíveis acima dos 120°C. A cor do café torrado é um índice usado no controle da qualidade do produto final e referencia qual o ponto ótimo de torra, pois traduz a intensidade das modificações que ocorrem no grão (HO et al., 1993; CORREIA, 1990; FERRÃO, 2009).

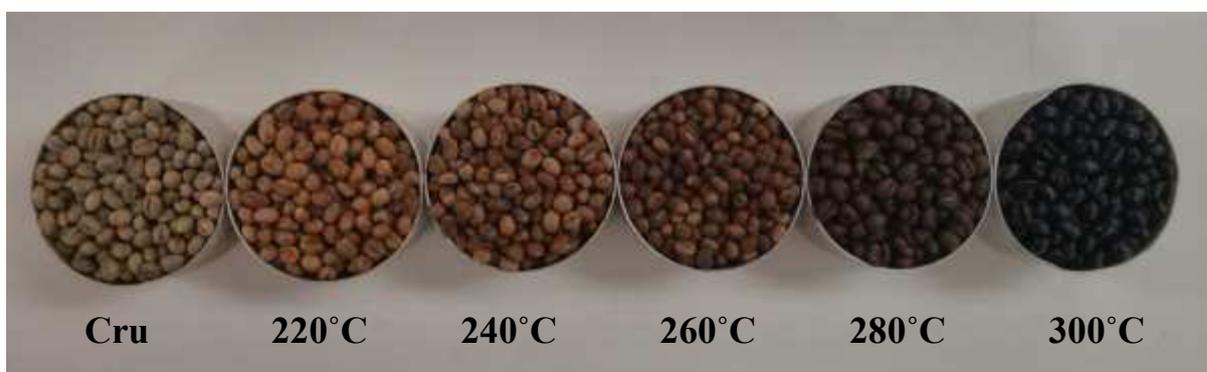


Figura 41. Cor do grão moça cru e ao final de cada processo de torra estudado

Por meio da Figura 41 verifica-se que quanto maior a temperatura de torra mais escura e intensa se torna a cor do café. Além disso, verifica-se que os grãos de café moça torrados à 300°C, atingiram temperaturas superiores a 230°C, favorecendo assim ao desprendimento de óleo, o qual prejudica a qualidade final de bebida, uma vez que o óleo exposto ao ambiente pode se oxidar (oxidação lipídica), ocasionando em perdas de aroma e sabor do café (ORTOLÁ, 1998).

Ainda com relação à Figura 41, pode-se observar que na torra à 220°C (menor temperatura estudada), os grãos atingiram uma coloração mais clara ao final do processo. Ao passo em que as temperaturas se intensificam, a coloração marrom se enriquece e escurece, chegando a tons muito escuros como o observado na temperatura de 300°C.

Relacionando a cor e os estágios de torra apresentados, nota-se que nas torras onde a temperatura final no interior do grão ficou abaixo de 190°C, a coloração final permaneceu na tonalidade amarela e a perda de peso foi pequena. Pode-se afirmar que nessas condições, os grãos permaneceram no primeiro estágio de torra (secagem). Na torra à 300°C, em que o grão atingiu 237°C, ocorreu a maior expansão do grão, coloração escura mais intensa e formação de óleo na superfície. Segundo BOAS et al. (2001) quando a torra atinge 210°C, ocorre a pirólise e a liberação de CO₂, o que pode ser notado pelo aumento na perda de peso dos grãos e pela cor final obtida, que é de tonalidade marrom. Quando a temperatura aumenta até 230°C, há a liberação de grande quantidade de óleo, que recobre totalmente os grãos, correspondendo ao final do segundo estágio de torra. Os principais produtos da pirólise são os açúcares caramelizados, os carboidratos, o ácido acético e seus homólogos aldeídos, cetonas, furfural, ésteres, ácidos graxos, amins, CO₂ e sulfetos. Todos esses constituintes contribuirão para um desenvolvimento do sabor do café.

As médias dos valores de L* a* b* encontrados nos grãos torrados supracitados são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Coordenadas relacionadas à cor dos grãos de café moça cru e após os processos de torra.

	L*	a*	b*
Grão cru	97,46	-0,02	1,72
Temperaturas de torra (°C)			
220	10,746	10,162	5,058
240	7,542	7,114	3,798
260	6,676	6,378	3,552
280	3,272	3,094	2,11
300	1,598	1,145	1,08

De acordo com a Tabela 11, verifica-se que o grão cru apresenta um alto grau de luminosidade devido ao valor encontrado para L*, que varia de branco a preto, e a medida que as temperaturas de torra se intensificam, esse valor de L* diminui, o que já era esperado, indicando o escurecimento dos grãos. Os grãos crus apresentam uma coloração “esverdeada”, o que pode ser verificada por meio de um valor de a* negativo, (uma vez que a* varia de verde - negativo a vermelho - positivo) e b* positivo (variação de amarelo - positivo a azul – negativo). Os grãos torrados ganham uma coloração “amarronzada” com diminuição dos valores de a* e b*.

Na Tabela 12, apresentam-se as médias dos valores relacionados ao Croma (C*), ângulo Hue (H*), a diferença de cor (ΔE) do grão cru para cada ponto final de torra e o índice de escurecimento (BI) dos grãos de café moça.

Tabela 12. Parâmetros relacionados à cor dos grãos moça ao final do processo de torra

	C*	H*	ΔE	BI
Grão cru	1,72	-89,33	-	-
Temperaturas de torra (°C)				
220	11,35	26,46	87,37	12,27
240	8,06	28,10	90,22	12,85
260	7,30	29,11	91,03	13,45
280	3,74	34,29	94,24	15,13
300	1,57	43,33	95,87	15,70

De acordo com a Tabela 12, e relacionando esta a tabela aos dados anteriores, para o grão cru observa-se um valor menor relacionado ao croma (C* igual à 1,72) e uma angulação negativa devido ao valor de H*, que enfatiza a cor esverdeada deste grão. Com relação aos pontos de torra, verifica-se uma diminuição com relação aos valores de C* e um aumento dos demais parâmetros analisados; à medida que as temperaturas de torra se pronunciam, a diferença de cor entre grão cru e torrado aumenta e o grão torna-se mais escuro (avalição por meio de BI). Estes resultados já eram esperados e estão em comum acordo com os resultados apresentados anteriormente.

Durante a torrefação, observa-se que o operador, independentemente do tipo de equipamento, tem o critério por meio de comparação da cor, devido ao contraste e por conhecimento próprio do ponto de torra para extrair os grãos no momento certo. Hernández (2008) destacou a grande dificuldade para medir adequadamente as características dos grãos em razão da movimentação da massa durante a torrefação e mencionou a importância que desempenha um operador experiente na indústria do café, pois esse interpreta as características físicas mensuráveis como a temperatura e o tempo de torrefação, assim como as organolépticas do produto.

5.2.9. Comparação entre café moca e café chato

O mesmo experimento efetuado para o grão moca foi reproduzido para o grão chato proveniente da mesma amostra global (sacas). Foi utilizado grão chato classificado como peneira 17, de teor de água inicial de 10,4% (b.s. kg água . kg ms⁻¹) e massa específica de 1154 kg m⁻³.

Para comparação do grão de café chato com o grão moca, foi escolhida a temperatura de torra de 260°C para ambos, e os resultados referentes à propriedades físicas estão apresentados a seguir.

O teor de água durante o processo de torra pode ser visualizado na Figura 42 a seguir.

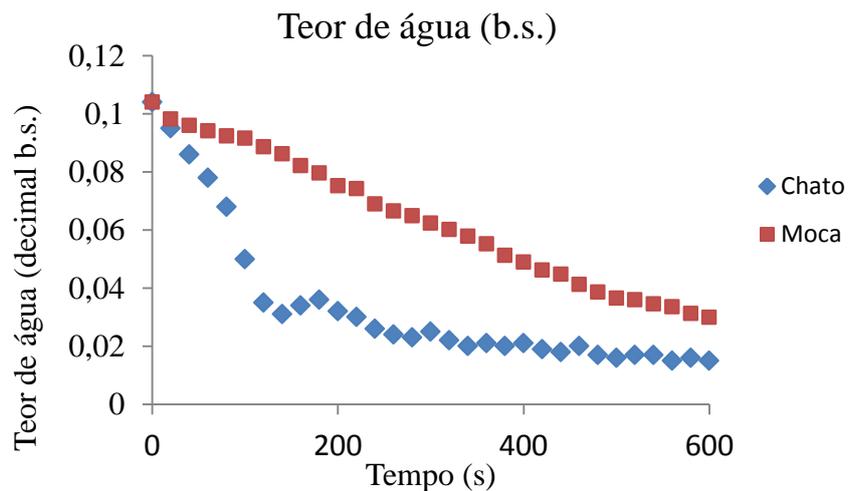


Figura 42. Teor de água dos grãos de café do tipo chato e moca durante o processo de torra à 260°C

Como pode ser observado na Figura 42, ao final do processo de torra (600 segundos) o grão atinge um teor de água menor (1,56% b.s. kg água . kg ms⁻¹) que o grão moca (2,99% b.s. kg água . kg ms⁻¹). Essa diferença pode ser explicada pela massa específica de cada grão, pois uma vez que o grão moca possui uma maior quantidade de massa por volume de grão, ele necessitará de um tempo maior para aquecer toda a massa do grão, quando comparado ao grão chato, e por tanto, a taxa de liberação de água será menor.

Outra diferença verificada está relacionada ao comportamento dos gráficos. O grão chato apresenta uma rápida perda de água durante o período inicial de torra (primeiros 140 segundos), tendendo a uma estabilização regressiva em sequência. Ao passo que o grão moca possui um comportamento regressivo linear, tendendo á estabilização nos últimos 100 segundos de torra.

A perda de massa dos grãos pode ser visualizada a seguir na Figura 43.

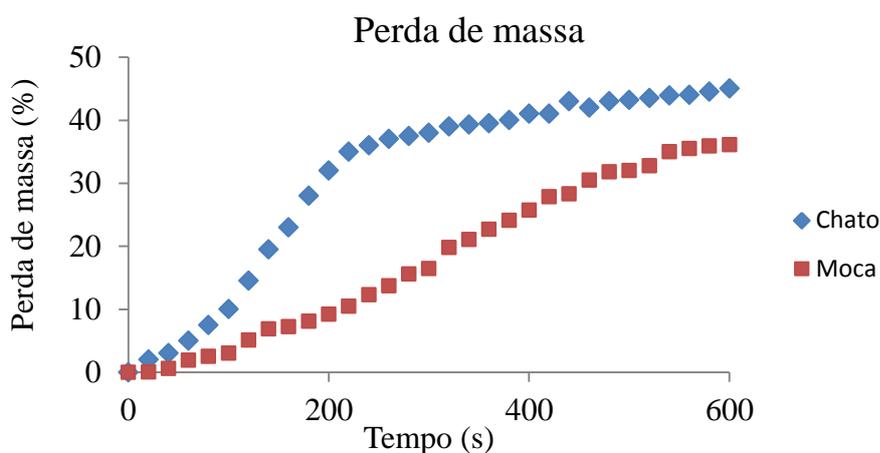


Figura 43. Perda de massa dos grãos de café do tipo chato e moca durante o processo de torra à 260°C

Uma vez que a perda de massa está intimamente ligada à perda de água, como foi comentado anteriormente, o comportamento gráfico visualizado na Figura 43 condiz com o gráfico anterior, e por tanto, verifica-se uma maior perda de massa do grão chato (45%) em relação ao moca (36%).

O aumento dos eixos ortogonais pode ser verificado por meio das Figuras 44 e 45 para os grãos chato e moca respectivamente.

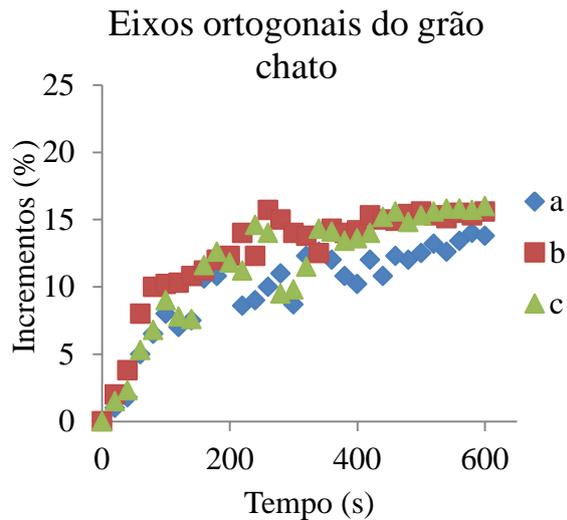


Figura 44. Expansão dos eixos ortogonais dos grãos de café chato durante o processo de torra à 260 °C

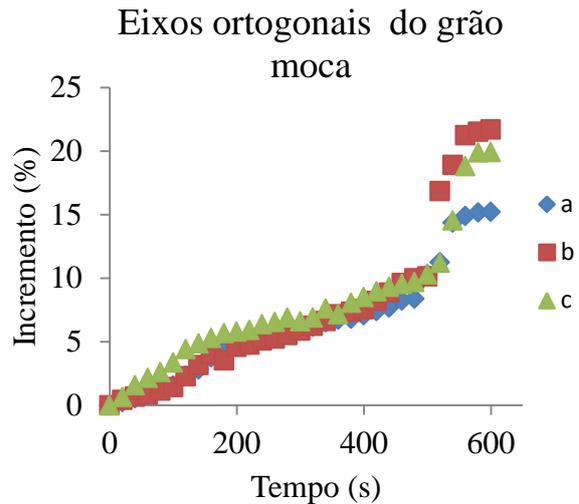


Figura 45. Expansão dos eixos ortogonais dos grãos de café chato durante o processo de torra à 260 °C

Por meio da Figura 44, percebe-se que o aumento dos eixos ortogonais dos grãos de café chato ocorre de forma mais expressiva nos primeiros 300 segundos de torra, seguido de uma tendência à estabilização. Comportamento esse percebido de forma diferenciada com relação ao grão moça (Figura 45) que possui um aumento progressivo tendendo a linearidade até atingir cerca de 500 segundos de torra, seguido de um expressivo aumento e tendência à estabilização respectivamente.

Outro ponto a ser discutido é com relação ao aumento dos eixos. Verifica-se maiores incrementos para o grão moça. Além do fato de que em ambos os grãos, o eixo “a” é aquele que se expande menos em relação aos demais, porém para o grão chato, ocorre um maior aumento do eixo “c” em relação ao “b”, e o contrário ocorre no moça.

A variação da expansão volumétrica pode ser visualizada pela Figura 46 a seguir.

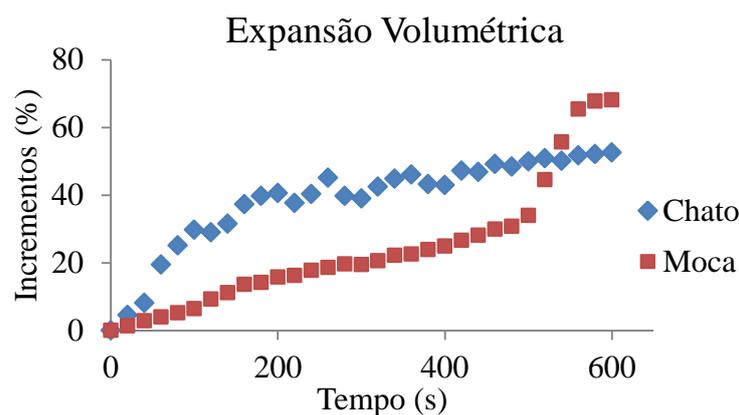


Figura 46. Expansão volumétrica dos grãos de café do tipo chato e moca durante o processo de torra à 260 °C

Através da Figura 46, observa-se que o café moca apresenta maior expansão (68%) que o chato (52%). Este fato está intimamente ligado á expansão dos eixos ortogonais apresentados anteriormente.

Os dados relacionados á expansão volumétrica e teor de água dos grãos chatos analisados foram submetidos à modelagem matemática para todos os modelos supracitados, e os resultados obtidos com relação aos parâmetros estimados para os modelos supracitados e o proposto neste trabalho (Campos-Copace), estão apresentados na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13. Parâmetros estimados pelos modelos de expansão de café torrado com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e tendenciosidade

Modelo	a	b	c	P	SE	R2	Tendenciosidade
Copace 2014	-4,26	6,16	-	2,227	0,009	0,959	Não tendencioso
Exponencial	1,02	4,28	-	2,291	0,009	0,960	Não tendencioso
Linear	1,00	5,38	-	2,280	0,009	0,958	Não tendencioso
Correa 2004	4,18	-3,21	-	2,339	0,008	0,962	Não tendencioso
Ramam	5,41	-	-	2,263	0,009	0,958	Não tendencioso
Bala & Woods	1,42	100,14	-	8,587	0,230	0,000	Tendencioso
Polinomial	4,68	9,09	-	2,321	0,009	0,959	Não tendencioso
Campos-Copace	1317,50	-167,70	10,24	1,969	0,006	0,971	Não tendencioso

De acordo com Tabela 13, verifica-se que Copace, que foi um modelo matemático proposto especificamente para café, atendeu satisfatoriamente aos dados apresentados para o grão chato, resultado esse que já era esperado. Porém o modelo proposto Campos-

Copace apresentou melhores ajustes (menores valores de P e SE e maior valor de R^2). Sendo assim, a equação ajustada à temperatura de torra para o grão chato, seguindo as diretrizes do modelo Campos-Copace está apresentada a seguir (Equação 28).

$$\psi = (53,692T - 885)(X_0 - X)^3 + (-10,2569T + 660,21)(X_0 - X)^2 + (0,895T - 47,794)(X_0 - X) + 1 \quad (\text{Eq. 28})$$

Onde:

ψ = índice de expansão volumétrica unitária (adimensional);

X_0 = Umidade inicial do grão (decimal b.s.);

X = Umidade do grão no tempo (decimal b.s.);

a, b e c = Parâmetros do modelo.

De posse dos resultados obtidos com relação ao elevado grau de ajuste do modelo proposto neste trabalho, Campos-Copace (Eq. 23) aos dados experimentais, conclui-se que este modelo poder ser utilizado tanto para modelagem de grãos de café moca quanto para grãos de café chato, englobando assim café de uma forma geral, superando a equação Copace 2014, desenvolvida especificamente para café (chato).

$$\psi = a(X_0 - X)^3 + b(X_0 - X)^2 + c(X_0 - X) + 1 \quad (\text{Eq. 24})$$

Onde:

ψ = índice de expansão volumétrica unitária (adimensional);

X_0 = Umidade inicial do grão (decimal b.s.);

X = Umidade do grão no tempo (decimal b.s.);

a, b e c = Parâmetros do modelo.

5.3. Etapa 3

Amostras de café moca e café chato provenientes da mesma safra foram submetidos à Teste de Xícara por um profissional credenciado; e as notas referentes à cada atributo para cada tipo café estão apresentadas no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2. Notas dos atributos avaliados para o café moca e chato

	Amostra	Moca	Chato
Notas negativas (0 a 5)	Umidade (%)	10	10
	Adstringência	2,0	-
	Verde/imaturo	1,0	1,0
	Irregularidade	-	-
	Subtotal (A)	1,5	1,0
Notas positivas (0 a 10)	Sabor	7,5	8,0
	Corpo	8,5	8,5
	Doçura	8,0	7,5
	Geral	8,0	8,5
	Subtotal (B)	8	8,1
	Resultado (B-A)	6,5	7,1

Como pode ser verificado por meio do Quadro 2, tanto o café moca quanto o café chato receberam boas notas, classificando os cafés como recomendados segundo a classificação mostrada na Figura 16. Outro ponto a ser analisado é a doçura, que de acordo com a avaliação efetuada, verifica-se um valor superior em relação a esse atributo para o grão moca (8,0). Este fato pode ser explicado pela tendência do grão a concentrar uma maior quantidade de açúcares por se desenvolver de forma unitária no interior do fruto.

Pelo quadro 2, nota-se também que o café chato recebeu uma nota global superior ao grão moca, porém, as notas recebidas por ambos foram muito próximas. As notas desse quadro 2 reafirmam o fato de grão moca ser diferente do grão chato inclusive no quesito qualidade de bebida, fato esse que pode ser justificado pelas propriedades físicas apresentadas nesse trabalho, relacionadas a outros fatores fisiológicos dentre outros.

5.4. Etapa 4

Os resultados com relação ao teor de moca produzido nas cidades do estado de Minas Gerais estão apresentados na tabela a seguir (Tabela 14).

Tabela 14. Levantamento da produção de moça em localidades de Minas Gerais

Município	Produtor	Total moça (%)	Moça P11/13* (%)	Moça P9/P10** (%)
Coimbra	1	8,0	42,6	57,4
	2	4,0	53,3	46,7
	3	14,6	39,3	60,7
	4	8,9	43,1	56,8
	5	9,7	40,0	60,0
Araponga	1	12,9	49,3	50,7
	2	8,9	89,6	10,4
	3	4,7	33,9	66,1
	4	11,5	29,6	70,4
	5	14,8	52,7	47,3
	6	8,6	67,0	33,0
	7	16,2	69,0	31,0
	8	8,2	75,8	24,2
	9	21,1	43,9	56,1
Ervália	1	4,2	48,5	51,5
	2	7,5	43,8	56,2
	3	7,5	36,5	63,5
	4	6,6	60,5	39,5
	5	10,6	79,6	20,4
Paula Cândido	1	17,2	38,8	61,2
	2	12,0	40,1	59,9
São Miguel do Anta	1	8,2	64,0	36,0
	2	19,5	79,0	21,0
Teixeras	1	12,9	46,7	53,3
Canaã	1	15,9	51,3	48,7
Média	11,0	52,7	47,3	

*P11/P13: mocas retidos nas peneiras 11, 12 e 13 (maiores);

**P9/P10: moça retidos nas peneiras 9 e 10 (menores).

De acordo com a Tabela 14, o valor médio do teor de moça encontrado nas localidades analisadas foi de cerca de 11%, sendo que foram encontrados valores superiores em Araponga (21% e 16%) e São Miguel do Anta (19%) e Paula Cândido (17%). Outro ponto a comentar é com relação ao tamanho dos mocas retidos nas peneiras apresentadas, uma vez que cafés com peneiras de numeração maior são mais atrativas ao comércio. Sendo assim, em algumas amostras coletadas, por exemplo, em Araponga, foi encontrado uma porcentagem de moça inferior (8,9%) à média calculada, porém uma porcentagem expressiva desse valor (89,6%) correspondia à mocas de peneiras maiores.

Ainda, com relação aos tamanhos de moça analisados (classificados por peneira), foram encontrados valores variados com relação a proporção dos grãos, sendo que na

média final foi verificado uma maior proporção de moca de peneiras maiores (53%) em relação aos tamanhos menores (47%).

6. CONCLUSÃO

O grão de café moça apresenta características diferenciadas quando comparadas aos grãos de café chato, como forma mais arredondada e maior massa específica.

A temperatura de torrefação afetou significativamente as propriedades físicas dos grãos moça. Observou-se uma maior expansão volumétrica e superficial assim como uma diminuição mais acentuada da massa específica nos grãos torrados nas maiores temperaturas.

O aumento nas dimensões dos eixos do grão (a, b e c) durante a torra foi diretamente dependente da temperatura, resultando em um aumento volumétrico correlacionado.

Foi verificado que o modelo matemático para estimar o índice de expansão volumétrica, proposto apresentou melhor ajuste tanto para o grão moça, quanto para o chato, superando o modelo de Copace 2014 que até o momento, era o que apresentava melhores resultados para café em função do teor de água e da temperatura de torra.

Durante o processo de torra, nota-se diferenças significativas entre os tipos de grãos moça e chato. O grão moça apresenta maior expansão volumétrica e menor perda de massa e água. Além disso, nesse tipo de grão, o eixo “c” foi o que apresentou maior incremento, ao passo que para o grão chato, esse fato ocorreu para o eixo “b”.

Tanto a bebida proveniente de grãos moça quanto de chato apresentaram notas boas, sendo que a primeira apresentou maior nota com relação à doçura, e menor nota global. Verificou-se uma diferença com relação às notas dos atributos avaliados, enfatizando o fato de que são grãos diferentes, que se comportam de forma diferenciada durante o processo de torra, e por tanto apresentam bebidas de qualidade distinta.

Uma vez que as propriedades físicas desse tipo de grão apresenta características diferenciadas com relação aos grãos de café convencionais, os dados fornecidos por este trabalho pode ser utilizado, como por exemplo, na otimização de processos e criação e manutenção de equipamentos relacionados aos beneficiamento e processamento de café moça.

BIBLIOGRAFIA

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. Preço no varejo: Média nacional dos preços de café tradicional no varejo – 2015. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=46#4390>. 23 de Fev. de 2016.

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café (a). Glossário do Café. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=36>. 18 de Set. 2015.

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café (b). NMQ - Nível Mínimo de Qualidade – Orientações. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=99>. 16 de Dez. 2015.

ALONSO-TORRES, B., HERNÁNDEZ-PÉREZ, J. A., SIERRA-ESPINOZA, F., SCHENKER, S., E YERETZIAN, C. “Modeling and Validation of Heat and Mass Transfer in Individual Coffee Beans during the Coffee Roasting Process Using Computational Fluid Dynamics (CFD).” **CHIMIA International Journal for Chemistry** v. 67, n. 4, p. 291–94, 2013.

AMORIM, H. V. Relação entre alguns compostos orgânicos de grão do café verde com qualidade da bebida. (Tese de Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Liz de Queiroz, Piracicaba. 1972.

AMORIM, H. V.; SILVA, O. M. Relationship between the polyfenoloxidase activity of coffee beans and quality of the beverage. **Nature**, London, v. 219, n. 5152, p. 381-382, July 1975.

ARMAZEM. Café moca – Grão de café moca especial. Disponível: <http://www.armazemdocafe.com.br/loja/index.php/cafe-moka-1.html>. 08 de Dez. de 2015.

BAGGENSTOSS, J; POISSON, L.; KAEGI, R.; PERREN, R.; ESCHER, F. Roasting and aroma formation: effect of initial moisture content and steam treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 5847-5851, 2008.

BELITZ, H. D., GROSCH, W., SCHIEBERLE, P. **Food Chemistry**. Springer, 1070 p. 2009.

BERTRAND, B. et al. Comparison of the effectiveness of fatty acids, chlorogenic acids, and elements for the chemometric discrimination of coffee (*Coffea arabica L.*) varieties and growing origins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 56, n. 6, p. 2273-2280, Mar. 2008.

BLISS, S. Globalisation: Coffee from Bean to Cafe. *Geography Bulletin*, v. 43, n. 3, p. 17 – 33, 2011.

BOAVENTURA, Y. M.S.; CRUZ, N. D. Citogenética do híbrido interespecífico (*Coffea arabica* L. x *Coffea canephora* Pierre ex Froehner var. Robusta (Liden) Chev.) que originou o café 'Icatú'. **Turrialba**. v. 37, p 171-178, 1987.

BOAS, B.M.V. et al. Seleção de extratores e tempo de extração para determinação de açúcares em café torrado. *Ciência Agrotecnologia*, Lavras, v.25, n.5, p.1169-1173, 2001.
Borém, F., Garcia, T., Amaral, E. "Anatomy and chemical composition of the coffee fruit and seed". In *Handbook of coffee post-harvest technology*, 282. 2014.

BOREM, F. M. Processamento do café: In: BOREM, F. M., Pós-colheita do Café. Lavras: Ed. UFLA, p 129-156, 2008.

BOTELHO, F. M. Absorção de água por grãos de milho com diferentes níveis de danificação mecânica. Viçosa, Brasil. [Tese de Mestrado]: Universidade Federal de Viçosa. 2009.

BOTELHO, F. M. Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização de processo de torrefação dos grãos de *coffea canephora*. Viçosa, Brasil. [Tese de Doutorado]: Universidade Federal de Viçosa. 2012.

BOULAY, M.; SOMARRIBA, E.; OLIVIER, A. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. **Agroforestería en las Américas**, v.7, p.40-42, 2000.

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 8**, de 11 de junho de 2003. Dispõe de Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. Brasília, DF, p. 12. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: LANARV/SNAD/MA, 365 p. 1992.

CAIXETA, G. Z. T. Gerenciamento da cafeicultura em época de crise. In: ZAMBOLIM, L (Ed.). *Tecnologias de produção de café com qualidade*. Viçosa. UFV, p. 1-24. 2003.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CARVALHO, V. D. de. **Cafeicultura, tecnologias de produção, gerenciamento e comercialização**: colheita, preparo e armazenamento. Lavras: UFLA, n. 1. 1 CD-ROM. 1998.

CLIFFORD, M.N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. New York: Croom Helm, p.305-374. 1985.

COFFEEAM. TANZANIA PEABERRY COFFEE. Disponível: <http://www.coffeeam.com/tanpeab.html>. 08 de Dez. de 2015.

COFFEE BUSINESS. **Anuário estatístico do café**. 6. ed. Rio de Janeiro, 2001.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). “Acompanhamento Da Safra Brasileira Café” 2015, Safra 2015, Terceiro Levantamento, Brasília, setembro de 2015.

CORREIA, A. Influência da torra na evolução dos ácidos clorogénico do café, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia / Universidade Técnica de Lisboa. [Tese de Doutorado] 1990.

CORTEZ, J. G. Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café. 71 f. Agronomia. Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. [Tese doutorado] 2001.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M. de; BASTOS, I. T. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 61-68, 1999.

CUSTÓDIO, A. A. de P.; FARIA, M. A. de; RESENDE, F. C.; CUSTÓDIO, A. A. de P.; GOMES, N. M. Irrigação por gotejo na maturação e classificação do café. **IRRIGA**, v. 19, n. 3, p. 488, 2014.

CUSTÓDIO, A. A. de P.; GOMES, N. M.; LIMA, L. A. Efeito da irrigação sobre a classificação do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 691-701, set./dez. 2007.

DAVIRON, B.; PONTE, S. The coffee paradox: Global markets, commodity trade and the elusive promise of development. Zed books, 2005.

DOKAESTATE. Peaberry AA. Disponível: http://dokaestate.com/product_info.php?products_id=42. 08 de Dez. de 2015.

DUTRA, L.S.; OLIVEIRA, A.S.; FRANCA, V.P.; FERRAZ, R.J.C.; AFONSO, R.J. A preliminary study on the feasibility of using the composition of coffee roasting exhaust gas for the determination of the degree of roast. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 241–246, 2001.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). “Comunicado Técnico 58: A importância da informação sobre o grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida” 2004.

FELDMAN, J. R.; RYDER, W. S.; KUNG, J. T. Importance of non volatile compounds to the flavor of coffee. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 17, p. 733-739, 1969.

FERRÃO, J. O Café, A bebida negra dos sonhos claros, Lisboa, Chaves Ferreira Publicações, 2009.

FIGUEIREDO, L. P. Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de Bourbon em diferentes ambientes. 128 p. [Tese Doutorado] Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FRANÇA, A. S., OLIVEIRA, L. S., OLIVEIRA, R. C., AGRESTI, P. C. M. A., AUGUSTI, R. "A preliminary evaluation of the effect of processing temperature of coffee roasting degree assessment." **Journal of food engineering**, v. 92 (3), p. 345 - 352, 2009.

FRANCA, A. S.; MENDONÇA, J. C. F.; OLIVEIRA, S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT - Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 7, p. 709-715, 2005.

FRANKEL, E.N. Lipid oxidation. 2nded. Bridgewater: The Oily, 2005. 955 p.

Fundação Ezequiel Dias - FUNED. "Atlas de microscopia - Café torrado e moído (Coffea sp)", 2012.

GARUMA, H.; BERECHA, G.; ABEDETA, C.. Influence of Coffee Production Systems on the Occurrence of Coffee Beans Abnormality: Implication on Coffee Quality. **Asian Journal of Plant Science**, 2015.

GEIGER, R. Development of coffee bean structure during roasting - Investigations on resistance and driving forces. Zurich, Swiss. [Doctor's Dissertation]: Swiss Federal Institute of Technology Zurich. 2004.

GNAGY, M. J. Chlorogenic acid in coffee and coffee substitutes. **Journal Association Official Analytical Chemistry**, Washington, v. 44, n. 2, p. 272-275, 1961.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.

GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 54, n. 4, p. 315-325, Dec. 1999.

HERNÁNDEZ, J.A.; HEYD, B.; TRYSTRAM, G. On-line assessment of brightness and surface kinetics during coffee roasting, **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 314-322, 2008.

HO. C.T.H.; HWANG, I.; YU, T.H.; ZHANG, J. An overview of the Maillard reactions related to aroma generation in coffee. In: Quinzième Colloque Scientifique **International Sur le Café**, Montpellier, Paris, ASIC, 1993, 519-527 (cit. ANJOS, 2005).

ILLY, A.; VIANI, R. Espresso coffee: the chemistry of quality. San Diego: Academic Press, 1995.

JHAM, G.N. et al. The use of fatty acid profile as potential makers for Brazilian coffee (Coffea Arabica L.) for corn adulteration. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 19, n.8, p. 1462-1467, 2008.

Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 1a edição digital. São Paulo, 2008. Cap 4, p. 83 - 158.

LAVERSE, J., FRISULLO, P., CONTE, A., DEL NOBILE, M. "X ray microtomography for food quality analysis". In **Food Industrial Processes - Methods and Equipment**, 418. 2012.

LAVIOLA, B. G.; MAURI, A. L.; MARTINEZ, H. E. P.; ARAÚJO, E.F.; NEVES, Y. Influência da adubação na formação de grãos mocas e no tamanho de grãos de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. p. 36-42, 2007.

LOCKHART, E. E. **Chemistry of coffee**. New York: The Coffee Brewing Institute, 20 p. (Publication, 25). 1957.

LOMBAS. Café Unique Edição Especial Moca em Grãos 250g. Disponível: <http://loja.lombas.com.br/cafe-unique-edicao-especial-moca-em-graos-250g>. 08 de Dez. de 2015.

LOPES, L. M. V.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDONÇA, J. M. A.; GARCIA, A. W. R. Avaliação de cultivares de *Coffea arabica* L. através da classificação por peneira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. Anais. Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 220-221.

LOPES, L. M. V.; PEREIRA, G. F. A.; MENDES, A. N. G. Teor de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e pH de grãos crus e torrados de sete cultivares de café (*Coffea Arabica* L.) e suas variações com o processo de torração. Lavras: UFLA, 2000.

MALTA, M. R.; DOS SANTOS, M. L.; DE MELO SILVA, F. A. Qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1385-1390, 2008.

MAONCHA, M. R. Youth Perspective: Climate change affecting Kenya's coffee output. Thomson Reuters. 2013. Disponível em: <http://sustainability.thomsonreuters.com/2013/04/19/climate-change-affecting-kenyas-coffee-output/>. 09 de Dez. de 2015.

MARTINS, A. L. História do café. Editora Contexto, 2012.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Edição 2010. Rio de Janeiro/Varginha, MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

MAZZAFERA, P., GONÇALVES, K. V., SHIMIZU, M. M. Extração e dosagem da atividade da polifenoloxidase do café. **Scientia Agricola**, 59:695-700, 2002.

MENDONÇA, J., FRANÇA, A., OLIVEIRA, L. "Physical characterization of non-defective and defective arabica and robusta coffees before and after roasting." **Journal of Food Engineering** 92: 474 - 479. 2009.

MONTEIRO, M. A. M. Caracterização sensorial da bebida de café (*Coffea arabica* L.): análise descritiva quantitativa, análise tempo-intensidade e testes afetivos [Tese Mestrado]. Viçosa: UFV, 2002.

MOREIRA, S.M.C.; CHAVES, M.A.; OLIVEIRA, L.M. Comparação da eficiência de líquidos na determinação da massa específica aparente de grãos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 9, n. 1 e 2, p. 22-24, 1985.

MOSHENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. **Gordon and Breach Publishers**, New York, p.841, 1986.

OLIVEIRA, L., FRANÇA, A. MENDONÇA, J., BARROS-JÚNIOR, M. “Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans.” **LWT** 39 : 235 - 239. 2006.

OLIVEIRA, J. C. de. Relação da atividade enzimática da polifenoloxidase, peroxidase e catalase dos grãos de café e a Qualidade da bebida. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz [Tese Doutorado], Piracicaba. 80 p. 1972.

ORTOLÁ, M.D.; LONDOÑO, C.L; GUTIÉRREZ, C.L. e CHIRALT, A. Kinetic study of lipid oxidation in roasted coffee. *Food Science and Technology International*, v. 4, p. 67-73, 1998

PAIVA, R. N.; CARVALHO, C. H. S. de; MENDES, A. N. G.; ALMEIDA, S. R. de; MATIELLO, J. B.; FERREIRA, R. A. Comportamento de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Varginha-MG. **Coffee Science**, v. 5, n. 1, p. 49-58, 2010

PAIVA, E. F. F. Análise sensorial dos cafés especiais do Estado de Minas Gerais., Universidade Federal de Lavras [Dissertação de Mestrado], Lavras. 55 p, 2005.

PEABERRYCOFFEE. Featured Products. Disponível: <http://www.peaberrycoffee.com/>. 08 de Dez. de 2015.

PEABERRYS. Coffee roasters products. Disponível: <https://www.peaberrys.com.au/buy-online/>. 08 de Dez. de 2015.

PEDROSO, T. Q.; SCALCO, M. S.; CARVALHO, M. L. M. DE; RESENDE, C. A DE; OTONI, R. R. Qualidade de sementes de cafeeiro produzidas em diferentes densidades de plantio e regimes hídricos. **Coffee Science**, v. 4, n. 2, p. 155-164, 2009.

PEREIRA, R. G. F. A.. Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) “estritamente mole”. Universidade Federal de Lavras [Tese de Doutorado], Lavras. 96 p.1997.

PINELI, L.L.O.; MORETI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; NASCIMENTO, A.B.G.; ONUKI, A.C.A.; Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.993-999, 2005.

PINTO, et al. Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7 n 3, set-dez, 2001. p - 193.

PITTIA, P.; DALLA ROSA, M.; LERICI, C. R. Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 34, n. 3, p. 168–171, 2001.

PORTO. Sobre o café. 2014. Disponível: <http://www.portocoffee.com.br/sobre-o-cafe/>. 11 de Dez. de 2015.

RENA, A. B.; FAVARO, J. R. A. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, p. 149-208. 2000.

RIBEIRO, V. S.; SOBRAL, M. C.; ALMEIDA, M. M.; SILVA, G. F. Propriedades físicas de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 61-67, 2002.

RICKETTS, T. H; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R.; MICHENER, C. D. Economic value of tropical forest to coffee production. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**; v. 101, n. 34, p. 12579–12582. 2004. Doi: 10.1073/pnas.0405147101

SARICOBAN, C.; YILMAZ, M.T. Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. **World Applied Sciences Journal**. v.9, n.1, p.14-22, 2010.

SCHENKER, S. Investigations on the Hot Air Roasting of Coffee Beans. Zurich, Swiss. [Doctor's dissertation]: Swiss Federal Institute of Technology. 2000.

SCHENKER, S., HANSCHIN, S., FREY, B., PERREN, R., ESCHER, F. "Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions". **Journal of Food Science** 65 (3): 452 - 457. 2000.

SEGGES, J. H. Focalizando o café e a qualidade. Ed . Universidade Rural. Seropédica, RJ., 2001 p.45 –47.

SILVA, V. A.; COLARES, M. F. B.; ANDRADE, F. T.; LIMA, L. A. Viabilidade técnica e econômica da cafeicultura consorciada com mamão no norte de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 519-529, 2014.

SILVA, A. C.; LIMA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MARTINS, C. P. Características produtivas do cafeeiro arábica irrigado por pivô central na região de Lavras/MG. **Coffee Science**, v.6, p.128-136, 2011.

SILVETZ, M.; DESROSIER, N.W. Coffee technology. **AI Publishing Company**, Westport, Connecticut, p.716, 1979.

SMITH, R. F. A history of coffee. In: **Coffee**. Springer US, p. 1-12. 1985.

TEIXEIRA, A. A Classificação do café. In: ZAMBOLIM, L. **Produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, 1999.

TEUBER, R. 2007. Geographical Indications of Origin as a Tool of Product Differentiation – The Case of Coffee, Contributed Paper prepared for presentation at the 105th EAAE Seminar ‘International Marketing and International Trade of Quality Food Products’, Bologna, Italy, 2007.

TUNDE-AKINNTUNDE, T. Y.; AKINTUNDE, B. O. Some physical properties of sesame seed. **Biosystems Engineering**, v.88, p.127-129, 2004.

UNICAFE. Preparo do café. 2004. Disponível: <http://www.unicafe.com.br/asp/system/empty.asp?P=45&VID=default&SID=771428194967529&S=1&C=20256>. 10 de Dez. de 2015

VALÊNCIA-ARISTIZABAL, G. Actividad enzimatica en el grano de café en relacion con la calidad de la bebida de café. **Cenicafé**, Caldas, v. 23, n. 1, p. 3-18, ene./mar. 1972.

VARGAS-ELÍAS, G. A. Avaliação das propriedades físicas e qualidade do café em diferentes condições de torrefação. Viçosa, Brasil. [Dissertação de Mestrado]: Universidade Federal de Viçosa. 2011.

VENEGAS, J. V. B. Modelagem das propriedades físicas e da transferência de calor e massa dos grãos de café durante a torrefação. Viçosa, Brasil. [Dissertação de Mestrado]: Universidade Federal de Viçosa. 2015.

VILAS BOAS, B. M. et al. Seleção de extratores e tempo de extração para determinação de açúcares em café torrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1169-1173, set./out. 2001.

VILLARREAL, D. et al. Genotypic and environmental effect on coffee (*Coffea arabica* L.) bean fatty acid profile: impact on variety and origin chemometric determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 57, n. 23, p. 11321-11327, 2009.

WORLDMARKET. World Market® Tanzanian Peaberry Coffee, Set of 6. Disponível: <http://www.worldmarket.com/product/world-marketreg-tanzanian-peaberry-whole-bean-coffee.do>. 08 de dez. 2015.

WORLDTRADERCOFFEE. Brazil Peaberry Coffee. Disponível: <http://worldtradercoffee.com/brazil-peaberry-coffee/>. 10 de Dez. de 2015.