

Congresso
Internacional da
Agroindústria
10 e 11 de junho



Inovação,
Gestão e
Sustentabilidade
na Agroindústria

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE CAFÉ EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE TORREFAÇÃO

COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GRANOS DE CAFÉ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE TUESTE

BEHAVIOR OF PHYSICAL PROPERTIES OF COFFEE BEANS UNDER DIFFERENT ROASTING CONDITIONS

Ana Letícia Toté de Medeiros¹; Gustavo Henrique Daniel Santos Silva²; Wallysson Wagner Vilela Santos³
Marteson Cristiano dos Santos Camelo⁴; Suzana Pedroza da Silva⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0034>

RESUMO

Ocupando a posição de segunda *commodity* mais comercializada no mundo e sendo uma das bebidas mais consumida dentre as não alcoólicas, o café pode possuir composições diversas a depender da localidade e das condições nas quais este foi cultivado, resultando, conseqüentemente, em bebidas com características diversificadas. A torrefação é uma das etapas mais importantes no processamento do café, conferindo as características específicas de aroma e sabor da bebida final. Este trabalho analisou, a partir de dados da literatura, encontrados nas plataformas de buscas de artigos (SciELO, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES, Elsevier, Springer e ScienceDirect), o comportamento das propriedades físicas dos grãos de café (teor de água, incremento dos eixos, expansão volumétrica e superficial, perda de massa e massa específica) em diferentes condições de torra. O teor de água dos grãos tende a diminuir drasticamente nos momentos iniciais da torra devido ao aumento rápido de temperatura no interior do grão e, em torras com temperaturas mais altas essa diminuição foi mais acentuada. Os eixos (dimensões) dos grãos tendem a se expandir no decorrer da torra, devido a formação de gases (compostos orgânicos voláteis, CO₂, vapor de água, etc) nas reações de pirólise, possuindo aumentos mais expressivos em torras de temperaturas mais altas. Resultados estes condizentes com a expansão volumétrica e superficial dos grãos, pois com o aumento das dimensões dos grãos houve o conseqüente aumento do volume e da área. Em relação a perda de massa, esta propriedade mostrou-se mais acentuada no início do processo, devido a perda de água, e nas torras mais escuras essa perda foi maior. No decorrer da torra, a massa específica dos grãos sofreu decaimento, devido a perda de massa e aumento de volume e, em temperaturas mais elevadas, este decaimento foi maior. Deve-se estar atento ao impacto nestas alterações das propriedades físicas dos grãos, tendo em vista que as torras realizadas a temperaturas mais elevadas causaram grandes alterações nos grãos, o que pode, possivelmente, acarretar em perda de compostos voláteis, aumento da oxidação lipídica e perdas comerciais, podendo assim comprometer a qualidade final destes produtos.

Palavras-Chave: Café; Características físicas; *Coffea arabica*; Torrefação.

RESUMEN

Siendo el segundo producto más comercializado del mundo y una de las bebidas no alcohólicas más

¹ Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, analeticiatote@gmail.com

² Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, gd30440@gmail.com

³ Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, wallysson70@gmail.com

⁴ Dr em Engenharia Química, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, marteson.camelo@ufape.edu.br

⁵ Dra em Engenharia Química, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, suzana.pedroza@ufape.edu.br

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE

consumidas, el café puede tener diferentes composiciones según el lugar y las condiciones en que se haya cultivado, lo que da lugar a bebidas con diferentes características. El tueste es uno de los pasos más importantes en el procesamiento del café, ya que proporciona las características específicas de aroma y sabor de la bebida final. Este trabajo analiza, a partir de datos de la literatura, encontrados en plataformas de búsqueda de artículos (SciELO, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES, Elsevier, Springer y ScienceDirect), el comportamiento de las propiedades físicas de los granos de café (teorización del agua, aumento de los huecos, expansión volumétrica y superficial, pérdida de masa y masa específica) en diferentes condiciones de torrefacción. El contenido de agua de los granos tiende a disminuir drásticamente en los momentos iniciales del tueste debido al rápido aumento de la temperatura en el interior del grano y, en el tueste con temperaturas más altas, esta disminución fue más acentuada. Los ejes (dimensiones) de los granos tienden a expandirse durante el tostado, debido a la formación de gases (compuestos orgánicos volátiles, CO₂, vapor de agua, etc.) en las reacciones de pirólisis, teniendo incrementos más expresivos en el tostado a temperaturas más altas. Estos resultados son coherentes con la expansión volumétrica y superficial de los granos, ya que con el aumento de las dimensiones de los granos se produjo el consiguiente aumento del volumen y del área. En cuanto a la pérdida de masa, esta propiedad fue más acentuada al principio del proceso, debido a la pérdida de agua, y en los tostados más oscuros esta pérdida fue mayor. Durante el tueste, la masa específica de los granos sufrió un decaimiento, debido a la pérdida de masa y al aumento de volumen y, a mayores temperaturas, este decaimiento fue mayor. Hay que tener en cuenta el impacto de estos cambios en las propiedades físicas de los granos, teniendo en cuenta que el tostado a temperaturas más elevadas provocó grandes cambios en los granos, que posiblemente pueden conducir a la pérdida de compuestos volátiles, al aumento de la oxidación de los lípidos y a pérdidas comerciales, comprometiendo así la calidad final de estos productos.

Palabras Clave: Café; Características físicas; *Coffea arabica*; Tostado.

ABSTRACT

As the second most traded commodity in the world and one of the most consumed non-alcoholic beverages, coffee can have different compositions depending on the location and conditions in which it was grown, resulting in beverages with different characteristics. Roasting is one of the most important stages in coffee processing, providing the specific characteristics of aroma and flavor to the final beverage. This work analyzed, based on literature data found in article search platforms (SciELO, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES, Elsevier, Springer, and ScienceDirect), the behavior of physical properties of coffee beans (water content, shaft increment, volumetric and surface expansion, mass loss, and specific mass) under different roasting conditions. The water content of the beans tends to decrease drastically in the initial moments of roasting due to the rapid increase of temperature inside the bean, and at higher roasting temperatures this decrease was more accentuated. The grain axes (dimensions) tend to expand during the roasting process, due to the formation of gases (volatile organic compounds, CO₂, water vapor, etc.) in the pyrolysis reactions, with more significant increases at higher roasting temperatures. These results are consistent with the volumetric and surface expansion of the grains, because with the increase in the size of the grains there was the consequent increase in volume and area. In relation to the loss of mass, this property was more accentuated at the beginning of the process, due to the loss of water, and in the darker roasts this loss was greater. During the roasting process, the specific mass of the grains suffered a decay, due to the loss of mass and increase in volume, and at higher temperatures this decay was greater. One should be aware of the impact of these alterations in the physical properties of the grains, considering that the roasting at higher temperatures caused great alterations in the grains, which can possibly lead to loss of volatile compounds, increased lipid oxidation, and commercial losses, thus compromising the final quality of these products.

Keywords: Coffee; Physical characteristics; *Coffea arabica*; Roasting.

INTRODUÇÃO

O café é a segunda *commodity* mais vendida em todo o mundo, ficando atrás apenas do petróleo bruto e é também caracterizada como uma das bebidas não alcoólicas mais consumidas mundialmente (HAILE; KANG, 2019). O arbusto do café é pertencente à família das rubiáceas

(*Rubiaceae*) possuindo mais de sete mil espécies distintas onde, dentre estas, apenas duas possuem grande importância econômica: *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (BRESSANI, 2018). Segundo Easto e Willhoff (2017) cerca de 70 a 80 % da produção mundial que é destinada à comercialização é referente ao café arábica.

O *Coffea arabica*, amplamente conhecido como café arábica, possui um grão de formato oval, de cor amarelo-esverdeada fornecendo uma bebida mais elaborada, requintada e complexa com aroma marcante, maior doçura e acidez quando comparada às bebidas da *Coffea canephora*. Seu arbusto possui maior sensibilidade ao calor e suscetibilidade a pragas (CORRÊA *et al.*, 2015; SENAR, 2017; REIFSCHNEIDER *et al.*, 2020). De acordo com Easto e Willhoff (2017) seu valor comercial pode chegar a duas vezes o valor dos cafés da *canephora*.

No Brasil o café é cultivado em diferentes regiões que possuem características distintas relacionadas ao solo, altitude, latitude, relevo e clima o que, conseqüentemente, acarreta na produção de grãos de café com as mais variadas características sendo uma ótima maneira de atender aos diferentes gostos e preferências de compra dos consumidores (MAPA, 2017; REIFSCHNEIDER *et al.*, 2020).

Entre o plantio do café e a extração da bebida existem diversos processos que irão influenciar na qualidade final do produto, e dentre todas as etapas pós-colheita àquela que possui uma parcela maior de influência na qualidade é a torrefação. O processo de torra é responsável por conferir sabor à bebida através da transformação do grão cru em torrado, porém se executada de forma incorreta pode esconder todas as características do grão que foram minuciosamente preservadas nas etapas anteriores (GARCIA *et al.*, 2018).

O objetivo deste trabalho foi analisar, por meio de dados encontrados na literatura, através das plataformas de pesquisa de artigos (SciELO, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES, Elsevier, Springer e ScienceDirect), o comportamento das propriedades físicas dos grãos de café como teor de umidade, perda de massa, expansão volumétrica, área superficial, massa específica e variação dos eixos ortogonais dos grãos, em diferentes condições de torra.

REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de torra pode ser dividido basicamente em três etapas, iniciando-se pela secagem onde ocorrem as reações endotérmicas, seguida da etapa de reações exotérmicas com formação de compostos de aroma e sabor do café e, por fim, a etapa de resfriamento dos grãos (POISSON *et al.*, 2017). Entre 50 e 100 °C ocorre a desnaturação de proteínas do tecido do grão e a evaporação da água presente. Acima dos 100 °C ocorrem as reações de pirólise de compostos orgânicos responsáveis pelo escurecimento dos grãos e, ao atingir temperaturas de 150 °C há a liberação de compostos como vapor d'água, monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE

(CO₂) que promovem a expansão dos grãos. Dentre as diversas reações químicas exotérmicas que ocorrem durante a torra pode-se destacar a reação de Maillard já que é através dela que há a formação dos principais compostos de aroma e sabor do café torrado como as pirazinas, tióis, piridinas dentre outros. Por fim, é necessário realizar o resfriamento dos grãos, com ar ou água, para interromper o processo de torra e impedir que haja a queima dos grãos (BELITZ; GROSCH; SCHIEBERLE, 2009; GLOESS *et al.*, 2014; LEE *et al.*, 2015; POISSON *et al.*, 2017).

A forma com que o grão de café se apresenta é de extrema importância para que o processo de torrefação ocorra de maneira correta, pois em sua forma intacta ele atua como um "mini reator" fornecendo condições adequadas como temperatura interna apropriada e garantindo a interação correta entre os compostos precursores das reações químicas características da torra (SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

Fatores como espécie, variedade, origem e volume de grãos que vão ser torrados irão influenciar todo o processo, o que torna possível a modificação e o ajuste de condições operacionais (binômio tempo x temperatura e rotação do torrefador) de acordo com a matéria prima que se está trabalhando e também de acordo com o produto final que se deseja atingir (GARCIA *et al.*, 2018).

É necessário conhecer a composição dos grãos de café, os precursores de aroma e sabor da bebida final, assim como realizar de forma correta e eficiente o processo de torrefação para que seja possível entregar um produto com atributos sensoriais desejáveis, tendo em vista que, através de uma torra adequada e otimizada, as características e qualidades intrínsecas do café são demonstradas (POISSON *et al.*, 2017).

Para Franca *et al.* (2009) a utilização de parâmetros isolados, como cor dos grãos e perda de massa, não são formas confiáveis de determinar o grau de torra do café, devendo-se levar em consideração também a temperatura dos grãos no processo. É de grande importância possuir conhecimento sobre as características físicas dos grãos de café antes, durante e após o processo de torra, pois a partir dessas informações torna-se possível desenvolver equipamentos e processos adequados, além de conseguir prever a qualidade do produto que está sendo gerado e, conseqüentemente, da bebida final (VANEGAS, 2015).

METODOLOGIA

Para obtenção de dados relacionados ao tema desta pesquisa, utilizou-se os trabalhos de Vanegas (2015) e Campos (2016), sendo estes selecionados a partir de pesquisas realizadas em plataformas de buscas: SciELO, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES, Elsevier, Springer e ScienceDirect. Para a discussão deste trabalho, os gráficos obtidos por Vanegas

(2015) e Campos (2016) foram tratados no site *WebPlotDigitalizar* para conversão em dados. Ambos os autores utilizaram como matéria prima grãos de café do tipo *Coffea arabica* da variedade Catuaí Vermelho, onde Vanegas (2015) analisou grãos peneira 18 e Campos (2016) grãos tipo moca (peneira 10) e grãos chatos (peneira 16).

Ambos os autores utilizaram torrefadores com queima direta de gás e cilindro rotativo de 45 rpm e retiraram amostras a cada 20 s de torra para realização das análises. Vanegas (2015) realizou condições de torra a temperaturas de 200, 220, 240, 260 e 280 °C com durações de 10 min cada, e Campos (2016), analisou os grãos submetidos a torras de temperaturas 220, 240, 260, 280 e 300 °C também com 10 min de duração para cada operação.

A partir do trabalho de Vanegas (2015) foram extraídos os dados referentes a perda de massa, expansão superficial e massa específica, e os dados referentes a teor de água, expansão volumétrica e variação dos eixos ortogonais foram extraídos do trabalho de Campos (2016).

Os dados extraídos do trabalho de Vanegas (2015) e Campos (2016) foram tratados utilizando-se o Excel® para plotar os gráficos aqui apresentados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 01 traz os dados referentes ao teor de umidade, obtidos a partir do trabalho de Campos (2016). O teor de umidade dos grãos durante a torra (Figura 01) apresentou uma queda acentuada no início do processo que tende a estabilizar após aproximadamente 500 s em todas as condições de torra.

Como já mencionado na fundamentação teórica, a primeira etapa da torra é responsável pela desidratação do grão, havendo então liberação da água em forma de vapor. Além desta água já presente no grão, durante as reações químicas, como a reação de Maillard, há a produção de uma quantidade considerável de água, que também será volatilizada no decorrer no processo (NICOLI; SAVONITTI, 2005; POISSON *et al.*, 2017; SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

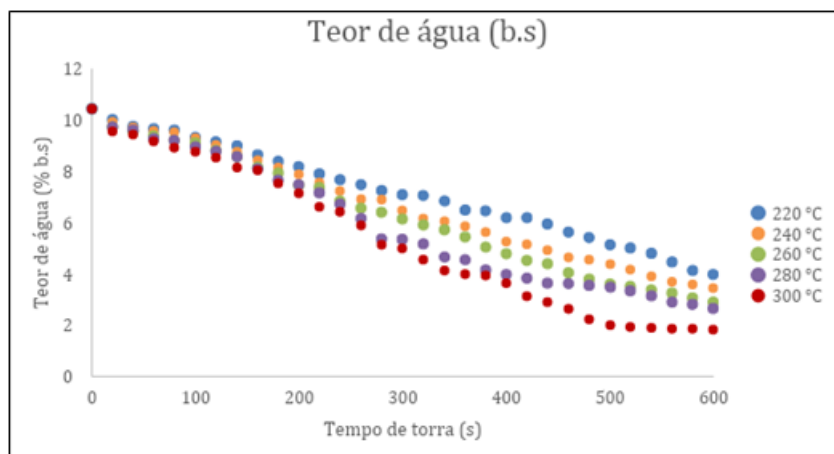
Trazendo uma abordagem complementar ao que foi tratado por Campos (2016), vale ressaltar que ao utilizar o método da estufa a 105 °C para determinação do teor de água dos grãos (metodologia adotada pela autora) também se contabiliza os compostos voláteis que, nesta faixa de temperatura, sofrem volatilização (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Do ponto de vista da qualidade é interessante observar, através de análises específicas, se nas condições de torras com temperaturas mais elevadas, não estão sendo perdidas grandes quantidades desses compostos voláteis de forma a comprometer as características do produto final.

O teor de umidade final para as condições de torra de 220, 240, 260, 280 e 300 °C foi de aproximadamente 4,00, 3,45, 2,90, 2,66 e 1,83 % respectivamente. Acrescentando ao que

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE

foi discutido por Campos (2016) em seu trabalho, vale ressaltar que, mesmo apresentando valores tão distintos para este parâmetro, principalmente entre as torras extremas, todas as condições de torra estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, onde o teor de umidade dos grãos torrados deve ser menor que 5 % (BRASIL, 1999).

Figura 01: Teor de água dos grãos de café no decorrer dos processos de torra a temperaturas de 220, 240, 260, 280 e 300 °C.



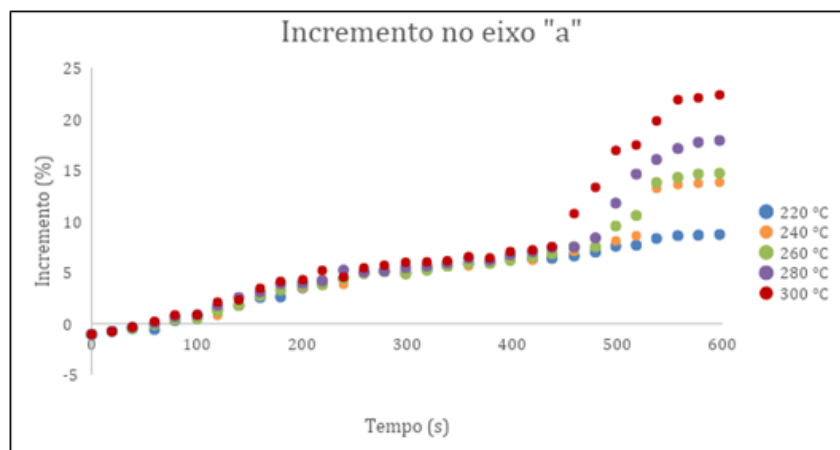
Fonte: Própria (2021).

Em seu trabalho Campos (2016) trouxe os dados referentes aos incrementos nos eixos ortogonais dos grãos causados pelo processo de torra. Estes incrementos estão demonstrados nas Figuras 02, 03 e 04, onde os eixos “a”, “b” e “c” correspondem à maior dimensão, a intermediária e a menor dimensão do grão, respectivamente.

Nota-se que nos primeiros 60 s de torra o eixo a (maior comprimento) (Figura 02) apresentou incrementos negativos, ou seja, o eixo sofreu uma pequena contração, que logo foi restabelecida nos segundos seguintes. Uma possível explicação para isso seria o fato de que no início da torra a temperatura dos grãos se eleva rapidamente sofrendo a desidratação (FADAI *et al.*, 2017), o que pode ter levado a uma rápida contração do eixo nos segundos iniciais devido à perda de água.

Até aproximadamente 450 s de torra o aumento no eixo “a” foi muito semelhante para todas as condições de torra e, após isto, nota-se que as torras de maiores temperaturas proporcionaram um maior incremento nesta dimensão, tendo um aumento máximo de aproximadamente 22 % para temperatura de 300 °C.

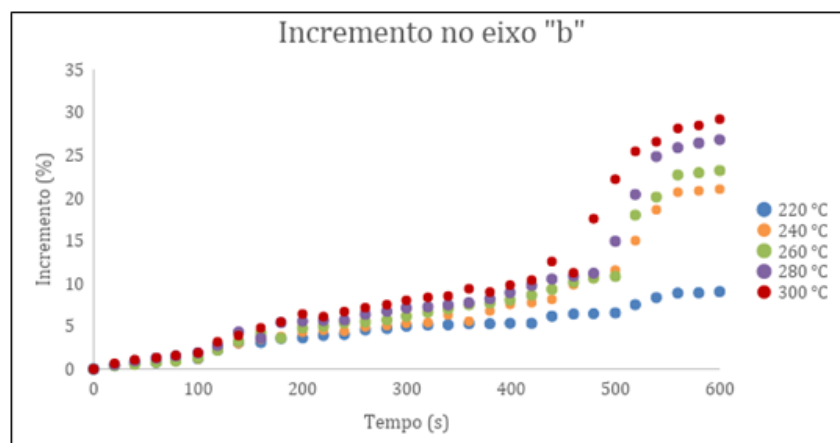
Figura 02: Incrementos no eixo “a” dos grãos de café nas diferentes condições de torra a temperaturas de 220, 240, 260, 280 e 300 °C.



Fonte: Própria (2021).

O eixo b apresentou comportamento semelhante ao eixo a (Figura 03), porém, a semelhança no crescimento do eixo durou apenas até os 100 s iniciais, e a partir disso, as torras mais elevadas se destacaram com maiores valores de incrementos. Para a torra a 300 °C houve um incremento máximo de 29 % para esse eixo.

Figura 03: Incrementos no eixo “b” dos grãos de café nas diferentes condições de torra a temperaturas de 220, 240, 260, 280 e 300°C.

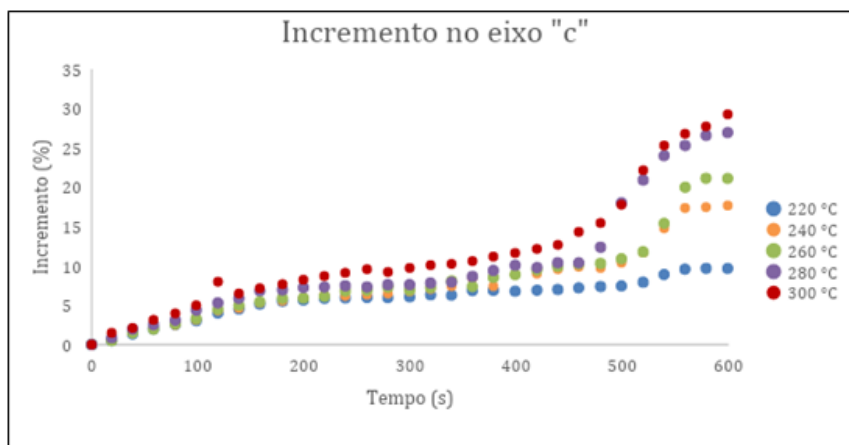


Fonte: Própria (2021).

O eixo “c” (Figura 04) obteve uma expansão mais lenta quando comparada ao eixo “b”, mas, ao final do processo, apresentou um percentual de incremento muito próximo a ele. É possível perceber que a temperatura de torra influencia diretamente na expansão das dimensões dos grãos, tendo em vista que, independentemente do eixo analisado, as torras de maiores temperaturas (280 °C e 300 °C) proporcionaram aos grãos uma maior expansão.

Figura 04: Incrementos no eixo “c” dos grãos de café nas diferentes condições de torra a temperaturas de 220, 240, 260, 280 e 300°C.

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE



Fonte: Própria (2021).

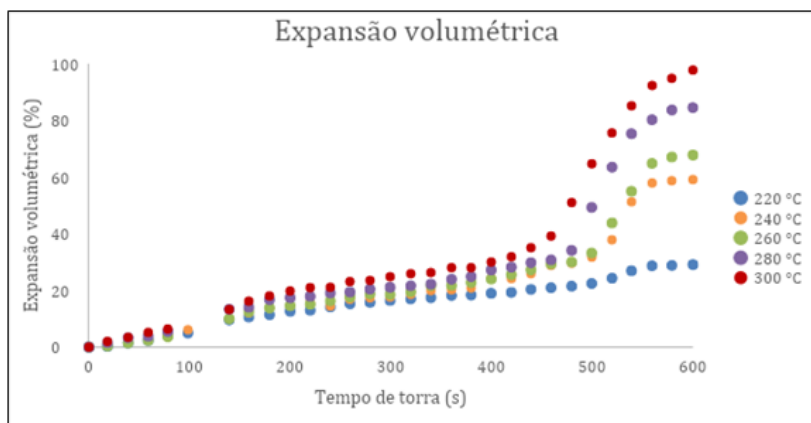
O aumento dos eixos a, b e c durante o processo é causado justamente pelo acúmulo de gases no interior dos grãos, produzidos pelas reações de pirólise, pela evaporação da água e, apresenta-se mais acentuado em torras de temperaturas mais altas devido a ocorrência em maior escala desses fenômenos diante de maiores temperaturas.

Estes dados são condizentes com a expansão volumétrica (Figura 05), onde os dados demonstraram que, quanto maior a temperatura de torra aos quais os grãos são submetidos, maior a expansão volumétrica associada a estes.

Trazendo um ponto de vista adicional ao que foi discutido por Campos (2016) ressalta-se, grãos maiores podem chamar mais a atenção dos consumidores que possuem o hábito de adquirir cafés ainda não moídos, o que pode considerar-se como um ponto positivo, porém grãos que sofrem maior expansão volumétrica podem apresentar problemas com relação a sua qualidade final.

A Figura 05 traz os dados referentes à expansão volumétrica, obtidos a partir do trabalho de Campos (2016). Nota-se que para as condições de torra com temperaturas mais elevadas (280 e 300 °C) a expansão volumétrica ocorreu de forma mais pronunciada quando comparada às de temperaturas mais baixas (Figura 05). Dutra *et al.* (2001) afirma que a expansão dos grãos é ocasionada pela liberação de vapor d'água, compostos orgânicos voláteis e CO₂ resultante das reações químicas.

Figura 05: Índice de expansão volumétrica sofrida pelos grãos nas diferentes condições de torra a temperaturas de 220, 240, 260, 280 e 300 °C.



Fonte: Própria (2021).

Visando complementar a discussão realizada na literatura é válido ressaltar que, o aumento do volume dos grãos no decorrer da torra é influenciado por dois fatores: a resistência estrutural do próprio grão e a força motriz de expansão, causada pela formação de gases e vapor d'água. Os polissacarídeos presentes na parede celular dos grãos podem apresentar-se basicamente em dois estados, vítreo ou emborrachado, onde a temperatura em que ocorre a transição entre esses estados (Temperatura de Transição Vítreo (T_g)) é diretamente influenciada pelo teor de umidade presente no meio (SCHENKER *et al.*, 2000; SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

Então, é possível presumir que o grão se encontra inicialmente em um estado vítreo, de maior rigidez, passando para um estado emborrachado que apresenta uma menor resistência possibilitando assim a expansão volumétrica do grão e, por fim, devido ao baixo teor de água presente no meio, o grão volta ao estado vítreo. Logo, a expansão volumétrica dos grãos é resultado de um desequilíbrio entre a força motriz e a resistência da parede celular, havendo, respectivamente, um aumento e uma diminuição destas propriedades (SCHENKER *et al.*, 2000; SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

É de grande importância que haja um controle da expansão volumétrica dos grãos durante a torra, pois os gases e compostos aromáticos voláteis resultantes das reações de pirólise dependem da estrutura do grão para permanecerem em seu interior (BRESSANI, 2018). Torna-se de grande relevância atentar-se em como a ocorrência da expansão volumétrica dos grãos pode impactar nas características do produto final. Realizou-se então uma abordagem complementar à fornecida por Campos (2016) acerca da influência dessa expansão volumétrica na qualidade final do café.

O perfil de torra ao qual o café é submetido irá influenciar diretamente nesta questão, e a exemplo disso tem-se que torras mais escuras, tendem a formar microporos maiores na estrutura celular dos grãos, causados pela maior expansão volumétrica e, devido a isto, apresentam maior taxa de transferência de massa dos compostos presentes em seu interior.

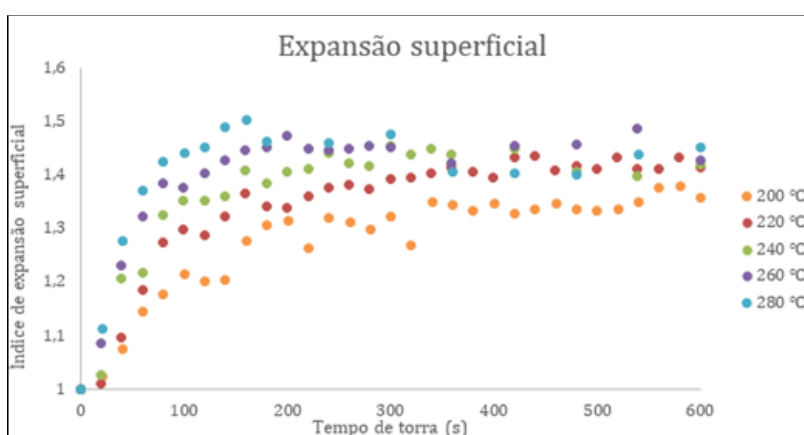
COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE

Além disto, grãos mais porosos, apesar de apresentarem melhor desempenho no momento da extração, não possuem uma estrutura adequada para impedir a oxidação do produto, tendo em vista que uma grande quantidade de poros permite a passagem dos óleos do café para a superfície, onde entram em contato com o oxigênio e sofrem reações de oxidação, conferindo ao produto final um sabor rançoso desagradável (SCHENKER, 2000; SCHENKER; ROTHGEB, 2017).

Também de forma adicional vale ressaltar que, o fato de os cafés submetidos a temperaturas maiores de torra possuírem maior expansão volumétrica e, conseqüentemente, maior porosidade, acaba por facilitar o processo de moagem, demandando uma menor quantidade de energia para realização da etapa, já que esses grãos apresentam uma maior fragilidade em sua estrutura (PETRACCO, 2005). Deve-se entender bem a ocorrência do processo para que seja possível obter grãos de qualidade e que demandem baixo custo energético para moagem.

A Figura 06 traz os dados referentes à expansão superficial, obtidos a partir do trabalho de Vanegas (2015). Observou-se maiores índices de expansão superficial nas torras com temperaturas mais elevadas (Figura 06), o que é bastante condizente com o aumento da expansão volumétrica dos grãos em torras com temperaturas mais elevadas. Para a torra a 280 °C o índice de expansão superficial chegou a aproximadamente 1,45 ao final do processo, enquanto para a temperatura de 200 °C esse valor foi de 1,35.

Figura 06: Índice de expansão superficial sofrida pelos grãos nas diferentes condições de torra a temperaturas de 200, 220, 240, 260 e 280 °C.



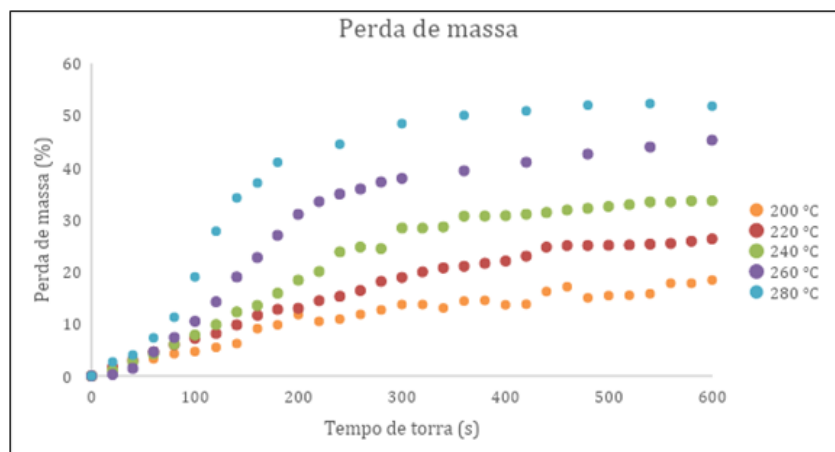
Fonte: Própria (2021).

De forma adicional ao que foi discutido por Vanegas (2015) em seu trabalho, nota-se que após determinado tempo de processo a expansão superficial decai um pouco, mas logo volta a subir, para todas as temperaturas de torra. Isto pode ser explicado pelo fato de que durante a

torra há a secagem dos grãos com evaporação da água presente e, em contrapartida em uma fase seguinte, há a formação de gases voláteis que ocupam o espaço existente no interior do grão (FADAI *et al.*, 2017) fazendo com que apresentem uma leve oscilação em sua expansão superficial.

A Figura 07 traz os dados referentes a perda de massa, obtidos a partir do trabalho de Vanegas (2015). Essa perda de massa dos grãos (Figura 07) durante as diferentes condições de torra demonstraram que, quanto maior a temperatura aplicada durante a torra, maior será a perda de massa associada a este grão, chegando a valores de, aproximadamente, 50 % para a torra de 280 °C. Além disso, percebe-se que há uma acentuada perda de massa no início do processo (até 200 s) para todas as condições de torra.

Figura 07: Perda de massa sofrida pelos grãos nas diferentes condições de torra a temperaturas de 200, 220, 240, 260 e 280 °C.



Fonte: Própria (2021).

A perda de massa existente durante a torra é causada por diversos fatores como a evaporação da água, desprendimento da película prateada do grão e a transformação dos compostos orgânicos do grão em compostos voláteis e gases como o CO₂ devido às reações de pirólise. Essa perda de massa tende a ser mais acentuada nos momentos iniciais da torra devido a evaporação da água, aumentando de forma progressiva no restante do processo e, além disso, varia de acordo com o grau de torra, sendo maior em torras mais escuras quando comparada às torras mais claras (SCHENKER; ROTHGEB, 2017; BRESSANI, 2018).

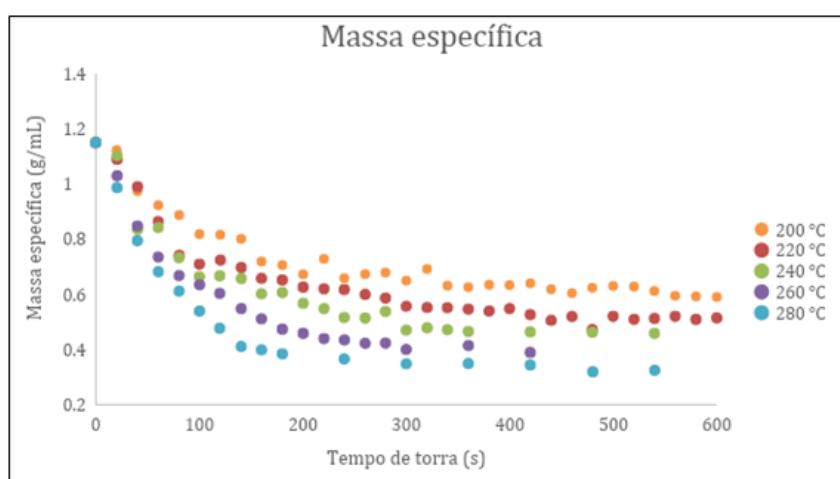
De forma adicional ao que foi discutido por Vanegas (2015) nas temperaturas mais elevadas, em momentos mais avançados da torrefação, uma grande quantidade de compostos aromáticos sofre decomposição, então, quanto maior a temperatura de torra submetida aos grãos, maior a quantidade de compostos de aroma perdidos (SCHENKER; ROTHGEB, 2017). Esta volatilização de compostos também pode refletir, mesmo que em pequena parcela, numa

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE

maior perda de massa associada aos grãos que sofreram torras mais drásticas. Diante disto, é interessante observar, assim como já sugerido, utilizando-se de análises específicas, se estas temperaturas mais altas de torra podem diminuir a qualidade final do produto, em decorrência da decomposição de compostos que conferem aroma à bebida.

A Figura 08 traz os dados referentes à massa específica, obtidos a partir do trabalho de Vanegas (2015). Nota-se uma relação inversamente proporcional entre a temperatura de torra e a massa específica (Figura 08), ou seja, quanto maior a temperatura de torra aplicada, menor a massa específica do grão. Enquanto a torra de 220 °C a massa específica final do grão foi de aproximadamente 0,59027 g/mL para a torra de 280 °C esse valor foi de aproximadamente 0,32432 g/mL.

Figura 08: Massa específica dos grãos durante os processos de torra em diferentes condições a temperaturas de 200, 220, 240, 260 e 280 °C.



Fonte: Própria (2021).

O decréscimo na massa específica dos grãos no decorrer da torra é explicado pela expansão volumétrica sofrida pelos grãos em conjunto com a perda de massa dos mesmos (OLIVEIRA; OLIVEIRA; FREITAS, 2019). O fato desse decréscimo ser maior em torras mais acentuadas é devido à maior expansão volumétrica e perda de massa desses grãos nessas condições de torra.

Devido à grande diversidade de grãos existentes não há a possibilidade de seguir uma receita no momento da torra do café, pois sua composição varia, assim como as características que querem ser destacadas no produto final e o público ao qual este é destinado (REIFSCHNEIDER *et al.*, 2020). Diante dessa diversidade de fatores não há como afirmar, até então, se um valor de massa específica pode ser considerado como o mais adequado para o café torrado, pois cada grão possui seu perfil único e suas características associadas.

Porém, adicionalmente ao que foi discutido por Vanegas (2015), a massa específica de grãos oriundos de torras mais drásticas pode apresentar-se como um problema no ponto de vista comercial, pois esse processo resulta em uma maior perda de umidade, voláteis e de massa, maior expansão volumétrica e maior formação de poros, o que acarreta uma menor massa específica do produto final conferindo-lhe um menor rendimento, sendo então necessária uma maior quantidade de grãos para atingir-se um mesmo peso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que a temperatura de torra influencia diretamente nos parâmetros físicos analisados neste trabalho, onde quanto maior o nível de torra mais acentuadas as expansões, perda de massa e de umidade, além de maior diminuição na massa específica final do produto.

Com relação ao teor de água dos grãos e a perda de massa dos mesmos, deve-se atentar a possibilidade de torras mais drásticas degradarem uma maior quantidade de compostos voláteis e aromáticos que podem afetar a qualidade final do produto ofertado.

O aumento do tamanho dos eixos “a”, “b” e “c” dos grãos de café é resultado das diversas reações que ocorrem no decorrer do processo de torra e podem influenciar desde a preferência de compra do produto pelo consumidor até a qualidade do produto.

As expansões volumétrica e superficial dos grãos apresentaram-se mais acentuadas para as temperaturas de torra mais altas. Isso demonstra a necessidade de cautela para com estas variáveis durante o processo, tendo em vista que, grandes aumentos de volume nos grãos acarretam em uma maior porosidade da estrutura, facilitando a migração de óleos para a superfície comprometendo a qualidade do café.

Torras com temperaturas mais altas resultaram em grãos de café com menor massa específica, em decorrência do aumento do volume e da grande perda de massa sofrida por eles, o que pode apresentar-se como um problema para o setor comercial devido ao menor rendimento que o produto apresentará.

A partir da discussão destes dados pode-se afirmar a necessidade da realização de trabalhos futuros aplicando modelagem matemática avaliando detalhadamente o comportamento destas propriedades físicas dos grãos de café durante o processo de torrefação, para que seja possível controlar e compreender melhor este importante processo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE pelo apoio financeiro concedido à aluna para a realização deste trabalho.

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE

REFERÊNCIAS

BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Food Chemistry**. 4th revised and extended ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1070p. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. PORTARIA Nº 377, DE 26 DE ABRIL DE 1999. **Fixa a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer o Café Torrado em Grão e Café Torrado e Moído**. Brasília, 1999.

BRESSANI, E. **Guia do Barista**: da origem do café ao espresso perfeito. 5ª Edição. São Paulo: Café Editora, 2018.

CAMPOS, R. C. Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra. Viçosa, 2016. 74p. **Dissertação de Mestrado** (Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação, UFV, 2016.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; TRETO, P. C.; ALVES E. A. **Propriedades físicas e químicas interferentes na pós-colheita do café**. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (Org.) **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 400- 424.

DUTRA, E. R.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S.; FERRAZ, V. P.; AFONSO, R. J. C. F. 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. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00116-3). Acesso em: 02 jan. 2021.

EASTO, J.; WILLHOFF, A. **Craft Coffee: A Manual**: Brewing a Better Cup at Home. First Edition. Chicago: Surrey Books, 2017.

FADAI, N. T.; MELROSE, J.; PLEASE, C. P.; SCHULMAN, A.; GORDER, R. A. V. A heat and mass transfer study of coffee bean roasting. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 104. p.787-799. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.083>. Acesso em: 19 jan. 2021.

FRANCA, A. S; OLIVEIRA, L. S; OLIVEIRA, R. C. S; AGRESTI, P. C. M; AUGUSTI, R. A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. **Journal of Food Engineering**, v. 92. p.345-352, 2009.

GARCIA, C. C; NETTO, A. D. P; SILVA, M. C; CATÃO, A. A; SOUZA, I. A; FARIAS, L. S; PAULA, T. N. E; PAULA, M. N. E; REIS, S. C; JUNIOR, A. I. S. RELATIVE IMPORTANCE AND INTERACTION OF ROASTING VARIABLES IN COFFEE ROASTING PROCESS. **Coffee Science**, Lavras, v.13, n.3. p. 379-388, 2018.

GLOESS, A. N.; VIETRI, A.; WIELAND, F; SMRKE, S; SCHÖNBÄCHLER, B; LÓPEZ, J. A. S; PETROZZI, S; BONGERS, S; KOZIOROWSKI, T; YERETZIAN, C. Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. **International Journal of Mass Spectrometry**, v. 365-366. p. 324-337, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2014.02.010>. Acesso em: 24 dez. 2020.

HAILE, M.; KANG, W. H. The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. **Journal of Food Quality**, v.2019. 6p., 2019. Disponível em:<https://doi.org/10.1155/2019/4836709/>. Acesso em: 24 nov. 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4^a.ed. 1^a edição digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

LEE, L. W.; CHEONG, M. W.; CURRAN, P.; YU, B.; LIU, S. Q. Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. **Food Chemistry**, v.185, p.182-191, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>. Acesso em: 19 dez. 2020.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 24 nov. 2020.

NICOLI, M. C.; SAVONITTI, O. Storage and packaging. In: ILLY, A; VIANI, R. **Espresso Coffee: The Science of Quality**. Second Edition. Elsevier Academic Press, 398p. p.230- 258, 2005.

OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; FREITAS, H. M. Influência da granulometria sobre as propriedades físicas e o tempo de torrefação de grãos de café. In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2019, Vitória - ES. **Anais** Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2019.

PETRACCO, M. Grinding. In: ILLY, A; VIANI, R. **Espresso Coffee: The Science of Quality**. Second Edition. Elsevier Academic Press, 398p. p. 215-229, 2005.

POISSON, L.; BLANK, I.; DUNKEL, A.; HOFMANN, T. The Roast – Creating the Beans' Signature. In: FOLMER, B. **The Craft and Science of Coffee**. Academic Press. 2017. 556 p. p. 273-. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00012-8>. Acesso em: 19 dez. 2020.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; FERRAZ, R. M.; RAMOS, G. A.; ANJOS, U. G. **Por Trás da Juta: o café desvendado**. 1^a Edição. Brasília, DF: Pilotis – Cafés Especiais, 2020.

SCHENKER, S. Investigations on the Hot Air Roasting of Coffee Beans. 174p. **Doctor's Dissertation** (Technical Sciences). Swiss Federal Institute of Technology, 2000.

SCHENKER, S.; HANDSCHIN, S.; FREY, B.; PERREN, R.; ESCHER, F. Pore Structure of Coffee Beans Affected by Roasting Conditions. **Journal of Food Science**, v. 65. n. 3, 2000. Disponível em: <https://www.expresssearch.com/sampleresults/patentability/npl/Schenker%202000.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2021.

SCHENKER, S.; ROTHGEB, T. The Roast – Creating the Beans' Signature. In: FOLMER, B. **The Craft and Science of Coffee**. Academic Press, 556p. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00011-6>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Café: cafés especiais**. – Brasília: SENAR, p 14-16, 2017. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/193-CAF%C3%89.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

VANEGAS, J. D. B. Modelagem das Propriedades Físicas e da Transferência de Calor e Massa dos Grãos de Café Durante a Torrefação. 65 p. **Dissertação de Mestrado** (Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFV, 2015.