



COMO REDUZIR A CONTAMINAÇÃO DE ALIMENTOS COM HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS: ESTRATÉGIAS INDUSTRIAIS E DOMÉSTICAS

Ana Paula Zapelini de Melo¹

Pedro Luiz Manique Barreto²

Resumo: Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são contaminantes orgânicos persistentes de reconhecida toxicidade e potencial carcinogênico. Originam-se de processos naturais, antrópicos e, principalmente, durante o processamento térmico de alimentos. Este estudo analisa os fatores que influenciam sua formação e as estratégias mais eficazes para reduzir a contaminação de alimentos. A geração de HPAs está relacionada à reações de pirólise e combustão incompleta, intensificadas por temperaturas elevadas, contato direto com a chama e gotejamento de gordura. O uso de calor indireto, a aplicação de barreiras físicas e a adição de antioxidantes naturais atuam de forma complementar na redução desses compostos. Tecnologias emergentes, como o aquecimento ôhmico, o infravermelho e o plasma frio, apresentam potencial de mitigação, embora ainda exijam validação em diferentes matrizes alimentares. A integração entre medidas tecnológicas e práticas culinárias adequadas representa um caminho promissor para limitar a exposição humana a compostos carcinogênicos. Espera-se que este estudo contribua para o aprimoramento de estratégias de controle baseadas em evidências, promovendo maior segurança na cadeia produtiva de alimentos.

Palavras-chave: Contaminantes químicos. Compostos carcinogênicos. Estratégias de mitigação. Processamento térmico. Segurança dos alimentos.

¹A. P. Z de Melo (): Universidade Federal de Santa Catarina/Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos/Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos. Florianópolis, SC, Brasil.
e-mail: zapeliniana@gmail.com

²P. L. M. Barreto (). Universidade Federal de Santa Catarina/Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos/Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos. Florianópolis, SC, Brasil.

INTRODUÇÃO

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) constituem uma classe de contaminantes orgânicos persistentes amplamente distribuídos no ambiente. Sua origem está associada a processos naturais, como diagênese, atividade vulcânica, incêndios florestais e exsudações de petróleo, bem como fontes antrópicas, incluindo o refino de combustíveis fósseis e as emissões industriais e veiculares. Além dessas vias de contaminação ambiental, os HPAs podem ser gerados *in situ* durante o processamento e o preparo térmico de alimentos, em virtude de reações pirolíticas e de combustão incompleta de compostos orgânicos (Singh *et al.*, 2020).

O interesse científico e regulatório pelos HPAs intensificou-se nas últimas décadas em razão de sua alta persistência ambiental, lipofilicidade e capacidade de bioacumulação. Evidências epidemiológicas indicam que o consumo frequente de alimentos contaminados com HPAs está associado a uma maior incidência de câncer, o que reforça a necessidade de compreender seus mecanismos de formação e controle (IARC, 2012).

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo identificar os fatores que favorecem a formação de HPAs em alimentos e discutir as estratégias industriais e culinárias voltadas à redução de sua contaminação.

FORMAÇÃO E OCORRÊNCIA DOS HPA EM ALIMENTOS

A formação de HPAs em alimentos decorre de reações de pirólise e combustão incompleta de compostos orgânicos, principalmente lipídios, proteínas e carboidratos. Durante o aquecimento acima de 200 °C, ocorre a degradação térmica dessas moléculas, gerando radicais livres e intermediários aromáticos que se rearranjam e se condensam, originando estruturas policíclicas estáveis (Singh *et al.*, 2020). Além dos processos térmicos, os alimentos podem ser contaminados por deposição atmosférica durante o cultivo, transporte ou armazenamento, quando expostos à fuligem e partículas provenientes da queima de combustíveis fósseis ou biomassa (Beiras, 2018).

Métodos de cocção direta, como grelhamento e churrasco sobre carvão, promovem a deposição de partículas ricas em HPAs na superfície dos alimentos, especialmente quando ocorre gotejamento de gordura sobre a fonte de calor, o que aumenta a produção de fumaça e o acúmulo de contaminantes (Duedahl-Olesen, 2013).

Carnes com maior teor de gordura, quando grelhadas entre 200 °C e 260 °C, podem apresentar concentração de HPAs acima 30 µg kg⁻¹ (Lee *et al.*, 2016). Por outro lado, métodos úmidos, como a fervura a 100 °C, não promovem a formação desses compostos e são considerados seguros quanto à contaminação (Olatunji *et al.*, 2014).

Nos produtos da pesca, a contaminação pode ocorrer durante o processamento e por fontes ambientais. A defumação direta, em que a fumaça entra em contato com o alimento, gera as maiores concentrações de HPAs, sobretudo quando se utilizam madeiras com teor de lignina acima de 20%, que favorecem a formação de compostos aromáticos (Afê *et al.*, 2020).

Em óleos e gorduras, os HPAs são formados principalmente durante o aquecimento prolongado e o reuso de óleos acima de 180 °C, em razão da oxidação e decomposição térmica de ácidos graxos insaturados (Hao *et al.*, 2016).

Nos cereais e seus derivados, a contaminação ocorre durante a secagem e a torrefação, especialmente quando se empregam fontes diretas de combustão, como lenha ou casca de arroz. Nessas condições, as concentrações podem superar 200 µg kg⁻¹ (Bertinetti *et al.*, 2018). Em vegetais, a contaminação está associada à deposição atmosférica de partículas contendo HPAs, particularmente em regiões próximas a áreas industriais e rodovias. Folhosas com maior área superficial, como alface e couve, acumulam mais contaminantes que raízes e tubérculos (Zhu *et al.*, 2021).



ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E CONTROLE

O controle da temperatura e o prolongamento moderado do tempo de cocção constituem medidas efetivas para reduzir a formação desses contaminantes. Em grelhados e assados, o uso de calor indireto, como em grelhas verticais, churrasqueiras a gás ou sistemas elétricos, reduz a deposição de partículas provenientes da queima do combustível (Masuda *et al.*, 2019).

O uso de micro-ondas antes do grelhamento ou assamento reduz o tempo de exposição ao calor intenso e, conseqüentemente, o acúmulo de HPAs na superfície dos alimentos (Farhadian *et al.*, 2011). Além disso, a remoção do excesso de gordura antes do cozimento e a distância mínima de 15 cm entre o alimento e a fonte de calor contribuem para evitar o gotejamento lipídico sobre as chamas e a formação de fumaça contaminante (Lee *et al.*, 2016).

Em sistemas domésticos, práticas simples podem reduzir expressivamente a contaminação. O emprego de papel-alumínio, folhas vegetais (como bananeira) ou envoltórios colágenos impede o contato direto entre a fumaça e o alimento, reduzindo a deposição de partículas aromáticas (Fasano *et al.*, 2016; Ledesma *et al.*, 2015). Aguardar até que as chamas se transformem em brasa antes do cozimento e evitar o reuso de óleos em frituras, diminui a formação de compostos aromáticos (Iwegbue *et al.*, 2020). O uso de ingredientes antioxidantes naturais, como alho, cebola, gengibre, chá verde e cervejas escuras, também atua na inibição das reações de oxidação e ciclização que originam os HPAs. Compostos sulfurados presentes no alho e fenólicos no chá verde e na cerveja atuam como sequestrantes de radicais livres, reduzindo entre 40 e 70% as concentrações de benzo[a]pireno (B[a]P) em carnes grelhadas (Hu *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019).

No contexto industrial, tecnologias emergentes vêm sendo investigadas para mitigar a formação de HPAs. O aquecimento ôhmico e o infravermelho têm mostrado capacidade de reduzir a geração de HPAs em produtos cárneos, mantendo características sensoriais adequadas (Kendirci *et al.*, 2014). Sistemas de plasma frio de baixa pressão também se destacam pela capacidade de degradar o B[a]P por meio da oxidação promovida por espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (Lee *et al.*, 2019). Embora promissoras, essas tecnologias ainda requerem avaliações complementares quanto ao custo operacional, à reprodutibilidade dos resultados e à sua aplicabilidade em diferentes matrizes alimentares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mitigação da formação de HPAs depende de medidas de controle aplicadas de maneira integrada. O uso de temperaturas inferiores a 200 °C, o emprego de calor indireto e a eliminação do gotejamento de gordura são práticas comprovadas de redução. A utilização de barreiras físicas, como papel-alumínio ou envoltórios colágenos, e de antioxidantes naturais, como compostos fenólicos e sulfurados, também contribui para a diminuição dos níveis de contaminação. Quando aplicadas de forma combinada, essas práticas configuram um sistema de controle eficiente capaz de limitar a geração de contaminantes potencialmente carcinogênicos em alimentos, como os HPAs.

Agradecimentos: Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- AFÉ, O. F. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked fish: occurrence and human health risk assessment. *Food Control*, v. 118, p. 107391, 2020.
- BEIRAS, R. *Marine pollution: sources, fate and effects of pollutants in coastal ecosystems*. London: Elsevier, 2018.



- BERTINETTI, B. V. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in rice: influence of processing, drying and fuel source. *Food Chemistry*, v. 241, p. 19–27, 2018.
- DUEDAHL-OLESEN, L. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food and beverages. *EFSA Journal*, v. 11, p. 1–47, 2013.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Polycyclic aromatic hydrocarbons in food. *EFSA Journal*, v. 724, p. 1–114, 2008.
- FARHADIAN, A. *et al.* Reduction of PAH formation and oxidative stability of grilled meat using microwave pre-heating. *Food Chemistry*, v. 124, p. 1416–1423, 2011.
- FASANO, E. *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked sausage packaging. *Food Additives & Contaminants: Part A*, v. 33, p. 103–111, 2016.
- HAO, R. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils during frying processes. *Food Chemistry*, v. 212, p. 457–463, 2016.
- HU, Q. *et al.* Inhibitory effect of garlic essential oil on benzo[a]pyrene formation in grilled meat. *Food Chemistry*, v. 341, p. 128265, 2021.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). *Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures*. Lyon: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 92, 2010.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). *Chemical agents and related occupations*. Lyon: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 100F, 2012.
- IWEGBUE, C. M. A. *et al.* Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in reused frying oils. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, p. 1–10, 2020.
- KENDIRCI, P. *et al.* Ohmic and infrared heating effects on PAH formation in meat products. *LWT – Food Science and Technology*, v. 59, p. 560–567, 2014.
- LEE, J. G. *et al.* Formation and reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Chemistry*, v. 199, p. 632–638, 2016.
- LEE, H. *et al.* Cold plasma degradation of benzo[a]pyrene in sesame seeds. *Food Chemistry*, v. 272, p. 709–716, 2019.
- LEDESMA, E. *et al.* Influence of casing type on PAH content in smoked sausage. *Food Control*, v. 52, p. 199–204, 2015.
- MASUDA, T. *et al.* Comparative assessment of PAH formation in meat grilled over charcoal and gas. *Food Control*, v. 96, p. 321–329, 2019.
- OLATUNJI, O. S. *et al.* Assessment of PAH contamination in smoked, grilled and boiled meat. *Food Chemistry*, v. 157, p. 491–497, 2014.
- SINGH, L. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons formation, occurrence and mitigation in food. *Food Chemistry*, v. 305, p. 125–165, 2020.
- WANG, L. *et al.* Effect of beer and phenolic compounds on PAH inhibition in grilled chicken. *Food Control*, v. 96, p. 360–367, 2019.
- ZHU, F. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables: contamination routes and mitigation. *Food Chemistry*, v. 356, p. 129657, 2021.

