

ANÁLISE DE REVISÃO SOBRE O IMPACTO DA EXPOSIÇÃO DOS NANOPLÁSTICOS (NP'S) E MICROPLÁSTICOS (MP'S) A HOMEOSTASE E AO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA HUMANO

REVIEW ANALYSIS ON THE IMPACT OF EXPOSURE TO NANOPLASTICS (NP'S) AND
MICROPLASTICS (MP'S) ON HOMEOSTASIS AND THE FUNCTIONING OF THE
HUMAN SYSTEM

Árpád Dénes Bessa Hunkár¹
Sándor Gyula Bessa Hunkár²
Jodson Fernandes Rego³

RESUMO: A prevalência e os impactos a exposição dos microplástico (MP's) e nanoplástico (NP's) no ambiente e aos organismos vivos, está se tornando potencialmente relevantes para saúde humana. A exposição aos MPs e NPs tornou-se uma preocupação crescente para a saúde humana, dada a sua ampla presença no meio ambiente e na cadeia alimentar. Sua durabilidade, baixo custo e resíduos levaram à contaminação do solo, ar, água e alimentos, permitindo a entrada no organismo por ingestão, inalação e contato térmico. E assim, através da bioacumulação em diversos órgãos, como intestino, pulmões, sistema circulatório, cérebro, coração, fígado, rins e sistema reprodutor, desencadeando inflamações, estresse oxidativo e disfunções metabólicas. Isso contribui para doenças cardiovasculares, respiratórias, intestinais, neurodegenerativas e reprodutivas. Além disso, os MPs e NPs podem atuar como vetores de metais pesados, químicos e microrganismos patogênicos, aumentando os riscos toxicológicos. A revisão para chegar ao objetivo do trabalho foi baseada em 26 artigos científicos, dentro de 5 anos, das bases PubMed e ScienceDirect, reforça a necessidade de estudos mais abrangentes sobre os efeitos MPs e NPs, considerando suas formas, tamanhos e interações, além do desenvolvimento de estratégias para diagnóstico, tratamento e mitigação dos impactos à saúde.

1

Palavra-chave: Impacto. Nanoplásticos (NP's) e Microplásticos (MP's). Seres humanos.

ABSTRACT: Exposure to microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) has become a growing concern for human health, given their widespread presence in the environment and the food chain. Their durability, low cost and residues have led to contamination of soil, air, water and food, allowing them to enter the body through ingestion, inhalation and thermal contact. These particles accumulate in various organs, such as the intestines, lungs, circulatory system, brain, heart, liver, kidneys and reproductive system, triggering inflammation, oxidative stress and metabolic dysfunction. This contributes to cardiovascular, respiratory, intestinal, neurodegenerative and reproductive diseases. In addition, MPs and NPs can act as vectors for heavy metals, chemicals and pathogenic microorganisms, increasing toxicological risks. The review, based on 26 scientific articles within 5 years from the PubMed and ScienceDirect databases, reinforces the need for more comprehensive studies on the effects of MPs and NPs, considering their shapes, sizes and interactions, as well as the development of strategies for diagnosis, treatment and mitigation of health impacts.

Keyword: Impact. Nanoplastics (NP's) and Microplastics (MP's). Human beings.

¹Discente de Medicina, Universidade de Vassouras.

²Discente de Medicina, Universidade de Vassouras.

³Orientador de Medicina, Universidade de Vassouras.

INTRODUÇÃO

O plástico se tornou um material indispensável e fundamental para o ser humano, na qual revolucionou muitas áreas desde da criação para substituir, inicialmente, as matérias de origem animal. Além disso, o custo benefício do produto, pela versatilidade de transformar em várias formas e tamanhos, a resistência e durabilidade, permitiu ser um elemento onipresente em muitos setores da sociedade, como produtos de Polietileno tereftalato (PET), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Poliuretano (PU), Policloreto de vinila (PVC), Náilon (PA) e entre outros. Embora, por ter uma degradação demorada e uma má gestão do descarte, permitiu uma poluição ambiental nos solos, rios, oceanos e, nesse ínterim, causando danos aos seres vivos. E conforme os poluentes se degradam e fragmentam em moléculas menores (Microplásticos < 5mm; Nanoplásticos 0,001-0,1µm) permite ter uma interação, absorção ou absorção de contaminantes químicos, tóxicos e os microrganismos presentes no ecossistema, que se ligam a estrutura ou superfície do plástico (Eberhard T, et al. 2024.; Sun N, et al. 2022.; Pulvirenti E, et al. 2022.; Barbosa F, et al. 2020.) Certamente, possibilita ser um vetor secundário de potencial risco a homeostase humana, já que as diferenças de tamanhos podem facilitar à distribuição pelo meio e alcançar o organismo humano através da ingestão, inalação e pelo contato dérmico. Ademais, os níveis de exposição a MP's no ar interno foram superiores aos do ar externo pela exposição inalatórias (Yudong Feng, et al. 2022.; Ullah R, et al 2022.; Yang W, et al. 2022.; Gopinath PM, et al. 2022.).

2

Primeiramente a parede alveolar humano é revestida por um surfactante que permite diminuir a tensão superficial e facilitar a troca gasosa. Quando esses plásticos entram em contato com os surfactantes, por meio da inalação, interrompem a função pulmonar. Como também há interação dos poluentes a barreira epitelial dos pulmões, resultando um aumento da permeabilidade e acesso de substâncias prejudiciais ao tecido, em razão disso induz citotoxicidade das células e logo garante uma resposta inflamatória e um estresse oxidativo, na qual provém a morte celular comprometimento a respiração (Feng Y, et al. 2023.; Xu JL, et al. 2022.; Romero-Andrada I, et al 2023.).

Desse modo, garante a predisposição para doenças pulmonares idiopáticas e de infecções por vírus e bactérias multirresistentes a antibióticos presentes nos Microplásticos (MP's) e Nanoplásticos (NP's) (Baysal A, et al. 2022.; Liu L, et al. 2023.; Pulvirenti E, et al. 2022.).

Certamente os derivados desses materiais se tornaram presentes na água e em alimentos, pela poluição, como também pelo uso nos setores industriais, alimentícios, agrícolas,

farmacêutico e entre outros setores, devido à versatilidade desses materiais. Assim, há uma interação desde da produção, transporte e distribuição dos produtos que precisam do plástico como meio de armazenamento (Yang W, et al. 2022.; Yang T, et al. 2023.; Gopinath PM, et al. 2022.). Logo, permitiu ser uma porta de entrada, através da ingestão e contato dérmico, dos poluentes que, infelizmente, causam bioacumulação no trato gastrointestinal e garante a distribuição deles pelo sistema circulatório e atinge outros órgãos. Em primeiro lugar, a presença dos micro e nanoplásticos no sistema digestivo gera dano a mucosa intestinal, uma camada de revestimento, interferem no metabolismo normal de ácidos graxos e aminoácido. Em segundo lugar, gera uma inflamação, um estresse oxidativo, danos celulares e compromete a integridade da barreira intestinal, predispondo o órgão a desenvolver disfunção orgânica e doenças (Feng Y, et al. 2023.; Siddiqui SA, et al. 2023.; Pulvirenti E, et al. 2022.).

Conforme os últimos dados a associação dos NP's e MP's com o risco à saúde, influenciada por uma combinação de fatores, como pelos tamanhos, concentração de biomoléculas, tempo de exposição e a transferência para o sistema biológico por meio da circulação ou sistema linfático desencadeia efeitos adversos que incluem: geno toxicidade (danos ao DNA das células) aumentam o risco de mutações genéticas; cito toxicidade (danos às células) diminuem a viabilidade celular, embriotoxicidade (interfere no desenvolvimento embrionário) a favor da capacidade de atravessar a barreira placentária e gerando um efeito toxicológico ao feto (Feng y, et al. 2023.; Xu jl, et al. 2022.; Kumar R, et al. 2022.; Medley EA, et al. 2023.; Li Y, et al. 2023.); disfunção placentária (reduz a eficiência na transferência de nutrientes e oxigênio, e remoção metabólica do feto por meio do acúmulo) que garante a restrição do crescimento, prematuridade ou complicações no parto, na qual os poluentes são encontrados no tecido placentário e no mecônio (primeiras fezes do bebê); hepatotoxicidade (dano ao fígado e função hepática) junto da capacidade de armazenar nutrientes e substâncias nocivas presentes nos plásticos (Leso V, et al. 2023.; Ge Y, et al. 2023.; Xu JL, et al. 2022.; Li Y, et al. 2023.); neuro toxicidade (dano ao sistema nervoso e a função cerebral), pois há uma agregação e acúmulo de plásticos e células cerebrais –peptídeo amiloide- que resulta em doenças neurodegenerativas (como Doença de Alzheimer) e respostas toxicológicas ao cérebro; toxicidade renal (danos aos rins e função renal) pela exposição a agentes tóxicos durante a filtração celular (Xu JL, et al. 2022.; Gou X, et al. 2024.; Feng Y, et al. 2023.; Li T, et al. 2023.); carcinogenicidade (induz o desenvolvimento de câncer); aumento da permeabilidade das membranas (perda do controle sobre o movimento de substâncias dentro e fora da célula); toxicidades cardíacas

(comprometimento da função cardiovascular) pela interação dos plásticos com fibrinogênio e o endotélio vascular produz citocinas próinflamatórias e recrutam células inflamatórias – interleucinas -, onde resultam em lesão endotelial e vascular, garantindo a formação de trombose e coagulação sanguínea (CHOWDHURY, el at. 2023.; WANG X, el at. 2023.; Sun N, el at. 2022.; Kumar R, el at. 2022.). Ademais, interferem no processo reprodutivo humano através do desequilíbrio hormonal e tireoidiano, pela relação com as moléculas, a inflamação e pelo estresse oxidativo que efetua uma lesão testicular e ovariana, reduzindo a espermatogênese, foliculogênese e outros processos relacionados à reprodução (Marcelino RC, el at. 2022.; Leso V, el at. 2023.; Hong Y, el at. 2023.).

Todavia, apesar das evidências de disfunções orgânicas resultadas da exposição de NP's e MP's, ainda precisam de mais pesquisas sobre as interações deles e os efeitos adversos causados aos seres humanos para poder organizar medidas de diagnósticos, políticas públicas, padrões de prevenções aos danos e esclarecer novos modos de tratamento, afim de proteger à saúde humana e preservar o meio ambiente (Eberhard T, el at. 2024.; Sun N, el at. 2022.; Pulvirenti E, el at. 2022.). O objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão integrativa em busca de analisar a relevância dos impactos negativos dos NP's e MP's no sistema humano e ressaltar a necessidade de medidas para diagnóstico.

METODOLOGIA

Este estudo qualitativo, retrospectivo e descritivo analisou o impacto da exposição aos nanoplásticos (NPs) e microplásticos (MPs) na saúde humana, com base em uma revisão de literatura.

A pesquisa foi realizada nas bases PubMed e ScienceDirect, utilizando o descritor “impacts of nanoplastics and microplastics on humans”. A revisão de literatura foi realizada seguindo as seguintes etapas: estabelecimento do tema; definição dos parâmetros de elegibilidade; critérios de inclusão e exclusão; verificação das publicações nas bases de dados; exame da informações encontradas; análise dos estudos encontrados e exposição dos resultados. Foram incluídos no estudos artigos publicados nos últimos 5 anos (2020-2025) cujos estudos eram textos completos em qualquer idioma, artigos de revisão e de pesquisa. Foram excluídos artigos incompletos, artigos repetidos, artigos sem resultados e artigos fora do tema proposto.

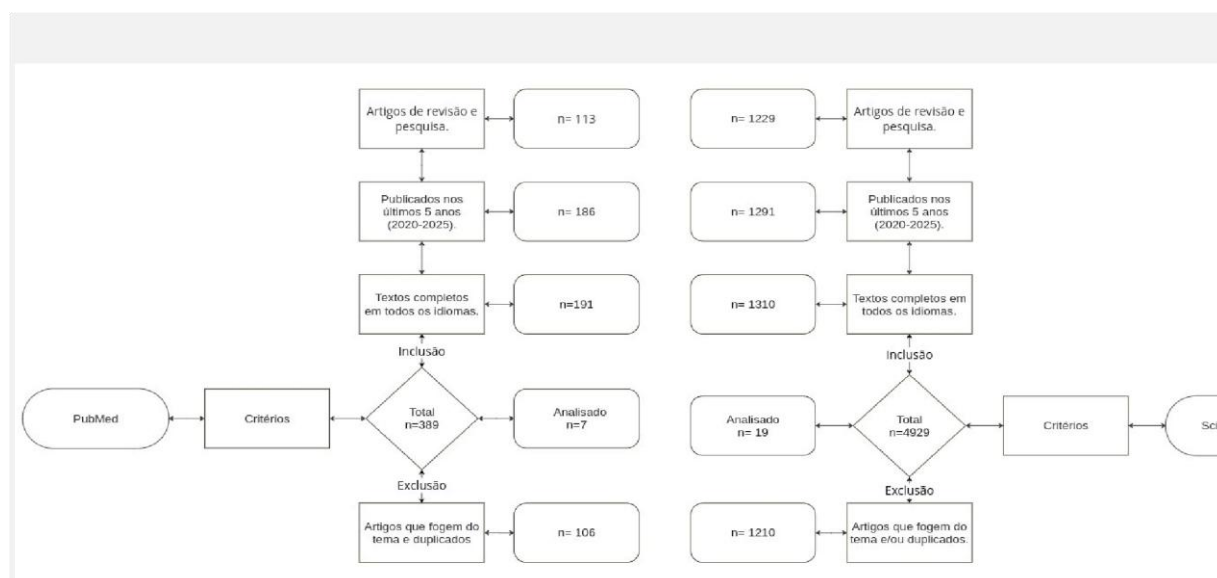
No PubMed, a busca inicial pesquisada em 389 artigos, sendo filtrados por textos completos em qualquer idioma (191 artigos). Após a seleção de publicações dos últimos cinco

anos (2020-2025), restaram 186 artigos, dos quais, após aplicação dos critérios de inclusão (ensaios controlados, artigos de revisão e de pesquisa) e exclusão (trabalhos duplicados ou fora do tema), foram analisados 7 estudos. No ScienceDirect, a busca inicial retornou 4.929 publicações, reduzidas para 1.310 após o filtro de textos completos. Considerando apenas os artigos publicados entre 2020 e 2025, restaram 1.291 trabalhos. Após a aplicação dos critérios de inclusão (ensaios controlados, artigos de revisão e de pesquisa) e exclusão (duplicados ou fora do tema), foram desenvolvidos 19 estudos.

No total, 26 artigos foram utilizados na revisão, selecionados conforme a metodologia e os objetivos do estudo. A pesquisa focou na exposição ambiental e seus impactos na saúde humana.

A Figura 1 apresenta as etapas de seleção de textos, a partir do tema, tipo de estudo e objetivos da revisão:

Figura 1 – Fluxograma dos critérios de inclusão e exclusão da revisão sistemática



RESULTADO

A partir de uma revisão sistemática da literatura realizada nas plataformas PubMed e ScienceDirect, foram selecionados 26 estudos que discutem a relevância e os impactos da exposição aos nanoplásticos (NPs) e microplásticos (MPs) na saúde humana. A busca inicial no PubMed gerou 389 artigos, sendo filtrados para textos completos, independentemente do idioma, restando 191 publicações. Após a seleção de artigos publicados nos últimos 5 anos (2020-2025), foram identificados 186 artigos, dos quais, após aplicação dos critérios de inclusão e

exclusão, como ensaios clínicos controlados, artigos de revisão e pesquisa, e a exclusão manual de trabalhos duplicados ou fora do tema, foram analisados 7 estudos (Quadro 1).

Na ScienceDirect, a busca inicial estudada em 4.929 artigos, que foram reduzidos para 1.310 após a filtragem de textos completos. Com a limitação dos artigos publicados entre 2020-2025, restaram 1.291 artigos, e após os critérios de inclusão e exclusão, como a seleção de artigos de revisão e pesquisa, foram analisados 9 estudos. Assim, ao todo, foram selecionados 26 artigos que abordam a exposição ambiental aos NPs e MPs e os impactos dessa exposição na saúde humana (Quadro 1).

Os artigos analisados indicam que os NPs e MPs estão presentes em diversos ambientes, como no solo, água, ar, alimentos e na cadeia alimentar, afetando tanto os seres vivos quanto os seres humanos. Essas substâncias prejudiciais entram no organismo por meio de ingestão, inalação e contato dérmico, acumulando-se em diversos órgãos, como intestino, pulmões, fígado, rins e cérebro. A bioacumulação dessas substâncias pode resultar em efeitos adversos, como o estresse oxidativo, que prejudica a homeostase do corpo, afetando diversas sistemas fisiológicos. Ao analisar os 26 artigos, dentro deles foi evidenciado que incluem disfunções no trato gastrointestinal (12,2%), no trato respiratório (7,3%), no sistema circulatório e cardiovascular (9,8%), no sistema imunológico (17,7%), no sistema reprodutor (14,6%), no sistema endócrino (4,9%), no sistema nervoso central (7,3%) e no sistema urinário (4,9%). Além disso, foi encontrada uma interação com antibióticos (4,9%) e a possível relação com o desenvolvimento de câncer (4,9%). Portanto, a maioria dos estudos aponta a necessidade urgente de mais pesquisas para entender melhor os efeitos negativos da exposição aos NPs e MPs e desenvolver estratégias para mitigar seus impactos. A pesquisa também destaca a importância de aprimorar as políticas de saúde pública e as práticas de gestão ambiental para reduzir os danos causados por essas fontes naturais, garantindo a proteção da saúde humana e ambiental. (Quadro 1)

Quadro 1. - Referências a partir do autor e sua análise.

AUTOR E TÍTULO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES
Eberhard T, Casillas G, Zarus GM, Barr DB. Revisão sistemática de microplásticos e nanoplásticos em ar interior	A exposição a poluentes atmosféricos (MP's e NP's), em diferentes grupos e tempo de exposição especialmente em grupos sensíveis como mulheres grávidas e crianças. Conclusão

<p>e exterior: identificando uma estrutura e necessidades de dados para quantificar as exposições à inalação humana</p> <p>06 de janeiro de 2024</p>	<p>alcançada da amostragem passiva foi maior que aquelas calculadas pela amostragem ativa. A exposições internas foram maiores que as externas . Útil para entender melhor os potenciais riscos à saúde associada a exposição e informar as políticas publicas.</p>
<p>Sun N, Shi H, Li X, Gao C, Liu R.</p> <p>Toxicidade combinada de micro/nanoplásticos carregados com poluentes ambientais para organismos e células: Função, efeitos e mecanismo</p> <p>21 de dezembro de 2022</p>	<p>Aponta necessidade de explorar relação entre as concentrações de MP e NP e outro materiais que produzem toxicidade. Abrangi como os poluentes se estabelecem nos órgãos internos. E para compreender as diferenças no comportamento antes e depois da adsorção de poluentes nas células para o transporte deles.</p>
<p>Pulvirenti E, Ferrante M, Barbera N, Favara C, Aquilia E, Palella M, Cristaldi A, Conti GO, Fiore M.</p> <p>Efeitos de Nano e Microplásticos no Processo Inflamatório: <i>Revisão Systematic In Vitro e In Vivo Studies</i></p> <p>19 de outubro de 2022</p>	<p>Há uma escassez de estudos sobre uma abordagem mais ampla e detalhada na pesquisa para compreender o processo inflamatória e de outros efeitos no organismo humano.</p>
<p>Feng Y, Tu C, Li R, Wu D, Yang J, Xia Y, Peijnenburg WJGM, Luo Y.</p> <p>Uma revisão sistemática dos impactos da exposição a micro e nano-plásticos sobre o acúmulo de tecidos humanos e a saúde</p> <p>21 de agosto de 2023</p>	<p>A presença de MNPs em estudos de laboratório em animais in vivo e culturas de células demonstraram efeitos negativos na saúde humana, na qual induzem estresse oxidativo, danos a barreira do intestino, desequilíbrio imunológica, distúrbios endócrinos, toxicidade reprodutiva e de desenvolvimento, distúrbios pulmonares e hematológicos.</p>

<p>Baysal A, Saygin H.</p> <p>Co-ocorrência de antibióticos e micro(nano)plásticos: uma revisão sistemática entre 2016-2021</p> <p>03 de junho 2022</p>	<p>Existe uma interação entre plásticos e microbianos, na qual há germes resistentes a ATB presentes nos plásticos. De modo, essa coocorrência se torna um problema para o meio ambiente e a saúde humana.</p>
<p>Ullah R, Tsui MT, Chow A, Chen H, Williams C, LigabaOsen A.</p> <p>Poluição micro(nano)plástica no ecossistema terrestre: ênfase nos impactos do poliestireno na biota do solo, nas plantas, nos animais e nos seres humanos</p> <p>31 de dezembro de 2022</p>	<p>Contaminação MP e NP no solo, principalmente nos campos agrícolas, absorção por plantas e assim gerando impactos em seres humanos pela via de de contágio.</p>
<p>Kumar R, Manna C, Padha S, Verma A, Sharma P, Dhar A, Ghosh A, Bhattacharya P.</p> <p>Poluição micro(no)plástica e saúde humana: como os plásticos podem induzir a carcinogênese para os seres humanos?</p> <p>Julho de 2022</p>	<p>A exposição dos MP e NP podem induzir a carcinogênese pela toxicidade em diferentes níveis: citotóxico (afetam as células), genotóxico (afetam o material genético) e neurotóxico (afetam o sistema nervoso).</p>
<p>Yang W, Jannatun N, Zeng Y, Liu T, Zhang G, Chen C, Li Y.</p>	<p>A interação dos MP's e o corpo humano é internalizadas pelas células, perturbando à resposta imune e causando danos aos</p>

<p>Impactos dos microplásticos na imunidade</p> <p>Setembro de 2022</p>	<p>tecidos e órgãos pela produção de moléculas associadas ao perigo (DAMPs) e à ativação de receptores semelhantes a portagens (TLRs), citocinas e respostas inflamatórias. Como também formar uma proteína-corona que ao interagir com a membrana celular ou proteínas intracelulares aumentam a toxicidade quando combinados com poluentes externos, produtos químicos e patógenos.</p>
<p>Yang T, Wang J.</p> <p>Fontes de exposição e vias de micro e nanoplásticos no meio ambiente, com ênfase nos efeitos potenciais em humanos: uma revisão sistemática</p> <p>19 de Novembro de 2023</p>	<p>Avalia a exposição aos MP's na água, nos alimentos e ao respirar. Reconhecer múltiplas vias de exposição e compreender as fontes MP's para tomar medidas para diminuir os riscos à saúde em associação aos poluentes.</p>
<p>Marcelino RC, Cardoso RM, Domingues ELBC, Gonçalves RV, Lima GDA, Novaes RD.</p> <p>O risco emergente de microplásticos e nanoplásticos na microestrutura e função dos órgãos reprodutivos em mamíferos: uma revisão sistemática de evidências pré-clínicas</p> <p>15 de Abril de 2022</p>	<p>Os efeitos adversos estão associados aos mecanismos moleculares, como mediadores pró-oxidantes, oxidação lipídica e de DNA, ativação de vias próinflamatórias e de citocinas. Inibição dos mecanismos de defesas. Diminuição dos níveis de hormônios sexuais atrapalhando negativamente na reprodução humana.</p>
<p>Gopinath PM, Parvathi VD, Yoghalakshmi N, Kumar SM, Athulya PA, Mukherjee A, Chandrasekaran N.</p> <p>Partículas plásticas na</p>	<p>MNP's causam efeitos prejudiciais ao ecossistema e à saúde humana. A presença desses poluentes em produtos farmacêuticos plásticos hospitalares e sua disposição são</p>

<p>medicina: uma revisão sistemática da exposição e efeitos à saúde humana</p> <p>Setembro de 2022</p>	<p>um potencial risco, já que são áreas que precisam ter mais pesquisa.</p>
<p>Barbosa F, Adeyemi JA, Bocato MZ, Comas A, Campiglia A.</p> <p>Um ponto de vista crítico sobre as questões atuais, limitações e necessidades futuras de pesquisa em estudos micro e nanoplásticos: da detecção à avaliação toxicológica. 30 de Março de 2020</p>	<p>Fornecer informações sobre métodos disponíveis para detectar MNP's em amostras in vitro e in vivo. Diversas amostras demonstram efeitos tóxicos nas células. Por mais que ainda não há uma compreensão completa sobre os sistemas biológicos. Ressaltam a necessidade de mais pesquisas em áreas específicas para compreender os impactos desses poluente e desenvolver estratégias para diminuir os efeitos adversos.</p>
<p>Ge Y, Yang S, Zhang T, Wan X, Zhu Y, Yang F, Yin L, Pu Y, Liang G.</p> <p>A avaliação de hepatotoxicidade dos micro/nanoplásticos: um estudo preliminar para aplicar as vias de resultados adversos 23 de Julho de 2023</p>	<p>Pesquisa desenvolvida para entender os mecanismos da hepatotoxicidade, sobre os potenciais riscos à saúde, como disfunção hepática, inflamação, distúrbios metabólicos e fibrose hepática.</p>
<p>Medley EA, Spratlen MJ, Yan B, Herbstman JB, Deyssenroth MA</p> <p>Uma revisão sistemática da</p>	<p>Destacam a translocação placentária de MNP's dependem do tamanho, propriedades químico-físicos, formatos. Evidenciou emergentes de</p>

translocação placentar de micro e nanoplasticos 10 de Junho de 2023	toxicidade placentária e fetal associada a partículas de plásticos que atravessam a barreira placentária e geram efeitos adversos. Mas ainda não há estudos suficientes para confirmar e quantificar a exposição da gestação.
<p>Leso V, Battistini B, Vetrani I, Reppuccia L, Fedele M, Ruggieri F, Bocca B, Iavicoli I.</p> <p>Os efeitos de desreguladores endócrinos da exposição nanoplastica: uma revisão sistemática</p> <p>Novembro de 2023</p>	<p>Os resultados mostram que NP's podem induzir alterações na funcionalidade sistema endócrino, com efeitos nos hormônios reprodutivos e tireoidianos. Destacam a influencia dos tamanhos, tipos de poluente, concentrações, tempo de exposição e estágios de vida.</p>
<p>Xu JL, Lin X, Wang JJ, Gowen AA</p> <p>Uma revisão dos potenciais impactos na saúde humana da exposição aos micro e nanoplasticos</p> <p>Novembro de 2023</p>	<p>Os estudos in vivo revelaram que os MNP's geraram efeitos adversos incluindo: citotoxicidade, resposta inflamatória, estresse oxidativo, genotoxicidade, embriotoxicidade, hepatotoxicidade, neuro toxicidade, toxicidade renal e até carcinogenicidade. Além disso, dependem da diversidade de tamanhos, formas, carga superficial e poluentes anexados.</p>
<p>Shahida Anusha Siddiqui, Sipper Khan, Tayyaba Tariq, Aysha Sameen, Asad Nawaz, Noman Walayat, Natalya Pavlovna Oboturova, Tigran Garrievich Ambartsumov, Andrey Ashotovich Nagdalian</p> <p>Capítulo Nove- É o que Avaliação potencial dos riscos e impactos</p>	<p>Os principais locais de poluição são a cadeia alimentar, na qual os NP's/MP's são ingeridos e absorvidos pelo trato gastrointestinal, depois são distribuídos para diversos tecidos e órgãos e saem por meio da excreção ou persistem no organismo.</p>

<p>toxicológicos dos nano/microplásticos na saúde humana através de produtos alimentares</p> <p>28 de Fevereiro de 2023</p>	
<p>Ling Liu, Bobina Xu, Bowen Zhang, Yiyuan Ye, Qiu Zhang, Wei Jiang</p> <p>Internalização celular e liberação de microplásticos de poliestireno e nanoplasticos</p> <p>20 de Julho de 2021</p>	<p>Estudo investiga a interação entre partículas de diferentes tamanhos e a membrana celulares, como também a distribuição dentro das células. As interações hidrofóbicas e as forças de Van der Waals é facilitada pela absorção das partículas mais menores.</p>
<p>Lijuan Liu, Yuanze O., Shaoting Du, Yanming Li, Jie Wang</p> <p>Nanoplasticos promovem a disseminação de genes de resistência a antibióticos e diversificam seus hospedeiros bacterianos no solo</p> <p>13 de Outubro de 2023</p>	<p>Os estudos foram baseados sobre os efeitos dos plásticos nos microbiomas, na qual interferem na permeabilidade da membrana bacteriana e garantem, por meio da interação deles, um aumento da resistência aos antibióticos.</p>
<p>Sejuti Ray Chowdhury, Arup Dey, andip Mondal, Manish Kumar Gautam</p> <p>Microplásticos e nanoplasticos ambientais: Efeitos sobre o sistema cardiovascular</p> <p>Microplastique s et nanoplastiques environnementaux : effets sur le système cardiovasculaire</p>	<p>O estudo avalia a interação do MNP no sistema cardiovascular, de modo que podem induzir fibrose cardíaca por meio da via de sinalização Wnt/-catenina, contribuindo para o estresse oxidativo, lesão endotelial, hemólise, trombose e coagulação sanguínea. Como também, alterações fisiológicas pelas manifestações das toxicidades.</p>

1 de Dezembro de 2023	
<p>Kai Yin, Yu Wang, Hongjing Zhao, Dongxu Wang, Menghao Guo, Mengyao Mu, Yachen Liu, Xiaopan Nie, Baoying Li, Jingyan Li, Mingwei Xing</p> <p>Uma revisão comparativa de microplásticos e nanoplásticos: riscos de toxicidade em sistemas digestivo, reprodutivo e nervoso</p> <p>20 de Junho de 2021</p>	<p>A fragmentação dos resíduos plásticos devido á exposição à radiação ultravioleta e degradação natural formam os MNP's. Ademais, garante o concentração desses poluentes através do transporte, bioacumulação e toxicidade. Garante assim efeitos adversos nos sistemas digestivo, reprodutivo e nervoso.</p>
<p>Iris Romero-Andrada, Alicia Lacoma, Alba Hernández, José Domínguez</p> <p>Poluentes Ambientais: Micro e Nanoplastics em Imunidade e Infecções Respiratórias</p> <p>Novembro de 2023</p>	<p>Revela impactos na saúde respiratória que predisõem infecções respiratórias bacterianas e virais graves, persistência de patógenos e resistência a antimicrobianos.</p>
<p>Yu Li, Yaning Li, Jie Li, Zirong Canção, Chuanming Zhang, Baohong Guan</p> <p>Toxicidade de nanoplásticos de poliestireno para células renais embrionárias humanas e células hepáticas normais humanas: Efeito do tamanho das partículas e Pb²⁺O enriquecimento</p>	<p>A avaliação demonstra risco dos MNP's na água e sua interação com contaminantes, moléculas químicas e metais pesados, como o Chumbo. Logo, garantem a toxicidade celular induzindo danos oxidativos em células renais e células hepáticas humanas.</p>
Julho de 2023	

<p>Xiuxiu Wang, Juan Zhao, Shengli Ding, Hongyan Zhang</p> <p>Interação de nanoplasticos de poliestireno com fibrinogênio humano 31 de Maio de 2023</p>	<p>A interação do MNP's com as proteínas humanas promovem a coagulação do sangue e outros problemas de saúde.</p>
<p>Yifan Hong, Shengde Wu, Guanghui Wei</p> <p>Efeitos adversos de microplásticos e nanoplasticos no sistema reprodutivo: uma revisão abrangente da fertilidade e potenciais interações prejudiciais</p> <p>10 de Dezembro de 2023</p>	<p>O tamanho, tempo de exposição e a concentração dos plásticos podem influenciar, negativamente, no sistema reprodutivo masculino e feminino</p>
<p>Xiaoli Gou, Yongchun Fu, Juan Li, Juan Xiang, Minghui Yang, Yi Zhang</p> <p>Impacto dos nanoplasticos na doença de Alzheimer: agregação aumentada do peptídeo amiloide-β e neurotoxicidade aumentada</p> <p>5 de Março de 2024</p>	<p>Os plásticos presentes no meio atravessam a barreira hematoencefálica e garante uma interação com o peptídeo amiloide, promovendo doenças neurodegenerativas, como Doença de Alzheimer.</p>

DISCUSSÃO

Os resultados são preocupantes e destacam a extensão da contaminação por microplásticos (MP's) em uma variedade de produtos consumidos regularmente, sugerindo uma contaminação generalizada. O estudo evidenciou em um teste de 259 garrafas individuais de água de 11 marcas diferentes e 27 lotes diferentes, 93% das amostras testadas continham MP's, como também detectaram em mel, cerveja, sal, açúcar, peixe, camarão e bivalves de organismos. Essa contaminação é preocupante, já que os poluentes podem liberar produtos químicos tóxicos mútuo ao tempo de exposição e, outrossim, atuar como vetores de transmissão em contaminação de microorganismos patogênico resistentes a antibióticos, metais pesados (chumbo, cromo, mercúrio), produtos químico, liberação de compostos como DDT, fenóis e ácido perfluorooctanóico de aditivos e entre outros por meio da ingestão (Yang W, et al. 2022.; Sun N, et al. 2023.; Feng Y, et al. 2023.). As pesquisas demonstram que a concentração desses poluentes no ambiente externo (emissões industriais, escape de veículos, poeiras atmosféricas e agricultura) é menor que no ambiente interno (produtos de consumo embalagens, cosméticos, produtos de

higiene, eletrodomésticos, ventilação inadequada e falta de troca de ar) devido a grande dispersão mais fácil em grandes volumes de ar e diluição facilitadas, no entanto, ambientes mais fechados predis põem a contaminação por inalação pela ventilação inadequada (Feng Y, et al. 2023.; Ullah R, et al. 2022.; Yang W, et al. 2023.). Assim também podem entrar no corpo humano através da exposição direta da pele a produtos contendo MP's (cosméticos ou produtos de higiene pessoal), exposição à poeira urbana e à fumaça da poluição industrial que podem ser absorvidos através de feridas, glândulas sudoríparas ou folículos pilosos. Embora são eliminados pelos sistemas excretores, como rins, fígado, intestino e trato reservatório (Gopinath PM, et al. 2022.; Ge Y, et al. 2023.; Liu L, et al. 2021.).

Os poluentes menores de 10-500 micrômetro são translocados pelo sistema linfático, hematológica, e essas partículas atravessam a barreira intestinal por meio da endocitose, passagem pelas junções celulares ou trans citose por células microfold (M) nas placas de Peyer do íleo, resultando em acumulação, exposição sistêmica aos tecidos do corpo humano e respostas imunes e inflamatórias. (Sun N, et al. 2022.; Fen Y, et al. 2023.; Yang W, et al. 2022.). Os efeitos adversos causados no trato gastrointestinais demonstraram em estudo in vitro destacam os efeitos citotóxicos e embriotóxicos dos microplásticos e nanoplastico (MNP) em células epiteliais, na qual interferem na digestão e absorção de nutrientes (de ácidos graxos essenciais e vitaminas lipossolúveis), disfunção da barreira intestinal, distúrbios metabólicos (inibição lipídica, efeito nas enzimas digestivas, resistência à insulina e obesidade) e inflamação, doenças intestinais (doença inflamatória intestinal e síndrome do intestino irritável), hepatotoxicidade e lesão hepática (pela ingestão facilitada de metais pesados) e alteração da microbiota intestinal. Evidenciou que as condições fisiológicas do intestino podem promover a liberação de compostos presentes nos plásticos expondo a linha celular de hepatoma humano, não induz morte celular, resultando em um carcinoma hepatocelular, também câncer de colorretal (Ge Y, et al. 2023.; Xu JL, et al. 2022.; Kai Yin, et al. 2021.).

No sistema respiratória, a exposição de tamanhos menores (0,5 a 5 micrômetros) podem ser eliminados pelo trato respiratório, enquanto tamanhos maiores (15 a 20 micrômetros) são capazes de passar através da barreira alveolar, acumulam-se nos tecidos, causar danos celulares, alterar o surfactante pulmonar e induzir inflamação por células do sistema imunológico, citotoxicidade e doenças respiratórias, como bronquite, asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, fibrose pulmonar e câncer, de modo que podem ser exacerbadas pelo transporte de

produtos químicos, metais pesados (Cromo, Mercúrio, Chumbo) e microorganismo patogênico aumentado pela toxicidade (Feng Y, et al. 2023.; Yang W, et al. 2022.; Xu JL, et al. 2022.; LI, Y, et al. 2023.).

A translocação dos MNP, especialmente com grupos amino, pelo sistema circulatório e a persistência pode causar danos pela interação deles com os glóbulos vermelhos, prejudicando a membrana e função do transporte de oxigênio, e alterar a função plaquetária do risco de coagulação sanguínea e eventos trombóticos. Ainda mais, inibir as vias de sinalização angiogênica e de cicatrização de feridas, comprometendo a formação de novos vasos sanguíneos e aumentar o risco de hemorragia ou trombose (Feng Y, et al. 2023.; Marcelinho RC, et al. 2022.; Xu JL, et al. 2022.). Além disso, os MNP podem afetar a hematopoiese e a expressão gênica na medula óssea, causar toxicidade cardiovascular, incluindo danos estruturais no miocárdio e aumento do estresse oxidativo, e induzir fibrose cardíaca e inflamação nos vasos sanguíneos desenvolvendo doenças, como hipertensão e infarto do miocárdio (LIU, et al. 2021.; Chowdhury, et al. 2023.).

A interação dos MNP com o sistema imunológico, como os linfócitos, células T, macrófagos, imunidade inata e adaptativa, desencadeiam respostas inflamatórias e citotóxicas que levam à morte celular, pela indução de estresse oxidativo e gerar espécies reativas de oxigênio que causam danos à membrana celular e danos ao DNA levando a mutação genética, quebra de fita de DNA e instabilidade genômica. Estudos também mostram afetar a função celular e o metabolismo, incluindo citotoxicidade, genotoxicidade e neurotoxicidade (Pulvirenti, et al. 2022.; Feng Y, et al. 2023.; Kumar R, et al. 2022.; Yang W, et al. 2022.). Evidenciou que as interleucinas 6, 8, 1B induzem a resposta inflamatória que ocasionam DPOC, asma e DII. E o fator de necrose tumoral alfa demonstrou ter uma ação pró-inflamatórias após a exposição de poliestireno (PS), conjuntamente aumento de quimiocina MIP1 (responsável por promover respostas pró-inflamatória) após exposição ao polipropileno (PP) e PS. Bem como a interação dos MPS com os poluentes externos, produtos químicos e patógenos, causam danos a membrana celular e proteínas intracelulares e formar uma “proteína-corona”, em torno dos poluentes, quando sofre endocitose entram em contato com o plasma sanguíneo ou fluído intersticial permitindo o prolongamento na circulação e ocasiona alteração, por exemplo, hematogênica (Xu JL, et al. 2022.; Liu L, et al. 2021.; Romero-Andrada I, et al. 2023.).

O Impacto na saúde reprodutiva através dos sistemas linfático e corrente sanguínea por partículas menores de 10 micrômetros, estudos demonstram nos homens, a presença de produtos químicos desreguladores endócrinos em MNP e a acumulação nos testículos,

desencadeiam estresse oxidativo, danos celulares e morte celular, em suma ocasionam em danos testiculares, redução na produção de espermatozoides e alterações hormonais com redução dos níveis de testosterona e estradiol, hormônios luteinizantes (LH) e folículoestimulante (FSH) (Eberhard T, el at. 2024.; Feng Y, EL AT. 2023.; Marcelinho RC, el at. 2022.; Medley EA, el at. 2023.; Xu JL, el at. 2022). Da mesma forma em mulheres acarretam danos nos ovários, a ovulação, geram menores concentrações de estradiol e testosterona no plasma e dispor malefícios no DNA, apoptose, estresse oxidativo e disfunção mitocondrial nos ovócitos, pela mesma razão a acumulação nos ovários, diminui a fertilidade e influência no desenvolvimento embrionário. Por fim, a exposição resulta complicações em mulheres grávidas e seus fetos, já que as partículas podem atravessar a barreira placentária e acumular nos tecidos e órgãos do feto, suscitando em malformações congênitas, aborto espontâneo, alteração endometrial, dificuldades durante a gravidez e o parto, complicações neurológico e metabólico do feto (Kai Yin, el at. 2021.; Wang X, el at. 2023.; Hong Y, el at. 2023.).

A capacidade de transportar e liberar produtos químicos desreguladores endócrinos (EDCs), como o bisfenol A e ftalatos, que interferem no funcionamento normal do sistema endócrino. Esses EDCs podem imitar ou bloquear os efeitos dos hormônios naturais, levando a disfunções hormonais, problemas reprodutivos, desenvolvimento anormal de órgãos sexuais, distúrbios metabólicos (diabetes tipo 2 e obesidade) e até mesmo câncer. Estudos demonstram que os microplásticos podem atuar como alteração endócrina, influenciar os níveis de hormônios sexuais e incomodar o funcionamento do eixo hipotalâmico gonadal pituitário (HPG). A exposição a microplásticos também foi associada a efeitos prejudiciais sobre o HPG em mulheres, convertendo em uma diminuição nos hormônios gonadotrópicos e supressão da esteroidogênese (Feng Y, el at. 2023.; Kumar R, el at. 2022.; Leso V, el at. 2023.).

Os efeitos adversos causados no sistema nervoso central ocorrem quando os MNP entram no cérebro e geram neuroinflamação, principalmente no hipocampo (região de aprendizado e memória), prejudicando a funcionalidade do cérebro por perturbar a expressões de genes e proteínas. Pela mesma razão, mediante a indução de um estresse oxidativo no cérebro, leva dano celular e disfunção neural, pela redução dos níveis de acetilcolina (neurotransmissor) (Sun N, el at. 2022.; Feng Y, el at. 2023.; Xu JL, el at. 2022.). Como também, a bioacumulação de plásticos, em camundongos, através da inalação resultou em toxicidade neural e comprometimento cognitivo, e pela ingestão oral evidenciou o transtorno do espectro do autista. Ademais, as NP's de PS (pela superfície hidrofóbica) está associado a

neurodegeneração pela aceleração da nucleação de β -amiloide ($A\beta$) e promover a formação de oligômeros de $A\beta$, que são altamente tóxicos e estão associados aos sintomas neurodegenerativos da doença de Alzheimer (Kai YIN, el at. 2021.; GOU X, el at. 2024.; Kumar R., el at. 2022).

Em experimentos com células renais embrionárias humanas (HEK293), a interação dos MNP foi associada a menor proliferação de células e induz estresse oxidativo, gerar disfunção mitocondrial, inflamação e comprometer a função renal. Inclusive, a acumulação nos rins exacerba a biotoxicidade e acender efeitos adversos como perda de peso. (Feng Y, el at. 2023.; Xu JL, el at. 2022.)^{4, 16}.

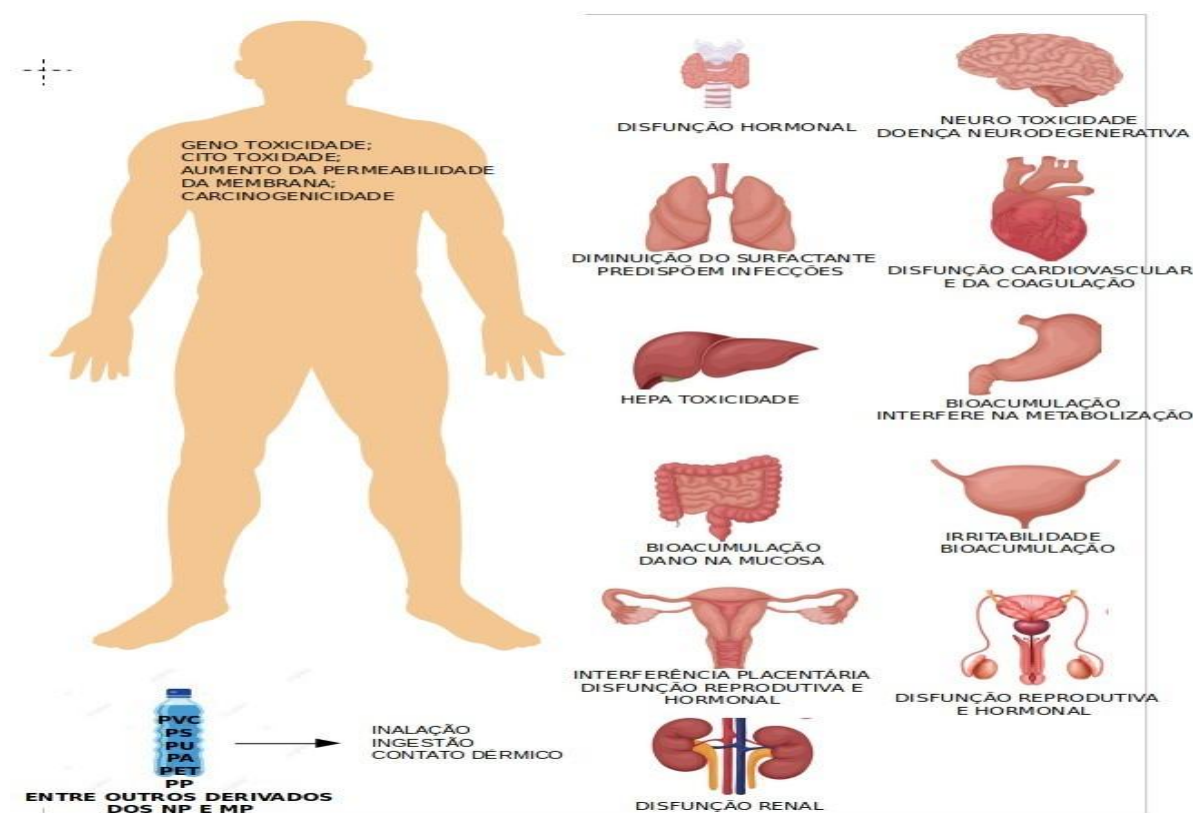
A exposição de nanopartículas de poliestireno (NP's) originar-se uma maior abundância de ARGs em comparação com o controle e grupos expostos a microplásticos (MP's) no ambiente agrícola, resultando em um potencial impacto na disseminação de resistência a antibióticos (ARB) e genes resistentes a antibióticos (ARG). Além disso, apontou que a exposição a microplásticos ao *Streptomyces* apresentou maior afinidade de resistência multidrogas, *Bacillus* emergiu como hospedeiro principal a exposição de nanoplásticos. Igualmente, a exposição de nanoplásticos a patógenos oportunistas como *Legionella*, *Pseudomonas*, *Hahella*, *Rhodococcus* (Sun N, el at. 2023.; Baysal A, el at. 2022.; Liu L, el at. 2023.).

18

As pesquisas sobre microplásticos (MPs) ainda apresentam diversas limitações. Os métodos de amostragem atuais focam principalmente em partículas micrométricas, podendo subestimar a exposição a nanoplásticos (NPs). A ausência de padrões universais dificulta a comparação entre estudos, e as estimativas de exposição humana são baseadas em dados generalizados, nem sempre representando realidades locais. Além disso, as condições ambientais e ocupacionais afetam significativamente a exposição, tornando a extrapolação dos resultados, devido a contaminação das amostras. Os estudos utilizam frequentemente doses mais altas do que as encontradas no ambiente, pela falta de dados sobre a exposição humana individual, dificultando a avaliação real dos riscos. Ainda há lacunas na compreensão da biodisponibilidade dos MPs e seus impactos na saúde, especialmente em relação às NPs. Outra limitação relevante é a falta de modelos experimentais abrangentes que simulem com precisão a interação, em nível celular, dessas alternativas com diferentes órgãos humanos. Essas limitações reforçam a necessidade de padronização metodológica, mais estudos sobre nanopartículas de plástico e mais pesquisas detalhadas sobre a exposição individual (Sun N., el at. 2023.; Barbosa F., el at. 2020.; Eberhard T, el at. 2024)

A figura 2 imagens retiradas da

plataforma Canva, legendas e montagens feitas pelo ator evidencia a interferência da homeostase voltado aos efeitos adversos nos órgãos humanos:



CONCLUSÃO

Os achados científicos apresentados demonstram uma relevância de efeitos adversos causados pela interação do microplásticos (MP's) e nanoplasticos (NP's) com o sistema humano, na qual interfere, negativamente, na homeostase dos órgãos e na funcionalidade. De modo, esses poluentes influenciam no desenvolvimento de doenças que podem se tornar irreversíveis e disfuncionais.

Apesar disso, novos estudos devem ser recomendados para ser possível elucidar os efeitos adversos causados, entender melhor os efeitos dos NP's e MP's na saúde e implementar medidas afim de reduzir a exposição, mitigar riscos e proteger gerações futuras.

REFERÊNCIA

1. EBERHARD T, Casillas G, Zarus GM, Barr DB. Systematic review of microplastics and nanoplastics in indoor and outdoor air: identifying a framework and data needs for quantifying human inhalation exposures. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2024 Jan 6. doi: 10.1038/s41370-02300634-x. Epub ahead of print. PMID: 38184724.

2. MARCELINO RC, Cardoso RM, Domingues ELBC, Gonçalves RV, Lima GDA, Novaes RD. O risco emergente de microplásticos e nanoplásticos na microestrutura e função dos órgãos reprodutivos em mamíferos: uma revisão sistemática de evidências pré-clínicas. *Life Sci* (em inglês). 2022 Apr 15;295:120404. doi: 10.1016/j.lfs.2022.120404. Epub 2022 Feb 14. PMID: 35176278 (em inglês).
3. GOPINATH PM, Parvathi VD, Yoghalakshmi N, Kumar SM, Athulya PA, Mukherjee A, Chandrasekaran N. Partículas de plástico na medicina: uma revisão sistemática da exposição e efeitos à saúde humana. *Chemosphere* (em inglês). 2022 Sep;303(Pt 3):135227. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135227. Epub 2022 Jun 4. PMID: 35671817 (em inglês).
4. BARBOSA F, Adeyemi JA, Bocato MZ, Comas A, Campiglia A. Um ponto de vista crítico sobre as questões atuais, limitações e necessidades futuras de pesquisa em estudos micro e nanoplásticos: da detecção à avaliação toxicológica. *Environ Res* (em inglês). 2020 Mar;182:109089. doi: 10.1016/j.envres.2019.109089. Epub 2019 30 de dezembro. PMID: 32069751 (em inglês).
5. GE Y, Yang S, Zhang T, Wan X, Zhu Y, Yang F, Yin L, Pu Y, Liang G. Avaliação de hepatotoxicidade de micro/nanoplásticos: Um estudo preliminar para aplicar as vias de desfecho adverso. *Sci Total Environ* (em inglês). 2023 Dec 1;902:165659. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165659. Epub 2023 29 de julho. PMID: 37517720 (em inglês).
6. MEDLEY EA, Spratlen MJ, Yan B, Herbstman JB, Deyssenroth MA. A Systematic Review of the Placental Translocation of Micro- and Nanoplastics. *Curr Environ Health Rep*. 2023 Jun;10(2):99-111. doi: 10.1007/s40572-02300391-x. Epub 2023 Feb 27. PMID: 36848019; PMCID: PMC10300151.
7. LESO V, Battistini B, Vetrani I, Reppuccia L, Fedele M, Ruggieri F, Bocca B, Iavicoli I. Os efeitos desregulação endócrina da exposição nanoplástica: uma revisão sistemática. *Toxicol Ind Saúde*. 2023 Nov;39(11):613-629. doi: 10.1177/07482337231203053. Epub 2023 27 Set. PMID: 37753827 (em inglês).
8. XU JL, Lin X, Wang JJ, Gowen AA. Uma revisão dos potenciais impactos na saúde humana da exposição a micro e nanoplásticos. *Sci Total Environ* (em inglês). 2022 Dec 10;851(Pt 1):158111. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158111. Epub 2022 Ago 17. PMID: 35987230 (em inglês).
9. SIDDIQUI SA, Khan S, Tariq T, Sameen A, Nawaz A, Walayat N, Oboturova NP, Ambartsumov TG, Nagdalian AA. Avaliação potencial de risco e impactos toxicológicos de nano/microplásticos na saúde humana através de produtos alimentares. *Adv Food Nutr Res*. 2023;103:361-395. doi:10.1016/bs.afnr.2022.07.006. Epub 2023 Jan 9. PMID: 36863839 (em inglês).
10. LIU, L. et al. Cellular internalization and release of polystyrene microplastics and nanoplastics. *Science of The Total Environment*, v. 779, p. 146523, jul. 2021.
11. Liu L, Sun Y, Du S, Li Y, Wang J. Nanoplastics promote the dissemination of antibiotic resistance genes and diversify their bacterial hosts in soil. *Eco Environ Health*. 2023 Oct 13;3(1):1-10. doi: 10.1016/j.eehl.2023.09.005. PMID: 38187015; PMCID: PMC10767152.

12. Sun N, Shi H, Li X, Gao C, Liu R. Toxicidade combinada de micro/nanoplásticos carregados com poluentes ambientais para organismos e células: Papel, efeitos e mecanismo. *Environ Int* (em inglês). 2023 Jan;171:107711. doi: 10.1016/j.envint.2022.107711. Epub 2022 21 de dezembro. PMID: 36566717 (em inglês).
13. CHOWDHURY, S. R. et al. Environmental microplastics and nanoplastics: Effects on cardiovascular system. *Annales de toxicologie analytique*, 2023.
14. Yin, K., Wang, Y., Zhao, H., Wang, D., Guo, M., Mu, M., ... & Xing, M. (2021). Uma revisão comparativa de microplásticos e nanoplásticos: Riscos de toxicidade no sistema digestivo, reprodutivo e nervoso. *Ciência do ambiente total*, 774, 145758.
15. Romero-Andrada I, Lacoma A, Hernández A, Domínguez J. Poluentes ambientais: micro e nanoplásticos em imunidade e infecções respiratórias. *Arch Bronconeumol* (em inglês). 2023 Nov; 59(11):709-711. Inglês, Espanhol. doi: 10.1016/j.arbres.2023.07.005. Epub 2023 10 de julho. PMID: 37487771 (em inglês).
16. LI, Y. et al. Toxicity of polystyrene nanoplastics to human embryonic kidney cells and human normal liver cells: Effect of particle size and Pb²⁺ enrichment. *Chemosphere*, v. 328, p. 138545, 1 jul. 2023.
17. WANG, X. et al. Interaction of polystyrene nanoplastics with human fibrinogen. *International journal of biological macromolecules*, v. 238, n. 124049, p. 124049, 2023.
18. HONG, Y.; WU, S.; WEI, G. Adverse effects of microplastics and nanoplastics on the reproductive system: A comprehensive review of fertility and potential harmful interactions. *Science of The Total Environment*, v. 903, p. 166258, 10 dez. 2023.
19. GOU, X. et al. Impact of nanoplastics on Alzheimer's disease: Enhanced amyloid- β peptide aggregation and augmented neurotoxicity. *Journal of hazardous materials*, v. 465, n. 133518, p. 133518, 2024.
20. Pulvirenti E, Ferrante M, Barbera N, Favara C, Aquilia E, Palella M, Cristaldi A, Conti GO, Fiore M. Efeitos de Nano e Microplásticos no Processo Inflamatório: In Vitro (Vitro) E a In Vivo (V) Estudos Systematic Review. *Front Biosci (Landmark Ed)* (em inglês). 2022 Oct 19;27(10):287. doi: 10.31083/j.fbl2710287. PMID: 36336869 (em inglês).
21. Feng Y, Tu C, Li R, Wu D, Yang J, Xia Y, Peijnenburg WJGM, Luo Y. A systematic review of the impacts of exposure to micro- and nano-plastics on human tissue accumulation and health. *Eco Environ Health*. 2023 Aug 21;2(4):195-207. doi: 10.1016/j.eehl.2023.08.002. PMID: 38435355; PMCID: PMC10902512.
22. BAYSAL A, Saygin H. Co-ocorrência de antibióticos e micro(nano)plásticos: uma revisão sistemática entre 2016-2021. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*. 2022;57(7):519-539. doi: 10.1080/10934529.2022.2082222. Epub 2022 Jun 3. PMID: 35657775 (em inglês).
23. ULLAH R, Tsui MT, Chow A, Chen H, Williams C, Ligaba-Osena A. Micro(nano)plastic pollution in terrestrial ecosystem: emphasis on impacts of polystyrene on soil biota, plants,

- animals, and humans. *Environ Monit Assess.* 2022 Dec 31;195(1):252. doi: 10.1007/s10661-022-10769-3. PMID: 36585967.
24. KUMAR R, Manna C, Padha S, Verma A, Sharma P, Dhar A, Ghosh A, Bhattacharya P. Micro(nano)plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere.* 2022 Jul;298:134267. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134267. Epub 2022 Mar 14. PMID: 35301996.
25. YANG W, Jannatun N, Zeng Y, Liu T, Zhang G, Chen C, Li Y. Impacts of microplastics on immunity. *Front Toxicol.* 2022 Sep 27;4:956885. doi: 10.3389/ftox.2022.956885. PMID: 36238600; PMCID: PMC9552327.
26. YANG T, Wang J. Exposições e vias de micro e nanoplasticos no ambiente, com ênfase nos efeitos potenciais em humanos: uma revisão sistemática. *Integr Environ Assess Manag* (em inglês). 2023 Nov;19(6):1422-1432. doi: 10.1002/ieam.4742. Epub 2023 Feb 13. PMID: 36661032 (em inglês).