

MICROPLÁSTICOS E NANOPLÁSTICOS: REVISÃO DE LITERATURA SOBRE TOXICIDADE, EFEITOS EM SISTEMAS ORGÂNICOS E IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE HUMANA

MICROPLASTICS AND NANOPLASTICS: A LITERATURE REVIEW ON TOXICITY, EFFECTS ON ORGAN SYSTEMS, AND IMPLICATIONS FOR HUMAN HEALTH

MICROPLÁSTICOS Y NANOPLÁSTICOS: REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE TOXICIDAD, EFECTOS EN LOS SISTEMAS ORGÁNICOS E IMPLICACIONES PARA LA SALUD HUMANA

Ludmila da Silva Cunha¹

Katia Soares da Poça²

Dionizio Mendes Ramos Filho³

RESUMO: Esse artigo buscou analisar criticamente as evidências científicas acerca da exposição humana aos microplásticos e nanoplásticos (MNPs), com ênfase nas vias de exposição, nos mecanismos celulares de toxicidade e nos potenciais efeitos sobre a saúde humana. Trata-se de uma revisão de literatura sistematizada, de caráter qualitativo, realizada a partir de artigos científicos publicados entre 2017 e 2026, identificados nas bases PubMed, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink e Wiley Online Library, utilizando descritores relacionados a microplásticos, nanoplásticos, saúde humana e toxicidade. Foram analisados estudos experimentais, clínicos e revisões que abordassem mecanismos de toxicidade, vias de exposição e efeitos fisiológicos ou sistêmicos dos MNPs. Os resultados demonstraram que essas partículas estão amplamente distribuídas no ambiente, podendo ser encontradas na água, no solo, no ar e nos alimentos, favorecendo a exposição humana contínua. As evidências indicaram que os MNPs podem atravessar barreiras biológicas e desencadear estresse oxidativo, inflamação e alterações celulares, com possíveis impactos nos sistemas gastrointestinal, respiratório, cardiovascular, imunológico, nervoso, endócrino e reprodutivo. Conclui-se que a exposição crônica aos MNPs constitui uma preocupação emergente para a saúde humana, reforçando a necessidade de pesquisas, monitoramento e políticas públicas.

Palavras-chave: Microplásticos. Nanoplásticos. Exposição Humana.

ABSTRACT: This article aimed to critically analyze the scientific evidence regarding human exposure to microplastics and nanoplastics (MNPs), with emphasis on exposure pathways, cellular mechanisms of toxicity, and potential effects on human health. This is a qualitative, systematic literature review based on scientific articles published between 2017 and 2026, identified in the PubMed, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, and Wiley Online Library databases, using descriptors related to microplastics, nanoplastics, human health, and toxicity. Experimental and clinical studies, as well as reviews addressing mechanisms of toxicity, exposure pathways, and physiological or systemic effects of MNPs, were analyzed. The results demonstrated that these particles are widely distributed in the environment and can be found in water, soil, air, and food, contributing to continuous human exposure. The evidence indicated that MNPs can cross biological barriers and trigger oxidative stress, inflammation, and cellular alterations, with potential impacts on the gastrointestinal, respiratory, cardiovascular, immune, nervous, endocrine, and reproductive systems. It is concluded that chronic exposure to MNPs represents an emerging concern for human health, reinforcing the need for further research, monitoring, and public policies.

Keywords: Microplastics. Nanoplastics. Human Exposure.

¹Doutorado em engenharia ambiental e professora Universitária, Universidade Estácio de Sá.

²Doutorado em saúde pública e pesquisadora inca. Laboratório de toxicologia ocupacional, ambiental e vigilância do cancer - LABTOX/CONPREV/INCA.

³Pós-doutorado em educação física e professor do instituto de aplicação fernando rodrigues da silveira na Universidade do estado do rio de janeiro (cap-uerj), Instituto de aplicação Fernando rodrigues da silveira na universidade do estado do rio de janeiro (CAP-UERJ).

RESUMEN: Este artículo tuvo como objetivo analizar críticamente las evidencias científicas sobre la exposición humana a los microplásticos y nanoplasticos (MNPs), con énfasis en las vías de exposición, los mecanismos celulares de toxicidad y los posibles efectos sobre la salud humana. Se trata de una revisión sistematizada de la literatura, de carácter cualitativo, realizada a partir de artículos científicos publicados entre 2017 y 2026, identificados en las bases de datos PubMed, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink y Wiley Online Library, utilizando descriptores relacionados con microplásticos, nanoplasticos, salud humana y toxicidad. Se analizaron estudios experimentales y clínicos, así como revisiones que abordaron los mecanismos de toxicidad, las vías de exposición y los efectos fisiológicos o sistémicos de los MNPs. Los resultados demostraron que estas partículas están ampliamente distribuidas en el medio ambiente y pueden encontrarse en el agua, el suelo, el aire y los alimentos, favoreciendo una exposición humana continua. Las evidencias indicaron que los MNPs pueden atravesar barreras biológicas y desencadenar estrés oxidativo, inflamación y alteraciones celulares, con posibles efectos en los sistemas gastrointestinal, respiratorio, cardiovascular, inmunológico, nervioso, endocrino y reproductivo. Se concluye que la exposición crónica a los MNPs constituye una preocupación emergente para la salud humana, lo que refuerza la necesidad de realizar más investigaciones, monitoreo y desarrollar políticas públicas.

Palabras clave: Microplásticos. Nanoplasticos. Exposición Humana.

INTRODUÇÃO

O plástico tornou-se um dos materiais mais utilizados globalmente devido à sua versatilidade, baixo custo e durabilidade. Contudo, essas mesmas características contribuem para sua persistência ambiental, resultando na fragmentação progressiva de resíduos plásticos em partículas menores, denominadas microplásticos e nanoplasticos (SHEN M, et al., 2020). Microplásticos são definidos como partículas plásticas com diâmetro inferior a 5 mm, enquanto os nanoplasticos apresentam dimensões inferiores a 1 μm , o que lhes confere propriedades físico-químicas distintas e maior reatividade biológica (WINIARSKA E, et al., 2024b).

Os nanoplasticos, por sua vez, apresentam uma área superficial significativamente maior em relação ao volume, característica que favorece interações com biomoléculas, membranas celulares e organelas. Essa elevada razão superfície/volume também amplia sua capacidade de adsorção de poluentes orgânicos persistentes e metais pesados, potencializando seus efeitos tóxicos (HERNÁNDEZ AF, et al., 2025). Além do tamanho reduzido, propriedades físico-químicas, como forma, carga superficial e composição polimérica, influenciam diretamente a biodisponibilidade, a internalização celular e a magnitude das respostas inflamatórias induzidas, determinando, consequentemente, o potencial tóxico dessas partículas (WINIARSKA E, et al., 2024b).

Esta revisão tem como objetivo apresentar o panorama atual das evidências científicas relacionadas aos impactos celulares e fisiológicos da exposição humana aos MNPs, destacando mecanismos de toxicidade, possíveis implicações para a saúde humana e lacunas científicas que necessitam de investigação futura.

MÉTODOS

Este estudo consiste em uma revisão de literatura sistematizada, de caráter qualitativo, baseada na análise crítica de artigos científicos relacionados aos efeitos dos microplásticos e nanoplásticos (MNPs) sobre a saúde humana. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados internacionais PubMed, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink e Wiley Online Library, utilizando combinações dos descritores “microplásticos”, “nanoplásticos”, “saúde humana” e “toxicidade”, em português e inglês.

Foram considerados elegíveis artigos publicados entre 2017 e 2026, incluindo estudos experimentais *in vitro* e *in vivo*, pesquisas clínicas e revisões da literatura que abordassem mecanismos celulares, vias de exposição e efeitos fisiológicos ou sistêmicos relacionados à exposição humana aos MNPs. Foram excluídos estudos exclusivamente ambientais, sem interface com a saúde humana, artigos duplicados, resumos de congressos, cartas ao editor e publicações que não apresentassem dados relevantes para responder à questão proposta pela revisão.

Com a recuperação dos registros nas bases de dados, os estudos identificados foram organizados e as duplicatas foram removidas. Em seguida, foi realizada a triagem dos títulos e resumos, com exclusão dos estudos que não apresentavam relação com o tema ou que atendiam aos critérios de exclusão. Os artigos potencialmente elegíveis foram, posteriormente, avaliados por meio da leitura do texto completo, considerando os critérios de elegibilidade previamente estabelecidos.

Na etapa seguinte, os estudos selecionados foram analisados qualitativamente, com ênfase na identificação dos principais mecanismos de toxicidade associados aos MNPs, nas vias de exposição humana e nos efeitos celulares, fisiológicos e sistêmicos descritos na literatura recente.

Ao final da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão e a remoção de duplicatas, um total de 36 artigos únicos compôs o corpus central de evidências avaliadas nesta revisão. Os estudos selecionados foram categorizados qualitativamente quanto às vias de exposição,

detecção em matrizes, mecanismos de toxicidade, efeitos nos sistemas orgânicos e implicações para a saúde pública, estando a distribuição sintética apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Artigos atribuídos a cada subtópico avaliado

Subtópicos	n	Autores
Vias de exposição humana	10	Schwabl P, et al. (2019); Prata JC, et al. (2020); Murashov V, et al. (2021); Jenner LC, et al. (2022); Li Y, et al. (2023); Duda A e Petka K (2025); Fard NJH, et al. (2025); Hernández AF, et al. (2025); Suman TY, et al. (2025); Koli TK, et al. (2026)
Detecção de MNPs em diferentes matrizes	9	Schwabl P, et al. (2019); Ivleva NP (2021); Ragusa A, et al. (2021); Jenner LC, et al. (2022); Montano L, et al. (2023); Duda A e Petka K (2025); He S e Zhang Y (2025); Shim Y e Min H (2025); Koli TK, et al. (2026)
Mecanismos de toxicidade	11	Dong CD, et al. (2020); Han S, et al. (2020); Çobanoğlu H, et al. (2021); Sarma DK, et al. (2022); Weber A, et al. (2022); Winiarska E, et al. (2024b); Yang Z, et al. (2024); Hernández AF, et al. (2025); Suman TY, et al. (2025); Mahmud F, et al. (2024); Yang W, et al. (2022)
Efeitos nos sistemas orgânicos	21	Han S, et al. (2020); Prata JC, et al. (2020); Dong CD, et al. (2020); Leslie HA, et al. (2022); Yang W, et al. (2022); Zhang C, et al. (2022); Li Y, et al. (2023); Montano L, et al. (2023); Ullah S, et al. (2023); Huang X, et al. (2024); Mahmud F, et al. (2024); Winiarska E, et al. (2024a); Winiarska E, et al. (2024b); Chia SPS, et al. (2025); Fard NJH, et al. (2025); He S e Zhang Y (2025); Ma J, et al. (2025); Suman TY, et al. (2025); Wang YF, et al. (2025); Shim Y e Min H (2025); Cristina M, et al. (2026)
Implicações para a saúde pública	6	Koelmans AA, et al. (2016); Cox KD, et al. (2019); Hernández AF, et al. (2025); Edet PP, et al. (2026); Koli TK, et al. (2026); Schwabl P, et al. (2019)
Soma total de atribuições	57	Considerando as sobreposições de artigos multitópicos
Total real de artigos únicos	36	Removendo as repetições e citações puramente conceituais de contextualização

Nota: n: número de artigos atribuídos a cada subtópico. O total de artigos únicos contemplados na síntese dos resultados da revisão é de 36, com diversos trabalhos abordando múltiplos aspectos da toxicidade, detecção e vias de exposição aos micro/nanoplásticos (artigos multitópicos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os impactos dos MNPs na saúde humana estão diretamente relacionados às suas características físico-químicas, especialmente ao reduzido tamanho das partículas e maior razão superfície-volume, o que favorece a adsorção de substâncias químicas e a interação com estruturas celulares (IVLEVA NP, 2021).

Estas partículas encontram-se amplamente distribuídas nos diferentes compartimentos ambientais, incluindo ambientes aquáticos, terrestres e atmosféricos. A principal fonte desses contaminantes é a fragmentação progressiva de resíduos plásticos descartados

inadequadamente, associada à ação de fatores físicos, químicos e biológicos, como radiação ultravioleta, abrasão mecânica e processos oxidativos (PRATA JC, et al., 2020).

Ambientes aquáticos representam importantes reservatórios de microplásticos, os quais podem ser transportados por longas distâncias, atingindo ecossistemas costeiros e oceânicos. Estudos indicam que essas partículas podem ser incorporadas à cadeia alimentar, alcançando organismos de diferentes níveis tróficos, inclusive aqueles destinados ao consumo humano (LI Y, et al., 2023).

No ambiente terrestre, os microplásticos estão presentes no solo, em lodos de estações de tratamento de esgoto e em fertilizantes de origem orgânica. A aplicação desses materiais no solo favorece a incorporação de partículas plásticas ao ambiente agrícola, aumentando o risco de exposição humana por meio do consumo de alimentos vegetais contaminados (PRATA JC, et al., 2020).

Em contrapartida, a presença de MNPs representa uma rota de exposição particularmente relevante em ambientes urbanos e industriais. Partículas presentes no ar atmosférico podem ser inaladas e depositadas ao longo do trato respiratório, atingindo desde as vias aéreas superiores até os alvéolos pulmonares (WINIARSKA E, et al., 2024a).

VIAS DE EXPOSIÇÃO HUMANA

INGESTÃO

A ingestão é considerada uma das principais vias de exposição humana aos MNPs. Essas partículas já foram detectadas em água potável, água engarrafada, alimentos marinhos, sal de cozinha, frutas, vegetais e produtos ultraprocessados (DUDA A e PETKA K, 2025).

Após a ingestão, os microplásticos podem interagir diretamente com o epitélio intestinal. Embora partículas maiores tendam a ser excretadas, evidências sugerem que partículas menores, especialmente nanoplásticos, são capazes de atravessar a barreira intestinal por meio de mecanismos como transporte paracelular e translocação mediada por células M das placas de Peyer (SUMAN TY, et al., 2025).

Um estudo com oito voluntários na Europa e Ásia detectou microplásticos em amostras de fezes analisadas, utilizando espectroscopia FTIR (SCHWABL P, et al., 2019). Foram identificadas partículas entre 50 e 500 μm , com predominância de polipropileno (PP) e tereftalato de polietileno (PET). Os resultados sugerem que a ingestão de microplásticos ocorre

de forma involuntária por diferentes fontes ambientais e alimentares. Esses achados reforçam a preocupação sobre os possíveis impactos dessas partículas na saúde humana.

INALAÇÃO

Ambientes ocupacionais, como indústrias de fabricação de plásticos, reciclagem e setores têxteis, podem apresentar concentrações elevadas de partículas plásticas aerossolizadas. Dessa forma, trabalhadores desses setores estão potencialmente mais suscetíveis à contaminação por MNPs quando comparados à população geral (MURASHOV V, et al., 2021). Esses dados reforçam sua relevância como contaminantes ambientais de interesse para estudos epidemiológicos e vigilância em saúde pública.

A análise de amostras de tecido pulmonar humano por espectroscopia FTIR mostrou a presença de microplásticos em 11 das 13 amostras avaliadas, confirmando a inalação como importante via de exposição ambiental (JENNER LC, et al., 2022). Neste estudo foram detectados 39 microplásticos, com predominância de PP e PET, sendo as maiores concentrações observadas nas regiões inferiores dos pulmões. Os resultados demonstraram que partículas microplásticas podem ser inaladas, depositadas e acumuladas no tecido pulmonar humano, levantando preocupações sobre possíveis efeitos respiratórios e impactos à saúde.

CONTATO DÉRMICO

Embora considerada uma via menos significativa, a exposição dérmica aos microplásticos ocorre por meio do contato com produtos cosméticos, tecidos sintéticos e ambientes contaminados. A pele humana atua como uma barreira eficiente, limitando a penetração de partículas maiores; no entanto, nanoplásticos podem penetrar por microlesões ou através de folículos pilosos (LI Y, et al., 2023). Apesar dos dados ainda serem escassos, essa via de exposição pode assumir maior relevância em situações de exposição ocupacional ou uso frequente de produtos contendo partículas plásticas.

Independentemente da via de exposição, o contato humano com microplásticos tornou-se praticamente inevitável. Estudos recentes demonstram a presença dessas partículas em diferentes tecidos humanos, inclusive na placenta, com a identificação de microplásticos no lado materno, fetal e nas membranas corioamnióticas da placenta humana (RAGUSA A, et al., 2021). Esses achados demonstram a presença de microplásticos em diferentes compartimentos

da placenta humana, levantando preocupações sobre sua possível interação com a interface materno-fetal.

Após a exposição, os MNPs podem apresentar diferentes padrões de biodistribuição, dependendo de seu tamanho, forma, carga superficial e composição química. Evidências experimentais indicam que nanoplásticos possuem maior capacidade de translocação sistêmica, alcançando tecidos como fígado, rins, pulmões e cérebro (SUMAN TY, et al., 2025).

A interação entre MNPs e células humanas constitui um dos principais focos das pesquisas atuais, uma vez que essas interações representam o ponto inicial para o desenvolvimento de efeitos tóxicos em nível molecular e fisiológico. Devido às suas reduzidas dimensões, especialmente no caso dos nanoplásticos, essas partículas apresentam elevada capacidade de interação com membranas celulares e componentes intracelulares (HERNÁNDEZ AF, et al., 2025).

A internalização celular pode ocorrer por diferentes mecanismos, incluindo endocitose mediada por clatrina, caveolina, macropinocitose e fagocitose, dependendo do tipo celular e das características físico-químicas da partícula. Estudos in vitro demonstram que células epiteliais intestinais, células pulmonares, hepatócitos e células do sistema imunológico são particularmente suscetíveis à internalização de MNPs (MAHMUD F, et al., 2024).

MECANISMOS DE TOXICIDADE ESTRESSE OXIDATIVO

A exposição aos MNPs pode aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), promovendo danos ao DNA, proteínas e lipídios e estimulando a liberação de citocinas pró-inflamatórias. Esse processo pode favorecer alterações celulares e contribuir para mecanismos relacionados a doenças neurodegenerativas, cardiovasculares e ao envelhecimento (MAHMUD F, et al., 2024).

RESPOSTA INFLAMATÓRIA E IMUNOTOXICIDADE

A ativação de respostas inflamatórias representa outro mecanismo central da toxicidade associada aos MNPs, no qual estas partículas podem estimular a liberação de citocinas pró-inflamatórias, como interleucinas e fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) (WINIARSKA E, et al., 2024a). Além do mais, a exposição prolongada a nanoplásticos pode resultar em disfunções imunológicas, aumentando a suscetibilidade a processos inflamatórios persistentes (SUMAN TY, et al., 2025).

Weber A, et al. (2022) investigaram os efeitos de nanoplásticos sobre monócitos humanos primários e células dendríticas derivadas de monócitos, observando que a exposição a essas partículas induziu processos inflamatórios caracterizados pela liberação de citocinas pró-inflamatórias. Os autores demonstraram que a resposta inflamatória variou de acordo com o tipo de polímero, formato e concentração das partículas, sendo os nanoplásticos irregulares de policloreto de vinila (PVC) os que apresentaram maior potencial inflamatório.

GENOTOXICIDADE

Os resultados do estudo de Yang Z, et al. (2024) demonstraram que os MNPs de poliestireno induziram danos ao DNA das células do epitélio do intestino delgado, com efeitos dependentes tanto da concentração quanto do tempo de exposição. As partículas de menor tamanho apresentaram maior potencial genotóxico, evidenciando que a ingestão de elevadas concentrações desses contaminantes pode comprometer a integridade celular do trato gastrointestinal. Esses achados reforçam a preocupação com a exposição humana a MNPs presentes na água e nos alimentos, sugerindo que sua absorção pelo organismo pode desencadear alterações genéticas e outras consequências adversas à saúde.

Sarma DK, et al. (2022) demonstraram que os nanoplásticos de poliestireno induziram citotoxicidade e genotoxicidade dependentes da dose em linfócitos humanos, com redução da viabilidade celular e aumento de danos ao DNA, incluindo aberrações cromossômicas e formação de micronúcleos. Os autores também observaram instabilidade genômica e diminuição da divisão celular, sugerindo que a exposição a esses contaminantes pode comprometer a integridade genética e representar um potencial risco à saúde humana.

A exposição in vitro a microplásticos também foi avaliada pelo teste do micronúcleo em linfócitos por 48 horas, que demonstrou aumento na frequência de micronúcleos, pontes nucleoplasmáticas e brotos nucleares. Os autores sugerem que a interação mecânica das micropartículas com os linfócitos, a liberação de monômeros e de aditivos das micropartículas poderia ser o possível mecanismo responsável pelo aumento das instabilidades genômicas (ÇOBANOĞLU H, et al., 2021).

EFEITOS FISIOLÓGICOS DOS MICROPLÁSTICOS E NANOPLÁSTICOS NOS SISTEMAS ORGÂNICOS

A exposição a MNPs pode resultar em efeitos fisiológicos em múltiplos sistemas orgânicos, especialmente em cenários de exposição crônica. A capacidade dessas partículas de atravessar barreiras biológicas, interagir com células e desencadear respostas inflamatórias sistêmicas sustenta a hipótese de impactos multissistêmicos à saúde humana (WINIARSKA E, et al., 2024b).

SISTEMA GASTROINTESTINAL

O trato gastrointestinal representa um dos principais locais de contato entre microplásticos e o organismo humano. Após a ingestão, essas partículas entram em contato direto com o epitélio intestinal, podendo interferir na integridade da barreira intestinal e na homeostase local (PRATA JC, et al., 2020). Estudos experimentais indicam que a exposição a MNPs pode aumentar a permeabilidade intestinal, favorecendo a translocação de partículas e de outros agentes tóxicos para a circulação sistêmica (WANG YF, et al., 2025). Além disso, há evidências de alterações na composição e diversidade da microbiota intestinal, o que pode resultar em desequilíbrios metabólicos e inflamatórios (LI Y, et al., 2023).

A exposição a nanoplásticos também foi associada a disbiose intestinal, onde a exposição pode contribuir para inflamação crônica de baixo grau, condição relacionada ao desenvolvimento de doenças metabólicas e autoimunes (SUMAN TY, et al., 2025).

SISTEMA RESPIRATÓRIO

Com a expansão da industrialização e o aumento das atividades humanas, a produção de plásticos também tem crescido significativamente. A inalação dos MNPs representa uma das principais vias de exposição, uma vez que partículas de pequenas dimensões podem atingir profundamente os pulmões, alcançando os alvéolos (FARD NJH, et al., 2025).

Simulações computacionais evidenciaram que o tamanho, o formato das partículas e a frequência respiratória influenciam diretamente seu transporte e deposição ao longo do trato respiratório, favorecendo seu acúmulo em regiões específicas dos pulmões. Esses achados reforçam que a inalação de MNPs representa importante via de exposição, com potencial para contribuir para alterações respiratórias e o desenvolvimento de doenças pulmonares (HUANG X, et al., 2024).

Os microplásticos de poliestireno induziram citotoxicidade e resposta inflamatória em células epiteliais brônquicas por meio do aumento da produção EROs, da redução da resistência

elétrica transepitelial, da depleção de proteínas das junções estreitas e da diminuição da expressão de α 1-antitripsina, sugerindo maior suscetibilidade à doença pulmonar obstrutiva crônica (DONG CD, et al., 2020).

Por sua vez, em estudo com células de músculo liso brônquico de pacientes saudáveis e asmáticos e também com células epiteliais de vias aéreas expostas por 1 ou 24 horas à nanoplasticos de poliestireno de 25 ou 50 nm, as partículas foram capazes de penetrar em seu interior. A exposição também foi capaz de comprometer a função bioenergética e induzir disfunção mitocondrial, evidenciada por alterações na taxa de consumo de oxigênio e na taxa de acidificação extracelular (WINIARSKA E, et al., 2024a). Em ambos os tipos celulares os autores sugerem que os nanoplasticos representam uma ameaça significativa ao metabolismo oxidativo e glicolítico.

SISTEMA IMUNOLÓGICO

O sistema imunológico desempenha papel central na resposta do organismo à presença de MNPs. Células imunológicas, como macrófagos e células dendríticas, são capazes de reconhecer e internalizar essas partículas, ativando respostas inflamatórias (MAHMUD F, et al., 2024).

A principal via de toxicidade após a exposição aos microplásticos envolve a geração de EROs, que podem induzir a produção de padrões moleculares associados ao dano (DAMPs) e desencadear alterações nos processos mediados pelos receptores do tipo Toll (TLRs), na produção de citocinas e nas respostas inflamatórias das células do sistema imunológico (YANG W, et al., 2022).

Um estudo demonstrou que microplásticos de policloreto de vinila (PVC) e acrilonitrila butadieno estireno (ABS) apresentam potencial imunotóxico, sendo capazes de desencadear respostas inflamatórias em células humanas, induzindo a produção de citocinas pró-inflamatórias, como IL-6 e TNF- α , sendo essa resposta influenciada pelo tipo de polímero, tamanho e concentração das partículas. Esses achados sugerem que a exposição aos microplásticos pode desencadear processos inflamatórios e contribuir para a disfunção imunológica (HAN S, et al., 2020).

SISTEMA CARDIOVASCULAR

A presença de microplásticos na circulação sanguínea humana reforça preocupações sobre possíveis efeitos cardiovasculares. Essas partículas podem interagir diretamente com células endoteliais, plaquetas e componentes do sistema imune, favorecendo disfunção endotelial, alterações hemodinâmicas e processos inflamatórios vasculares (LESLIE HA, et al., 2022). Estudos experimentais indicam ainda que a exposição prolongada a MNPs pode comprometer a função de cardiomiócitos, induzir estresse oxidativo mitocondrial e intensificar fenótipos hipertróficos (MA J, et al., 2025). Dessa forma, a inflamação sistêmica associada à exposição aos MNPs pode representar um possível mecanismo relacionado à exacerbação de alterações cardiovasculares, embora essa relação ainda não esteja estabelecida em estudos epidemiológicos humanos.

Os MNPs, especialmente as nanopartículas de poliestireno, podem acumular-se no tecido cardíaco por diferentes vias de exposição, incluindo ingestão, inalação e absorção sistêmica. Devido ao reduzido tamanho ($<1\ \mu\text{m}$) e às propriedades hidrofóbicas, essas partículas conseguem ultrapassar barreiras fisiológicas e distribuir-se por diversas estruturas cardíacas, como miocárdio, pericárdio, tecido adiposo pericárdico, artérias coronárias, pequenos vasos e tecido conjuntivo (CHIA SPS, et al., 2025).

A exposição aos MNPs promove disfunção mitocondrial, enquanto a geração de EROs desempenha papel central na alteração da eletrofisiologia cardíaca. As modificações nos canais iônicos induzidas pelos MNPs representam uma consequência do estresse oxidativo e do estresse do retículo endoplasmático, culminando em disfunção eletrofisiológica e arritmias cardíacas (CRISTINA M, et al., 2026).

SISTEMA NERVOSO, ENDÓCRINO E REPRODUTIVO

Embora ainda pouco compreendidos, os potenciais efeitos neurotóxicos dos nanoplásticos têm sido objeto de crescente interesse científico. Estudos experimentais sugerem que partículas nanométricas podem atravessar a barreira hematoencefálica, interagir com neurônios e células da glia e induzir estresse oxidativo no sistema nervoso central (SUMAN TY, et al., 2025).

Evidências recentes indicam que os MNPs também podem atuar como desreguladores endócrinos, interferindo no funcionamento de importantes eixos hormonais, principalmente por meio da desregulação dos eixos hipotálamo-hipófise-gonadal (HPG), hipotálamo-hipófise-

tireoide (HPT) e hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA) (ULLAH S, et al., 2023; ZHANG C, et al., 2022).

Nos estudos voltados à saúde reprodutiva masculina, Montano L, et al. (2023) identificaram 16 microplásticos em seis amostras de sêmen de um total de 10 participantes, com partículas variando entre 2 e 6 μm , predominando os polímeros PP, poliestireno (PS) e PET. Os autores observaram que anormalidades espermáticas, incluindo alterações no volume, na concentração, na motilidade e na morfologia dos espermatozoides, foram identificadas exclusivamente nas amostras de sêmen que continham microplásticos (MONTANO L, et al., 2023).

Em relação às mulheres, um estudo com 10 amostras de fluido de lavagem cervicovaginal identificou uma média de microplásticos de $9,10 \pm 14,96$ por 10 gramas de amostra, composta por partículas menores que 50 μm , predominantemente de polipropileno e poliestireno (SHIM Y e MIN H, 2025). No endométrio, foi sugerido que as microesferas de poliestireno podem desempenhar um papel importante na formação de pólipos endometriais, promovendo a proliferação e a migração das células estromais endometriais por meio da ativação da via de sinalização PI3K/AKT (HE S e ZHANG Y, 2025).

Uma preocupação ainda maior refere-se à capacidade dos microplásticos serem capazes de alcançar diferentes compartimentos placentários, levantando a possibilidade de exposição materno-fetal. Estudos em amostras de placenta demonstraram uma distribuição específica dessas partículas, sendo identificados cinco microplásticos na face fetal, quatro na face materna e três nas membranas corioamnióticas (RAGUSA A, et al., 2021).

Em conjunto, essas evidências reforçam que a exposição aos MNPs pode representar um potencial risco à saúde humana, embora seus efeitos ainda não estejam completamente esclarecidos. Nesse contexto, são necessários novos estudos para compreender melhor seus impactos e possíveis consequências a longo prazo.

IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE PÚBLICA

A crescente presença de MNPs no ambiente e em produtos de consumo humano representa um desafio emergente para a saúde pública. Como observado, evidências científicas recentes demonstram que essas partículas podem atravessar barreiras biológicas, interagir com células de diferentes tecidos e desencadear respostas fisiológicas adversas, incluindo estresse oxidativo, disfunção mitocondrial, inflamação, alterações imunológicas e outras (Figura 1). Os

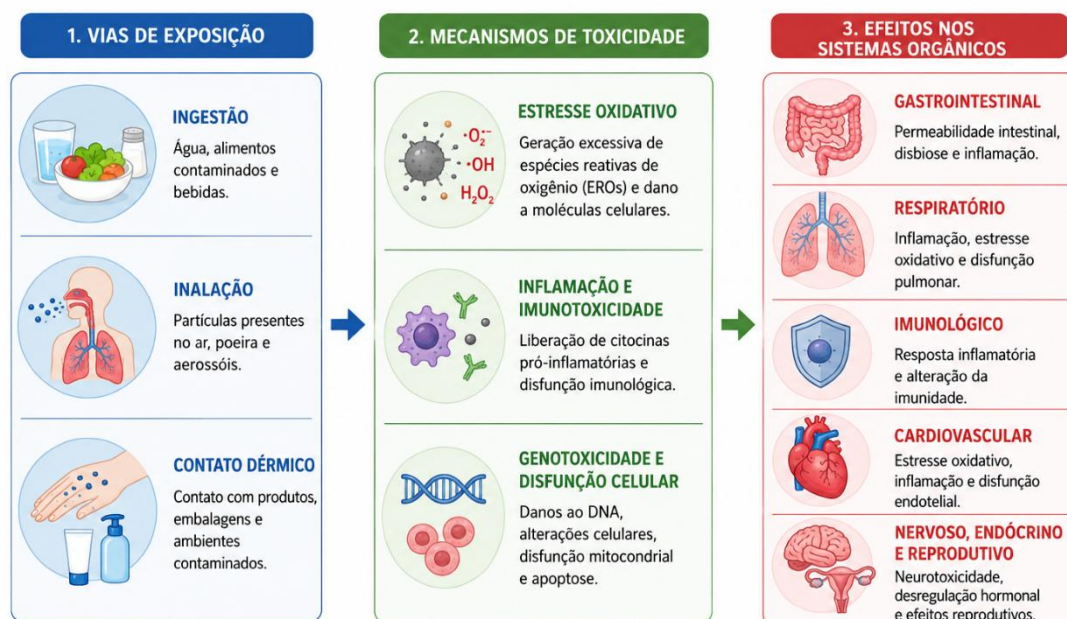
efeitos fisiológicos identificados atingem múltiplos sistemas, como gastrointestinal, respiratório, cardiovascular e imunológico, além de potenciais impactos no sistema nervoso, endócrino e reprodutivo.

Os microplásticos podem adsorver contaminantes químicos e agentes biológicos, atuando como vetores ambientais – fenômeno conhecido como “efeito vetor” (COX KD, et al., 2019). Os microplásticos também podem interagir com contaminantes químicos presentes no ambiente, modificando potencialmente sua biodisponibilidade e contribuindo para exposições complexas (KOELMANS AA, et al., 2016). Entretanto, a relevância desse mecanismo para a toxicidade em humanos permanece insuficientemente estabelecida.

A dificuldade em quantificar a exposição real, aliada à diversidade de partículas e à ausência de limites regulatórios, dificulta a avaliação precisa dos riscos (KOLI TK, et al., 2026). Além do mais, lacunas importantes persistem, especialmente no que se refere aos efeitos de longo prazo, à exposição cumulativa e à vulnerabilidade de grupos específicos, como gestantes, crianças e idosos. Neste contexto, profissionais de saúde deveriam considerar MNPs como possíveis fatores ambientais associados a doenças cardiovasculares, inflamatórias, respiratórias e reprodutivas, especialmente em populações vulneráveis.

Embora a relação causal ainda não esteja totalmente comprovada, o biomonitoramento da exposição aos MNPs pode futuramente auxiliar na avaliação de risco clínico (EDET PP, et al., 2026). Entretanto, a padronização metodológica e o desenvolvimento de estudos epidemiológicos robustos são essenciais para avançar na compreensão dos impactos desses contaminantes à saúde humana (HERNÁNDEZ AF, et al., 2025).

Figura 1 - Principais vias de exposição, mecanismos de toxicidade e potenciais efeitos dos microplásticos e nanoplásticos sobre a saúde humana.



Fonte: Elaborada pelos autores com base na literatura revisada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura analisada demonstra que a exposição humana aos microplásticos e nanoplásticos (MNPs) é uma preocupação ambiental e de saúde que vem ganhando relevância. A presença dessas partículas em alimentos, água, ar e diferentes tecidos humanos evidencia que o contato com MNPs pode ocorrer de forma contínua por diferentes vias, principalmente pela ingestão e inalação. As evidências disponíveis também indicam que essas partículas podem interagir com células e tecidos, desencadeando processos como estresse oxidativo, inflamação, alterações imunológicas, danos ao DNA e disfunção mitocondrial. Esses mecanismos podem afetar diferentes sistemas do organismo, incluindo os sistemas gastrointestinal, respiratório, cardiovascular, imunológico e reprodutivo.

Apesar dos avanços recentes, ainda existem importantes limitações para estabelecer com precisão os efeitos da exposição crônica aos MNPs sobre a saúde humana. A diversidade de tamanhos, formas e composição das partículas, além das diferenças entre os métodos utilizados nos estudos, dificulta a comparação dos resultados e a definição de riscos reais para

a população. Dessa forma, torna-se fundamental ampliar os estudos epidemiológicos e de biomonitoramento em humanos, bem como aprimorar a padronização das metodologias de detecção e avaliação da toxicidade. O fortalecimento da pesquisa científica, associado a medidas de redução da poluição plástica e ao desenvolvimento de estratégias de monitoramento e políticas públicas, é essencial para compreender melhor esse problema e prevenir possíveis impactos à saúde humana.

REFERÊNCIAS

CHIA SPS, PANG JKS, WINANTO W, SOH BS. Nanoplastics induces arrhythmia in human stem-cells derived cardiomyocytes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2025; 289: 117657.

ÇOBANOĞLU H, BELIVERMİŞ M, SIKDOKUR E, KILIÇ Ö, ÇAYIR A. Genotoxic and cytotoxic effects of polyethylene microplastics on human peripheral blood lymphocytes. *Chemosphere*, 2021; 272: 129805.

COX KD, COVERTON GA, DAVIES HL, DOWER JF, JUANES F, DUDAS SE. Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 2019; 53(12): 7068–7074.

CRISTINA M, BELLI M, BARONI A, MOULTON C, CARINCI E, GATTI M, SANSONE L. Nano-and microplastics in the cardiovascular system: current insights and biological implications. *Nanomaterials*, 2026; 16(10): 589.

DONG CD, CHEN CW, CHEN YC, CHEN HH, LEE JS, LIN CH. Polystyrene microplastic particles: in-vitro pulmonary toxicity assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 2020; 385: 121575.

DUDA A, PETKA K. The presence of micro-and nanoplastics in food and the estimation of the amount consumed depending on dietary patterns. *Molecules*, 2025; 30(18): 3666.

EDET PP, MITRA AK, DENNIS M, ZAMAN MS. Harmful effects of microplastics and nanoplastics in human body systems: a systematic review. *Diseases*, 2026; 14: 88.

FARD NJH, JAHEDI F, KHAKSAR MA, SHENAVAR B. Systematic review of pulmonary toxicity induced by microplastics and nanoplastics: insights from in vivo and in vitro studies. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 2025; 37(2): 223-241.

HAN S, BANG J, CHOI D, HWANG J, KIM T, OH Y, HONG J. Surface pattern analysis of microplastics and their impact on human-derived cells. *ACS Applied Polymer Materials*, 2020; 2(11): 4541-4550.

HE S, ZHANG Y. Detection and quantification of microplastics in endometrial polyps and their role in polyp formation. *Reproductive Toxicology*, 2025; 132: 108757.

HERNÁNDEZ AF, LACASAÑA M, TSATSAKIS AM, DOCEA AO. Cellular and molecular mechanisms of micro- and nanoplastics driving adverse human health effects. *Toxics*, 2025; 13(11): 921.

HUANG X, SAHA SC, SAHA G, FRANCIS I, LUO Z. Transport and deposition of microplastics and nanoplastics in the human respiratory tract. *Environmental Advances*, 2024; 16: 100525.

IVLEVA NP. Chemical analysis of microplastics and nanoplastics: challenges, advanced methods, and perspectives. *Chemical Reviews*, 2021; 121(19): 11886–11936.

JENNER LC, ROTCHELL JM, BENNETT RT, COWEN M, TENTZERIS V, SADOFSKY LR. Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 2022; 831: 154907.

KOELMANS AA, BAKIR A, BURGESS RM, DEGRUYTER WMA. Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environmental Science & Technology*, 2016; 50(7): 3315–3326.

KOLI TK, THUMAR M, PATEL N. Microplastics in human diet: a comprehensive review of detection approaches and exposure pathways. *Progress in Chemical and Biochemical Research*, 2026; 9(1): 82–98.

LESLIE HA, VAN VELZEN MJM, BRANDSMA SH, VETHAAK AD, GARCIA-VALLEJO JJ, LAMOREE MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 2022; 163: 107199.

LI Y, LIU Y, CHEN S, ZHANG W, WANG J. Potential health impact of microplastics: a review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environment & Health*, 2023; 1(4): 249.

MA J, LADD DM, KAVAL N, WANG HS. Toxicity of long term exposure to low dose polystyrene microplastics and nanoplastics in human iPSC-derived cardiomyocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 2025; 202: 115489.

MAHMUD F, SARKER DB, JOCELYN JA, SANG QA. Molecular and cellular effects of microplastics and nanoplastics: focus on inflammation and senescence. *Cells*, 2024; 13(21): 1788.

MONTANO L, GIORGINI E, NOTARSTEFANO V, NOTARI T, RICCIARDI M, PISCOPO M, MOTTA O. Raman Microspectroscopy evidence of microplastics in human semen. *Science of the Total Environment*, 2023; 901: 165922.

MURASHOV V, GERACI CL, SCHULTE PA, HOWARD J. Nano- and microplastics in the workplace. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2021; 18: 489–494.

PRATA JC, DA COSTA JP, LOPES I, DUARTE AC, ROCHA-SANTOS T. Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 2020; 702: 134455.

RAGUSA A, SVELATO A, SANTACROCE C, CATALANO P, NOTARSTEFANO V, CARNEVALI O, PAPA F, RONGIOLETTI MCA, BAIOTTO F, DRAGHI S. Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 2021; 146: 106274.

SARMA DK, DUBEY R, SAMARTH RM, SHUBHAM S, CHOWDHURY P, KUMAWAT M, VERMA V, TIWARI RR, KUMAR M. The biological effects of polystyrene nanoplastics on human peripheral blood lymphocytes. *Nanomaterials*, 2022; 12(10): 1632.

SCHWABL P, KÖPPEL S, KÖNIGSHOFER P, BUCSICS T, TRAUNER M, REIBERGER T, LIEBMANN B. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 2019; 171: 453–457.

SHEN M, SONG B, ZENG G, ZHANG Y, HUANG W, WEN X, TANG W. Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? *Environmental Pollution*, 2020; 263: 114469.

SHIM Y, MIN H. Identification and characterization of microplastics in human cervicovaginal lavage fluids using Raman spectroscopy: a preliminary study. *Life*, 2025; 15(3): 357.

SUMAN TY, RAJENDIRAN K, KWAK IS. Microplastics and nanoplastics in human health: a comprehensive review of exposure pathways, cellular mechanisms, and toxicological implications. *Archives of Toxicology*, 2025; 99: 1–28.

ULLAH S, AHMAD S, GUO X, ULLAH S, ULLAH S, NABI G, WANGHE K. A review of the endocrine disrupting effects of micro and nano plastic and their associated chemicals in mammals. *Frontiers in Endocrinology*, 2023; 13: 1084236.

WANG YF, WANG XY, CHEN BJ, YANG YP, LI H, WANG F. Impact of microplastics on the human digestive system: From basic to clinical. *World Journal of Gastroenterology*, 2025; 31(4): 100470.

WEBER A, SCHWIEBS A, SOLHAUG H, STENVIK J, NILSEN AM, WAGNER M, RELJA B, RADEKE HH. Nanoplastics affect the inflammatory cytokine release by primary human monocytes and dendritic cells. *Environment International*, 2022; 163: 107173.

WINIARSKA E, CHASZCZEWSKA-MARKOWSKA M, GHETE D, JUTEL M, ZEMELKA-WIACEK M. Nanoplastics penetrate human bronchial smooth muscle and small airway epithelial cells and affect mitochondrial metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024a; 25: 4724.

WINIARSKA E, JUTEL M, ZEMELKA-WIACEK M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: understanding human health risks. *Environmental Research*, 2024b; 251: 118535.

YANG W, JANNATUN N, ZENG Y, LIU T, ZHANG G, CHEN C, LI Y. Impacts of microplastics on immunity. *Frontiers in Toxicology*, 2022; 4: 956885.

YANG Z, DELOID GM, BAW J, ZARBL H, DEMOKRITOU P. Assessment of ingested micro-and nanoplastic (MNP)-mediated genotoxicity in an in vitro model of the small intestinal epithelium (SIE). *Nanomaterials*, 2024; 14(9): 807.

ZHANG C, CHEN J, MA S, SUN Z, WANG Z. Microplastics may be a significant cause of male infertility. *American Journal of Men's Health*, 2022; 16: 15579883221096549.