



O uso de máscaras e respiradores na prevenção da Covid-19: impactos e riscos ambientais

Mateus de Brito Sepinho

Trabalho de conclusão do curso de graduação em Engenharia
Ambiental, da Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP)

Orientadora: Dr^a Prof^a. Cassiana Maria Reganhan Coneglian

Limeira

2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Luiz Felipe Galeffi - CRB 8/10385

Se62u Sepinho, Mateus de Brito, 1997-
O uso de máscaras e respiradores na prevenção da Covid-19 : impactos e riscos ambientais / Mateus de Brito Sepinho. – Limeira, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Cassiana Maria Reganhan Coneglian.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Sucata de plástico. 2. COVID-19, Pandemia de, 2020-. 3. Poluição. I. Reganhan-Coneglian, Cassiana Maria, 1970-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: The use of masks and respirators in the prevention of Covid-19: environmental impacts and risks

Palavras-chave em inglês:

Plastic scrap

COVID-19 Pandemic, 2020-

Pollution

Titulação: Engenheiro Ambiental

Banca examinadora:

Cassiana Maria Reganhan Coneglian [Orientador]

Marco Aurélio Soares de Castro

Marta Siviero Guilherme Pires

Data de entrega do trabalho definitivo: 30-06-2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão aos professores, amigos e familiares que contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e profissional. Em especial, gostaria de agradecer às Professoras Doutoras Cassiana Maria Reganhan Coneglian, Emília Rutkowski, Carmenlúcia Penteado e Simone Pozza pelo seu apoio e aprendizados.

Também quero destacar a importante contribuição da Comissão Ambiental Camaleão, do Grupo Gestor Universidade Sustentável (GGUS) e da Travessia Acadêmica.

Este trabalho representa e resume anos de dedicação durante minha graduação, trabalho profissional e projetos de extensão. Sou grato por ter tido a oportunidade de aprender com todos vocês e espero que este trabalho contribua para promover um mundo melhor, com práticas mais sustentáveis em nossa comunidade.

RESUMO

O presente trabalho aborda a problemática relacionada aos resíduos plásticos, em especial os provenientes dos dispositivos médicos e equipamentos de proteção individual (EPIs), que são as máscaras e respiradores utilizados durante a pandemia da COVID-19, e seu impacto na vida selvagem, na saúde humana e na biodiversidade. A pesquisa tem como objetivo principal elucidar sobre os riscos ambientais do descarte inadequado desses resíduos. A metodologia adotada consiste em uma revisão bibliográfica abrangente, com foco na liderança da Organização Mundial da Saúde (OMS) no enfrentamento da pandemia, nas recomendações de uso de máscaras e na escassez de produtos, bem como nas normas de fabricação desses itens e na poluição causada pelos resíduos plásticos, incluindo os microplásticos. Por fim, são abordadas as perspectivas futuras relacionadas às máscaras, respiradores e outros EPIs plásticos, destacando a importância de medidas urgentes, como a conscientização pública, a redução do uso de plásticos descartáveis, o desenvolvimento de alternativas sustentáveis e a implementação de políticas eficientes de gestão de resíduos. A conclusão ressalta a necessidade de envolvimento da OMS, governos, fabricantes e instituições normatizadoras para promover a sustentabilidade nesse setor e proteger tanto a saúde pública quanto o meio ambiente.

Palavras-Chave: Máscaras, Resíduos Plásticos, Poluição Ambiental, OMS, COVID-19.

ABSTRACT

This work addresses the issues related to plastic waste, especially those originating from medical devices and personal protective equipment (PPE), such as masks and respirators used during the COVID-19 pandemic, and their impact on wildlife, human health, and biodiversity. The main objective of the research is to shed light on the environmental risks of improper disposal of these wastes. The adopted methodology consists of a comprehensive literature review, focusing on the leadership of the World Health Organization (WHO) in tackling the pandemic, recommendations on mask usage and product scarcity, manufacturing standards for these items, and pollution caused by plastic waste, including microplastics. Finally, the future perspectives concerning masks, respirators, and other plastic PPE are discussed, emphasizing the importance of urgent measures such as public awareness, reduction in the use of disposable plastics, development of sustainable alternatives, and implementation of effective waste management policies. The conclusion highlights the need for involvement from the WHO, governments, manufacturers, and standardizing institutions to promote sustainability in this sector and protect both public health and the environment.

Keywords: Masks, Plastic Waste, Environmental Pollution, WHO, COVID-19

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo geral:	3
2.2. Objetivos Específicos:.....	3
3. Metodologia.....	4
4. Revisão Bibliográfica.....	6
4.1. A liderança da Organização Mundial da Saúde (OMS) na Covid-19	6
4.2. Uso de máscaras recomendado pela OMS e a escassez de produtos.....	7
4.3. Um olhar para as normas de fabricação das máscaras e respiradores ...	13
5. Resultados e Discussões.....	17
5.1. Poluição por resíduos plásticos e microplásticos	17
5.2. Estudo de Caso: monitoramento da poluição por máscaras no litoral de São Paulo.....	22
5.3. Alternativas de materiais para máscaras e respiradores.....	25
6. Conclusões	31
7. Referências	33

1. Introdução

A pandemia de Covid-19 representou um dos mais desafiadores problemas globais da atualidade, tendo demandado de governos e sociedades a adoção de medidas extremas para mitigar sua disseminação, como a imposição de quarentenas, o fechamento de escolas, comércios e empresas, restrições de viagem e lockdown. Como consequência dessas medidas, a economia global, as formas de trabalho, estudo e relacionamento foram profundamente impactadas. No entanto, o impacto mais preocupante e significativo foi o número de vidas afetadas e perdidas em decorrência da doença.

Neste estudo analisou-se os impactos através dos dados atualizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) até o dia 29 de março de 2023. Estes reportam que em todo o mundo soma-se 761.402.202 de casos confirmados e que resultaram em 6.000.887 de mortes. E nesse contexto, o Brasil é o sexto país mais afetado pela pandemia em número de casos com 37.204.677, e o segundo em número de mortes confirmadas com 699.917 que foram a óbito (OMS, 2023a, 2023b).

A pandemia de Covid-19 foi causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, identificado pela primeira vez em Wuhan, China, em 2019 (OPAS/OMS AMÉRICAS, 2023), durante a escrita desse trabalho a OMS (2023) declarou o fim da emergência de saúde global e a transição para uma gestão de longo prazo da doença tendo em vista o Plano Estratégico 2023-2025. O fim do estado de emergência foi devido a tendência decrescente nas mortes por COVID-19, o declínio nas hospitalizações relacionadas ao COVID-19, além das reduções de internações em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e os altos níveis de imunidade da população ao SARS-CoV-2 em virtude da vacinação. No entanto, há incertezas e riscos remanescentes devido à evolução potencial do SARS-CoV-2.

O vírus é altamente contagioso e transmitido por meio de gotículas respiratórias de uma pessoa infectada ao tossir, espirrar ou falar. A doença apresenta vários sintomas, que variam de leves a graves, incluindo febre, tosse, falta de ar, fadiga e dor de cabeça. Em casos graves, pode levar à pneumonia, insuficiência respiratória e morte. Para conter a disseminação do vírus, foi e continua sendo de extrema importância o uso de máscaras e respiradores semifaciais, principalmente por infectados e por profissionais da saúde (CHAVEZ-RUIZ *et al.*, 2021; JACQUES *et al.*, 2022; OMS, 2020j).

As máscaras e respiradores são capazes de filtrar partículas micrométricas, com alta eficiência, incluindo as que carregam o vírus. Ao usá-las, as pessoas infectadas podem reduzir a quantidade de gotículas que são expelidas no ar ao tossir, espirrar ou falar, o que ajuda a diminuir a transmissão do vírus. Além disso, as máscaras podem ajudar a proteger as pessoas não infectadas, impedindo que elas respirem as partículas que carregam o vírus (ARIAS-URIBE, J.I., 2021; ROYO-BORDONADA *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2021b).

Dessa forma a pandemia de Covid-19 resultou em uma demanda sem precedentes por máscaras e respiradores em todo o mundo, e a capacidade de produção desses equipamentos foi forçada a se expandir, de inúmeros modelos, materiais e composições. resultando no aumento do volume de resíduos gerados por esses itens, levando a desafios de gerenciamento dos resíduos e saneamento, já que ao ser feito de maneira inadequada pode levar a diversos impactos ambientais e riscos para a saúde (CELIS *et al.*, 2021; PATRÍCIO S. *et al.*, 2021).

Este trabalho apresentará uma visão do uso de máscaras e respiradores descartáveis como uma das principais ferramentas na prevenção da Covid-19, ocasionando o descarte e a destinação inadequada promoveu impactos nos resíduos de serviço da saúde (RSS) e nos resíduos sólidos urbanos (RSU) promovendo a poluição ambiental. Dessa forma, serão expostos os riscos e impactos ambientais que podem levar à poluição ambiental, envolvidos com o descarte e gerenciamento desse resíduo plástico e possivelmente infectante.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Compreender os impactos ambientais e os riscos associados ao descarte de máscaras e respiradores semifaciais na prevenção da Covid-19 como resíduos plásticos, e possivelmente infectantes.

2.2. Objetivos Específicos

- Compreender os impactos ambientais e os riscos associados à geração e descarte desses resíduos plásticos, incluindo a poluição do solo, água e ar, bem como a contaminação de animais marinhos, terrestres e a vida humana;
- Identificar as medidas de prevenção indicadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) da Covid-19, buscar documentos e informações sobre máscaras e respiradores semifaciais, além de recomendações de uso e instruções de descarte;
- Investigar alternativas para reduzir os impactos da fabricação e uso de máscaras e respiradores semifaciais, através de novas tecnologias e matérias-primas;

3. Metodologia

A pandemia de covid-19 levou o autor a entrar em contato com uma variedade de artigos científicos, normas, recomendações e políticas públicas relacionados ao uso de máscaras e respiradores. Assim, ao registrar esses processos metodológicos e somada as elucidações sobre o processo de pesquisa bibliográfica por Lima e Miotto (2007) e Minayo (1994), foram percebidas, portanto, duas dúvidas principais que orientam essa jornada de pesquisa, sendo: Qual foi a relevância do uso de máscaras e respiradores na prevenção da Covid-19? Quais os impactos e riscos ambientais pela fabricação e geração desses resíduos plásticos?

Com o objetivo de aprofundar a compreensão das questões abordadas e produzir um trabalho consistente, foram adotados como procedimentos metodológicos a pesquisa bibliográfica e documental de natureza qualitativa. Essa abordagem metodológica permitiu análise cuidadosa e crítica das fontes selecionadas, contribuindo para a obtenção dos resultados. A revisão bibliográfica foi dividida em três categorias de fontes e tipos de estudos realizados:

- I) pesquisa bibliográfica de artigos científicos publicados em revistas e periódicos científicos;
- II) pesquisa documental de normas técnicas para fabricação e testes de máscaras e respiradores;
- III) pesquisa documental de recomendações e relatórios divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Para a realização deste trabalho foram utilizados foram lidos cerca de 54 artigos científicos para essa pesquisa bibliográfica com o tema relacionado com os objetos de estudos, como: máscaras, respiradores, resíduos e a pandemia de Covid-19. Para contextualizar os artigos selecionados nota-se que as publicações são recentes e apenas três artigos selecionados são anteriores à pandemia de covid-19. Os outros 51 artigos são do período de abril de 2020 até março de 2023. Os artigos foram encontrados em diversas bases de dados e portal de periódicos, tais como CAPES, PubMed, Virtual Health Library (VHS), Scielo, Elsevier e ScienceDirect.

A busca bibliográfica iniciou-se em agosto de 2021 com o projeto do trabalho de conclusão de curso, e inclui documentos e artigos publicados até março de 2023, utilizando as seguintes palavras-chave em português: "máscaras descartáveis", "respiradores semifaciais", "pandemia", "Covid-19", "resíduos plásticos", "resíduos da saúde". Além, das palavras-chaves em inglês: "facemask", "disposable masks", "respirators", "pandemic", "Covid-19", "plastic

waste", "healthcare waste". Foram utilizados os operadores booleanos "AND" para combinar as palavras-chave e otimizar a busca de pesquisas relevantes.

A OMS foi uma das principais fontes de informação sobre a pandemia, fornecendo diretrizes e recomendações para prevenção e controle de infecções. Foram selecionados cerca de 40 documentos, sendo 35 escritos em inglês e 5 em português, no período de 2020 a 2023. Os documentos e recomendações divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) durante a pandemia de COVID-19 foram encontrados no site oficial da organização (<https://www.who.int/publications>). Essa fonte de informação foi fundamental para a pesquisa documental realizada neste trabalho, permitindo o acesso a uma ampla variedade de documentos e orientações da OMS sobre a pandemia de covid-19. A facilidade de acesso aos documentos também foi um fator importante, tornando possível a busca e seleção dos documentos relevantes de forma rápida e eficiente.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. A liderança da Organização Mundial da Saúde (OMS) na Covid-19

A Organização Mundial da Saúde (OMS) desempenhou um papel de liderança global na resposta à pandemia de Covid-19, a qual forneceu orientação técnica e científica aos países, coordenou a cooperação internacional e promoveu a pesquisa e o desenvolvimento de vacinas e tratamentos.

A OMS ainda trabalhou em estreita colaboração com as autoridades de saúde em todo o mundo para monitorar a propagação da doença e fornecer informações atualizadas e precisas sobre as medidas de prevenção e controle. A organização também ajudou a coordenar a distribuição de equipamentos de proteção individual e outros suprimentos médicos essenciais para os países em necessidade.

Esse papel de liderança e coordenação na área da saúde pela OMS se dá pois é uma agência especializada das Nações Unidas (ONU) que tem como objetivo promover a saúde em todo o mundo. Fundada em 7 de abril de 1948, sendo composta por 194 países membros e dois membros associados, o que representa todos os países do mundo incluídos na organização. Sua sede está localizada em Genebra, na Suíça. Atua em várias áreas da saúde, incluindo controle e prevenção de doenças, nutrição, saúde materno-infantil, segurança alimentar, saúde ambiental, saúde mental, entre outras. Além disso, a organização desempenha um papel fundamental na coordenação de respostas globais a emergências de saúde, como epidemias e pandemias.

No dia 30 de janeiro de 2020 o novo surto de doença causada pelo vírus 2019-nCoV foi classificada como uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) pela OMS (OPAS, 2020). Anteriormente, apenas cinco vezes havia sido declarada e classificado uma doença como ESPII. É importante destacar que essa designação é uma medida preventiva que permite à OMS coordenar e liderar a resposta global em casos de surtos e epidemias que possam se espalhar internacionalmente. A declaração da ESPII não significa que um evento seja mais perigoso ou letal do que outro, mas sim que existe uma necessidade de coordenação internacional para a resposta e prevenção da disseminação global da doença em questão.

Além disso, essa classificação é feita conforme o Regulamento Sanitário Internacional (RSI) de 2005, sendo então o coronavírus a sexta doença com esse grau de risco e relevância, sendo as anteriores listadas a seguir (OPAS, 2021):

- 25 de abril de 2009: pandemia de H1N1 (gripe suína);
- 5 de maio de 2014: disseminação internacional de poliovírus;
- 8 de agosto de 2014: surto de ebola na África Ocidental;
- 1 de fevereiro de 2016: epidemia de Zika vírus;
- 18 de maio de 2018: surto de ebola na República Democrática do Congo; e
- 30 de janeiro de 2020: pandemia de coronavírus;

Vale ressaltar que o RSI é um acordo internacional elaborado pela OMS com um conjunto de regras e procedimentos que têm como objetivo ajudar a detectar, avaliar e responder a ameaças à saúde pública que possam se espalhar além das fronteiras nacionais. O RSI foi publicado pela primeira vez em 1969 e passou por uma revisão completa em 2005, quando foi adotada a sua terceira edição.

Outra questão importante para compreensão da OMS e sua atuação global, é a subdivisão em seis regiões administrativas. Cada região é responsável por coordenar as atividades de saúde pública em sua área geográfica, apoiar os países membros em suas prioridades de saúde e fornecer assistência técnica e apoio aos países em emergências de saúde pública. As regiões trabalham em estreita colaboração com a sede da OMS em Genebra, para garantir que as políticas e práticas de saúde sejam coordenadas em todo o mundo e que as melhores práticas sejam compartilhadas entre os países.

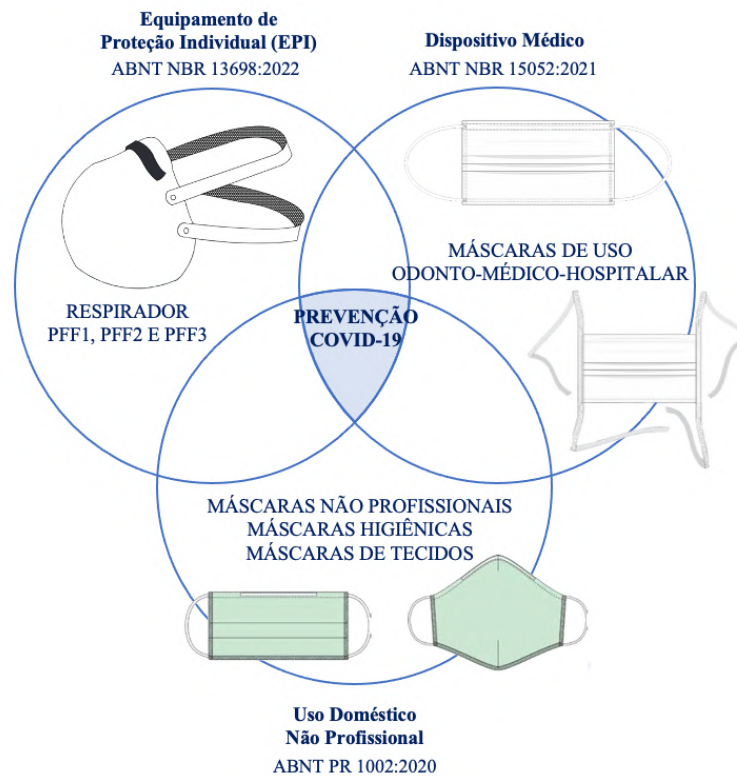
Cada região é liderada por um Diretor Regional, eleito pelos Estados Membros da região além de possuir seu próprio site com informações específicas para a região e em vários idiomas locais. Esses sites fornecem informações sobre questões de saúde específicas para a região, dados epidemiológicos, recursos e informações sobre as atividades da OMS na região.

4.2. Uso de máscaras recomendado pela OMS e a escassez de produtos

Com essa estrutura organizacional e renome histórico a OMS elencou as máscaras, como parte essencial de um conjunto abrangente de medidas de prevenção e controle para limitar a propagação do SARS-CoV-2. Ao buscar reduzir a transmissão comunitária e mitigar o impacto dos surtos de COVID-19 nos serviços de saúde e nos serviços sociais, as políticas que promovem o uso de máscaras foram incluídas junto à outras medidas preventivas para reduzir a transmissão, como o distanciamento físico, a ventilação adequada, a higiene das mãos, a etiqueta respiratória e a vacinação.

O uso de máscaras e respiradores faz parte das medidas de prevenção e controle de infecções (IPC), recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), para uso da população em geral (Figura 1)

Figura 1 – Máscaras e respiradores adotados no Brasil na pandemia Covid-19



Fonte: Autoria Própria

No dia 29 de janeiro de 2020 foi publicado o primeiro documento sobre o uso de máscaras para prevenir a infecção pelo coronavírus pela OMS, seguida por mais 4 atualizações ainda em 2020 (OMS, 2020a, 2020f, 2020j, 2020n, 2020p), listadas a seguir com o título original:

- Advice on the use of masks in the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak: interim guidance, 29 January 2020;
- Advice on the use of masks in the community, during home care, and in health care settings in the context of COVID-19: interim guidance, 19 March 2020;
- Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 06 April 2020;

- Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 05 June 2020;
- Mask use in the context of COVID-19: interim guidance, 1 December 2020;

Esses documentos foram as orientações emitidas pela OMS que abordaram o uso de máscaras em diferentes contextos durante a pandemia do COVID-19. O primeiro documento, datado de 29 de janeiro de 2020, foi emitido no início do surto do novo coronavírus (2019-nCoV) e forneceu orientações preliminares sobre o uso de máscaras na comunidade, durante o atendimento domiciliar e em ambientes de saúde. O segundo documento, de 19 de março de 2020, foi uma atualização das orientações anteriores e incluiu recomendações adicionais para o uso de máscaras durante o cuidado domiciliar e em ambientes de saúde no contexto específico da COVID-19. Os documentos subsequentes, de 6 de abril de 2020 e 5 de junho de 2020, continuaram a fornecer orientações atualizadas sobre o uso de máscaras, levando em consideração as evoluções da pandemia e novas evidências disponíveis. Por fim, o quinto documento, datado de 1º de dezembro de 2020, ofereceu diretrizes intermediárias sobre o uso de máscaras no contexto do COVID-19, incorporando aprendizados acumulados ao longo do ano.

Além disso, forneceram orientações sobre o uso correto e o descarte adequado de máscaras no contexto da pandemia do COVID-19. Embora cada documento possa ter variações nas recomendações específicas, geralmente eles abordaram os seguintes aspectos:

- **Uso correto da máscara:** Os documentos descreveram a forma correta de usar máscara, incluindo a cobertura adequada do nariz, boca e queixo, garantindo ajuste adequado ao rosto e evitando tocar na máscara durante o uso. Eles também ressaltam a importância de combinar o uso de máscaras com outras medidas de prevenção, como distanciamento físico e higiene das mãos.
- **Tipos de máscaras recomendadas:** Os documentos forneceram informações sobre os diferentes tipos de máscaras e suas características, fazendo distinções entre máscaras médicas, como as máscaras cirúrgicas, e máscaras não médicas, como as máscaras de tecido. Além disso, abordaram o uso de respiradores (EPI), como as N95 e equivalentes, em ambientes de saúde ou situações de maior risco.
- **Descarte adequado das máscaras:** Os documentos orientaram sobre como descartar as máscaras de forma segura e higiênica. Isso pode incluir instruções para remover a máscara pelo elástico ou alças, evitando tocar na parte frontal, e descartá-la em lixeira

fechada e dentro de saco plástico. Também enfatizaram a importância de não reutilizar máscaras descartáveis e de substituí-las regularmente.

- **Higienização das máscaras de tecido:** Quando se tratava de máscaras de tecido reutilizáveis, os documentos forneceram orientações sobre a lavagem e a higienização adequada dessas máscaras, incluindo instruções sobre o uso de sabão comum ou detergentes para lavar as máscaras e a importância de secá-las completamente antes de reutilizá-las.

Grupo de Desenvolvimento de Orientações para Prevenção e Controle de Infecção por COVID-19, que tem como sigla COVID-19 IPC GDG da OMS considerou todas as evidências disponíveis sobre os modos de transmissão do vírus COVID-19 e sobre o uso de máscaras médicas versus respiradores para proteger os profissionais de saúde contra infecções. Foram considerados o nível de certeza das evidências, bem como os benefícios e danos potenciais, como o desenvolvimento de lesões na pele do rosto, dermatite irritante ou agravamento da acne, ou dificuldades respiratórias que são mais frequentes com os respiradores(OMS, 2020a).

O GDG também levou em consideração as implicações de manter ou alterar as recomendações atuais em termos de disponibilidade de máscaras médicas versus respiradores, custo e questões de aquisição, viabilidade e equidade de acesso a essas proteções respiratórias por profissionais de saúde ao redor do mundo. O GDG reconheceu que, em geral, os profissionais de saúde têm fortes preferências em relação à maior proteção percebida possível para evitar a infecção por COVID-19 e, portanto, atribuem alto valor aos benefícios potenciais dos respiradores em locais sem procedimentos geradores de aerossóis, em inglês aerosol generating procedures (AGP), apesar da demonstração de equivalência de eficácia em comparação com as máscaras médicas em alguns estudos e baixa certeza das evidências que sugerem maior redução de risco (OMS, 2020k).

Na ausência de AGPs, a OMS recomenda que os profissionais de saúde que prestam cuidados diretos a pacientes com COVID-19 usem uma máscara médica (além de outros EPIs que fazem parte das precauções por gotículas e contato); em ambientes de cuidados para pacientes com COVID-19 onde AGPs são realizadas (por exemplo, unidades de terapia intensiva e semi-intensiva para COVID-19), a OMS recomenda que os profissionais de saúde usem um respirador (N95 ou FFP2 ou FFP3, ou equivalente). Os respiradores são recomendados para locais onde AGPs são realizadas (OMS, 2020k).

Além disso, foi recomendada a máscara universal em instalações de saúde, que é definida como a exigência de usar máscara por todos os profissionais de saúde e qualquer pessoa que entre na instalação, não importando quais atividades sejam realizadas. O uso contínuo direcionado de máscaras médicas é definido aqui como a prática de usar uma máscara médica por todos os profissionais de saúde e cuidadores que trabalham em áreas clínicas durante todas as atividades de rotina ao longo de todo o turno. Nesse contexto, as máscaras só são trocadas se ficarem sujas, molhadas, danificadas ou se o profissional de saúde/cuidador remover a máscara, por exemplo ao comer, beber ou cuidar de um paciente que requer precauções por gotículas/contato por outros motivos (OMS, 2020k).

Devido essas recomendações e ao contexto geral de uso e demanda por máscaras e respiradores, em simultâneo aos últimos documentos apresentados a OMS também emitiu documentos sobre o uso racional de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) durante a pandemia de COVID-19. Essas diretrizes forneceram recomendações atualizadas e considerações específicas para garantir o uso adequado e eficiente dos EPIs, levando em conta a disponibilidade limitada desses equipamentos em momentos de crise. A lista de documentos inclui orientações emitidas em diferentes datas, abrangendo desde fevereiro de 2020 até dezembro de 2020 (OMS, 2020c, 2020g, 2020k, 2020r), conforme pode Figura 3.

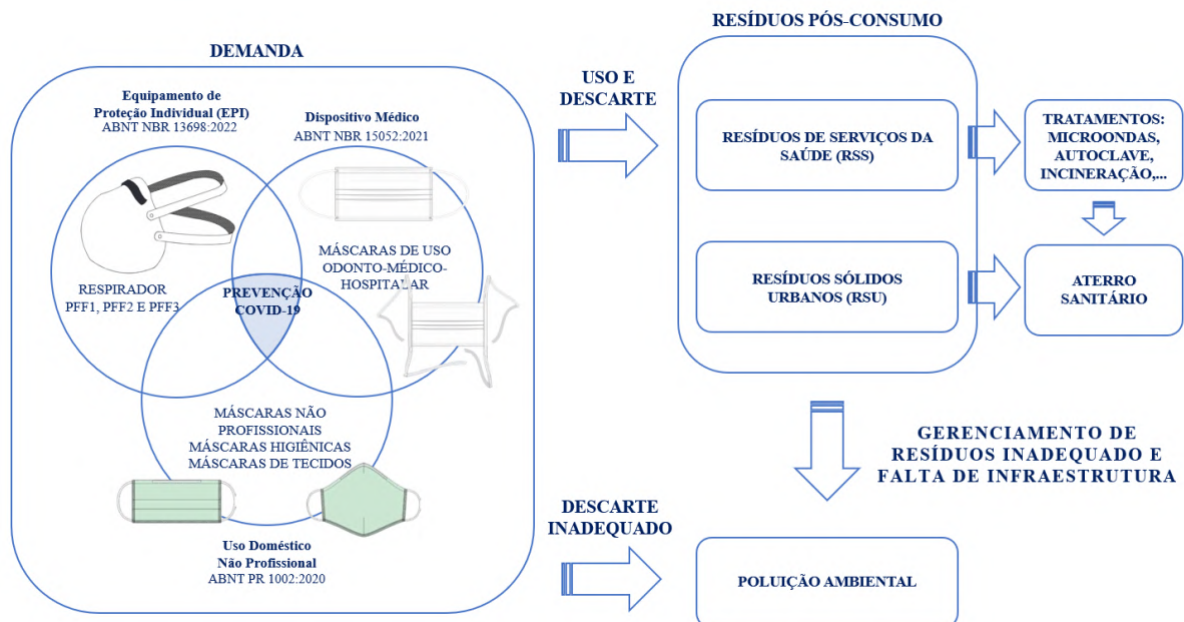
- Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 27 February 2020;
- Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020
- Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: interim guidance, 06 April 2020;
- Rational use of personal protective equipment for COVID-19 and considerations during severe shortages: interim guidance, 23 December 2020;

Esses documentos são orientações intermediárias emitidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre o uso racional de equipamentos de proteção individual (EPIs) durante a pandemia de COVID-19, inclusive máscaras e respiradores. O primeiro documento, datado de 27 de fevereiro de 2020 (OMS, 2020b), forneceu diretrizes preliminares sobre o uso adequado de EPIs para a prevenção e controle da COVID-19. O segundo documento, de 19 de março de

2020 (OMS, 2020e), atualizou as orientações anteriores e ofereceu recomendações adicionais para o uso racional de EPIs durante a pandemia. O terceiro e quarto documentos, de 6 de abril de 2020 e 23 de dezembro de 2020 (OMS, 2020h, 2020n), respectivamente, abordaram especificamente as considerações a serem levadas em conta durante a escassez severa de EPIs. Essas orientações visaram garantir o uso apropriado e eficiente dos EPIs, levando em consideração a disponibilidade limitada desses equipamentos em momentos de crise.

Além disso, a OMS também publicou documentos com o título ‘Water, sanitation, hygiene and waste management for COVID-19’ (OMS, 2020c, 2020f, 2020i, 2020l), que contemplaram o tema de interesse para esse trabalho, com explicações sobre o gerenciamento de resíduos. Em que a gestão segura de resíduos de saúde é altamente recomendada, seguindo as melhores práticas estabelecidas. Isso inclui designar responsabilidade e fornecer recursos humanos e materiais adequados para o descarte seguro desses resíduos. Portanto, é fundamental coletar os resíduos gerados durante o cuidado de pacientes com COVID-19 em recipientes e sacos designados, garantindo seu tratamento adequado. Caso haja necessidade de transporte para fora do local, é essencial compreender completamente os procedimentos de tratamento e destruição dos resíduos, visando a proteção de saúde pública e do meio ambiente (Figura 2).

Figura 2 – Esquema do uso de máscaras e destino final



Fonte: autor

Todos os profissionais responsáveis pelo manuseio dos resíduos de saúde devem utilizar Equipamentos de Proteção Individual (EPI) apropriados, como botas, avental, jaleco de

mangas compridas, luvas espessas, máscara e óculos ou protetor facial. Além disso, é essencial que realizem a higiene das mãos de forma adequada após a remoção dos EPIs. É recomendado consultar a orientação da OMS sobre a gestão segura de resíduos das atividades de saúde para obter informações mais detalhadas e específicas.

Os documentos mencionados abordam questões relacionadas à água, saneamento, higiene e gestão de resíduos no contexto da pandemia do COVID-19. Cada documento forneceu orientações e diretrizes específicas para lidar com essas questões, mas com algumas diferenças em suas abordagens. O primeiro documento, publicado em 3 de março de 2020 (OMS, 2020c), foi uma breve descrição técnica que destacou a importância da água, saneamento, higiene e gestão de resíduos no contexto do COVID-19. Ele ofereceu uma visão geral preliminar desses aspectos e ressaltou sua relevância para a prevenção da propagação do vírus.

Os documentos subsequentes, datados de 19 de março de 2020, 23 de abril de 2020 e 29 de julho de 2020 (OMS, 2020f, 2020i, 2020l), foram orientações intermediárias que forneceram informações mais detalhadas e atualizadas. Eles abordaram especificamente a relação entre água, saneamento, higiene e gestão de resíduos no contexto do COVID-19. Essas orientações eram revisadas periodicamente para incorporar o conhecimento científico mais recente e fornecer diretrizes atualizadas para profissionais de saúde, autoridades responsáveis e comunidades.

Dentre todas as recomendações da OMS no período da pandemia, foi notório e essencial o uso de máscaras como medida de prevenção. Essas máscaras, confeccionadas com diferentes materiais, desempenharam um papel crucial na proteção contra a propagação do vírus, sendo o plástico um dos materiais amplamente utilizado. O uso contínuo e direcionado de máscaras médicas por profissionais de saúde e cuidadores, juntamente com outras medidas de precaução, contribuiu para reduzir o risco de infecção pelo COVID-19, garantindo a segurança tanto dos profissionais de saúde quanto daqueles que buscavam cuidados médicos.

4.3. Um olhar para as normas de fabricação das máscaras e respiradores

Há diferentes tipos, modelos e finalidades de máscara e respirador. Para exemplificar, na Figura 3, pode-se elencar como uso não profissional as máscaras higiênicas e de tecidos não médicos. Já as máscaras de uso odonto-médico-hospitalar, internacionalmente chamadas de cirúrgicas, são dispositivos para área da saúde e usam de tecnologias filtrantes para oferecer segurança para usos médicos. Por fim, as peças semifaciais filtrantes para partículas, conhecidas

como respiradores Peças Faciais Filtrantes (PFF), são utilizadas para proteger o usuário contra partículas suspensas no ar, incluindo aerossóis que possam conter agentes infecciosos, sendo o mais recomendado contra o coronavírus para exposição de alto risco. Além disso, as PFF são utilizadas amplamente como equipamento de proteção individual (EPI) pela indústria para a proteção contra material particulado, químicos e óleos (ABNT, 2017, 2020, 2021, 2022).

Figura 3: Tipos de Máscaras e Respiradores



Fonte: Traduzido e Adaptado de IFC (2022)

A ABNT NBR 13698 (2022) estabelece os critérios técnicos para o desempenho e os requisitos mínimos de projeto, fabricação, rotulagem e ensaios desses respiradores. Ela também define diferentes classes de eficiência de filtração, como PFF1, PFF2 e PFF3, baseadas na capacidade de filtragem das partículas. Além disso, a ABNT NBR 12543 (2017), outra norma brasileira, classifica os equipamentos de proteção respiratória, que incluem respiradores semifaciais tipo PFF, de acordo com seu desempenho, proporcionando diretrizes para a seleção adequada e o uso seguro desses equipamentos. Essas normas são essenciais para garantir a qualidade e a eficiência das máscaras faciais no contexto brasileiro, tanto antes da pandemia, quanto atualmente.

Já a ABNT NBR 15052 (2021) aborda as máscaras de uso odonto-médico-hospitalar. Essas máscaras são destinadas ao uso em ambientes de assistência à saúde, como clínicas, hospitais e consultórios, para proteger tanto do profissional da saúde quanto do paciente de gotículas respiratórias e aerossóis presentes no ar. Essa norma estabelece os requisitos mínimos de design, fabricação, desempenho, rotulagem e ensaios das máscaras odonto-médico-hospitalares. Ela inclui critérios relacionados à eficiência de filtração bacteriana, respirabilidade, resistência a fluidos e ajuste adequado no rosto. Essa norma é uma atualização pós pandemia da norma anterior, a ABNT NBR 15052 (2004).

No contexto da pandemia, deve-se ressaltar também a publicação da norma provisória ABNT PR 1002 (2020) que fornece um guia de requisitos básicos para métodos de ensaio,

fabricação e uso de máscaras de proteção respiratória para uso não profissional, as máscaras de tecidos.

Em todo o mundo há normas e especificações que regulamentam o uso e desempenho de máscaras faciais em diferentes contextos. A norma ASTM F2100 (2023) é amplamente utilizada em diversos países para estabelecer especificações de desempenho em máscaras faciais médicas. Abordam aspectos como resistência à penetração de fluidos, eficiência de filtração bacteriana, respirabilidade e resistência a respingos, parâmetros importantes para garantir que as máscaras ofereçam uma barreira adequada contra a transmissão de patógenos e fluidos corporais, protegendo tanto os profissionais de saúde quanto os pacientes.

A norma EN 14683 (2019), por sua vez, é uma norma europeia que define requisitos e métodos de teste para máscaras faciais médicas, sendo adotada na União Europeia e em outros países que seguem padrões europeus. Essas normas são reconhecidas internacionalmente e desempenham papel importante na garantia da qualidade e segurança das máscaras faciais em seus respectivos contextos de aplicação.

As máscaras e respiradores fabricados com Tecido Não Tecido (TNT) de polipropileno são amplamente utilizados devido às suas características físico-químicas. O TNT de polipropileno é um material composto por fibras sintéticas interligadas, formando uma estrutura porosa. Essa estrutura permite a passagem do ar, tornando a máscara ou respirador respirável. Além disso, as fibras de polipropileno são capazes de reter partículas e gotículas, atuando como uma barreira eficaz contra a transmissão de agentes infecciosos. A composição do polipropileno confere às máscaras e respiradores propriedades hidrofóbicas, ou seja, eles têm pouca afinidade com a água, o que os torna resistentes a respingos e fluidos, característica particularmente importante em ambientes médicos e hospitalares, onde pode haver exposição a fluidos contaminados.

As normas mencionadas anteriormente, como a ABNT NBR 15052 (2021) e a EN 14683 (2019) o TNT e o Meltblown (filtro) de polipropileno são os materiais comumente utilizados pela indústria na fabricação de máscaras e respiradores devido à disponibilidade de materiais, custos, regularidade de qualidade e desempenho. O polipropileno é um tipo de plástico amplamente empregado devido às suas propriedades favoráveis, como leveza, resistência, hidrofobicidade e capacidade de filtragem. Outras tecnologias e matérias-primas são empregadas na fabricação de máscaras e respiradores (ABNT, 2021), incluindo:

- **Elementos filtrantes:** As máscaras e respiradores geralmente possuem camadas de filtração que são projetadas para reter partículas e agentes infecciosos. Essas camadas podem ser compostas por diferentes materiais, como polipropileno meltblown, poliéster, celulose, entre outros.
- **Elásticos e fixadores:** Para garantir o ajuste adequado das máscaras e respiradores no rosto, são utilizados elásticos e fixadores. Esses componentes podem ser feitos de materiais como poliéster ou outros tecidos elásticos.
- **Clipe nasal:** Muitas máscaras faciais possuem um clipe nasal incorporado para permitir um ajuste firme ao redor do nariz. O clipe nasal pode ser feito de metal revestido ou plástico maleável.

Para garantir a qualidade, desempenho e segurança desses itens se determina também testes, requisitos e procedimentos para avaliar as máscaras e respiradores. Essas especificações são fundamentais para fornecer diretrizes claras aos fabricantes e usuários, contribuindo para a proteção respiratória de trabalhadores e na eficácia na prevenção da transmissão de doenças respiratórias, como a Covid-19.

Portanto, o uso de não tecido plásticos, como o polipropileno, na fabricação de máscaras e respiradores desempenham um papel crucial na definição dos materiais utilizados e na garantia da qualidade e segurança desses produtos. No entanto, esses materiais quando descartados de maneira inadequada, promovem poluição ambiental, portanto um desafio para encontrar alternativas que reduzam o impacto ambiental desses produtos.

A evolução dessas normas e a busca por novos materiais representam uma oportunidade para a indústria desenvolver máscaras e respiradores que atendam aos requisitos de desempenho e segurança, ao mesmo tempo em que consideram a sustentabilidade. Encontrar soluções inovadoras e sustentáveis é um objetivo importante para promover a saúde pública e mitigar os impactos ambientais causados pela produção e descarte desses produtos.

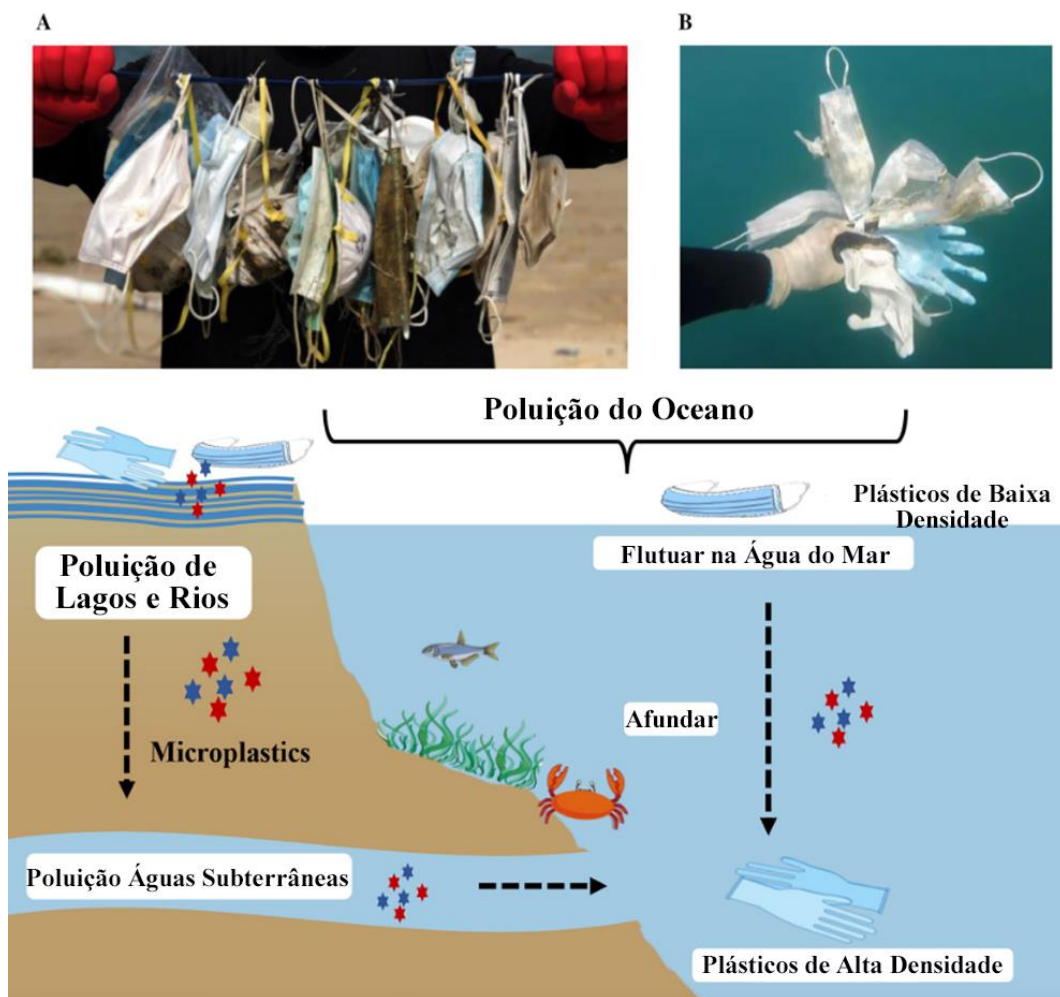
5. Resultados e Discussões

5.1. Poluição por resíduos plásticos e microplásticos

A pandemia da COVID-19 tornou os equipamentos de proteção uma fonte de poluição ainda mais relevante. Os equipamentos de proteção são compostos por diversos materiais plásticos, e as características desses materiais determinam o destino e a permanência dos mesmos no ambiente, seja terrestre, aquático lacustre e marinho.

Polímeros com alta densidade, como o tereftalato de polietileno (PET) e cloreto de polivinila (PVC), tendem a afundar no leito marinho, enquanto polímeros de baixa densidade, como as máscaras de polipropileno (PP) e itens de poliestireno (PS), podem flutuar na água do mar por um longo período, exemplificado na Figura 4. (YUAN *et al.*, 2021a; ZHANG *et al.*, 2021a; ZIANI *et al.*, 2023)

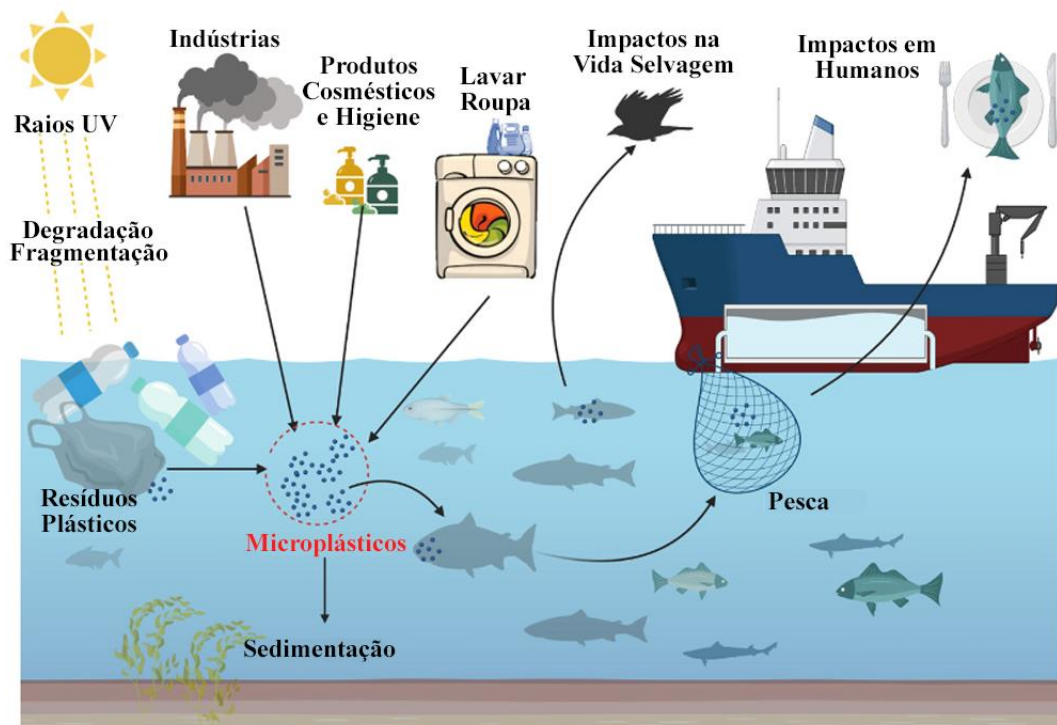
Figura 4: Máscaras e EPIs e a poluição no ambiente marinho



Fonte: Traduzido e Adaptado de Yang, S. *et al* (2022)

Os equipamentos de proteção relacionados à COVID-19 podem se fragmentar em uma enorme quantidade de microplásticos devido à radiação ultravioleta do sol e à ação das ondas, causando poluição quase permanente ao ambiente marinho e terrestre (BRADNEY *et al.*, 2019) exemplificado também pela Figura 5. Os microplásticos são considerados contaminantes emergentes devido à sua presença generalizada e aos potenciais impactos no meio ambiente e na saúde humana. Essas pequenas partículas de plástico, com tamanho inferior a 5 milímetros, podem ser encontradas em diferentes ambientes, como oceanos, rios, solos e até mesmo no ar. A contaminação por microplásticos ocorre principalmente devido à degradação de plásticos maiores, como garrafas e sacolas, que se fragmentam ao longo do tempo devido. (ZIANI *et al.*, 2023)

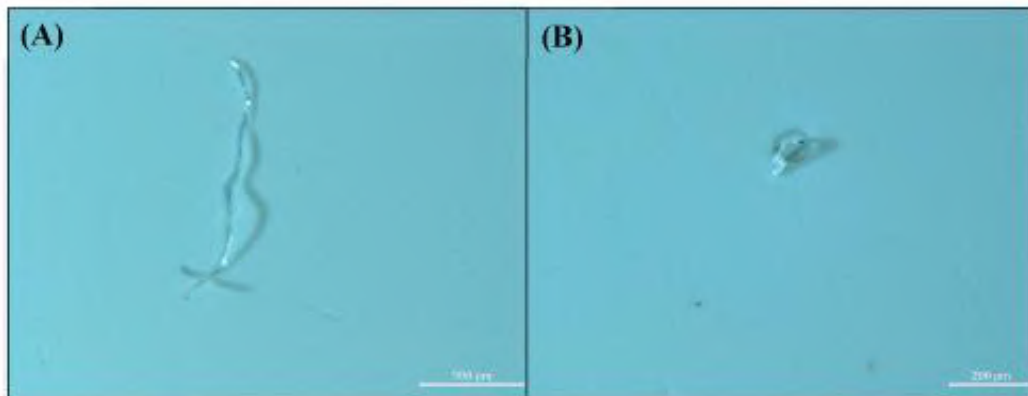
Figura 5: Resíduos plásticos e microplásticos no ambiente marinho



Fonte: Traduzido de ZIANI *et al.* (2023)

É importante ressaltar que o oceano é o grande receptor final de microplásticos e trilhões de partículas de nanoplásticos e microplásticos, variando de 5nm a 600µm, conforme apresentado por WANG *et al.* (2022a) (Figura 6), presentes nos oceanos do mundo, desde o Oceano Ártico até o gelo marinho da Antártica, das águas superficiais às profundezas do mar (BRADNEY *et al.*, 2019; SHAMS; ALAM; MAHBUB, 2021; WANG *et al.*, 2022a; ZHANG *et al.*, 2021a; ZIANI *et al.*, 2023).

Figura 6: Microfibras plásticas (A) e microplástico (B) proveniente de uma máscara nova



Fonte: WANG *et al.*, (2022a)

A poluição plástica nos oceanos pode ser atribuída principalmente ao grande volume de resíduos sólidos mal gerenciados provenientes do ambiente terrestre, que podem ser transportados por sistemas de água doce. As bacias hidrográficas de água doce são vias importantes para a poluição dos oceanos. A combinação da poluição por plásticos e acidificação dos oceanos representa grandes ameaças à biodiversidade. Além disso, os microplásticos associados a equipamentos de proteção podem servir como vetores para outros poluentes tóxicos, como metais pesados e diversos produtos químicos, aumentando sua biodisponibilidade (WANG *et al.*, 2022a; ZIANI *et al.*, 2023).

No que diz respeito aos efeitos na atmosfera, a produção e incineração de produtos plásticos emitem milhões de toneladas métricas de gases de efeito estufa. Além disso, os aterros sanitários e a incineração de resíduos de equipamentos de proteção podem liberar compostos nocivos, como dioxinas e furanos, poluindo o ar. Os microplásticos associados aos equipamentos de proteção também podem se fragmentar e persistir como microplásticos no ar, sendo transportados pela atmosfera (MA *et al.*, 2021; ZIANI *et al.*, 2023).

No contexto dos solos, muitos equipamentos de proteção, como máscaras e luvas, são descartados de forma inadequada, misturados com resíduos sólidos domésticos e jogados nas ruas, parques e estradas. Esses resíduos podem influenciar as propriedades do solo e entrar nos sistemas aquáticos, além de promover efeitos sobre os animais, o descarte incorreto de equipamentos de proteção está intensificando a poluição por plásticos e representando uma ameaça relevante para a vida selvagem por meio de aprisionamento, emaranhamento e ingestão. (BRADNEY *et al.*, 2019; KHOO *et al.*, 2021; PATRÍCIO SILVA *et al.*, 2021; SHAMS; ALAM; MAHBUB, 2021; YUAN *et al.*, 2021a; ZHANG *et al.*, 2021a).

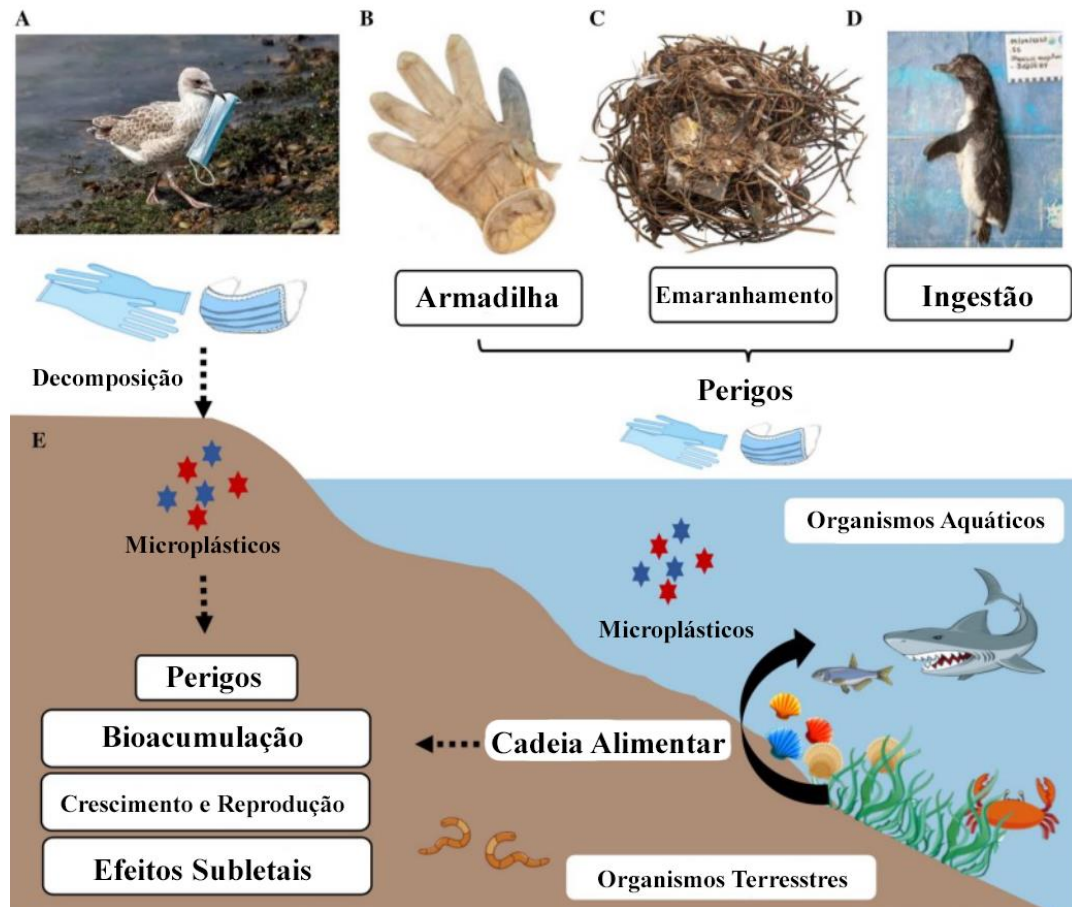
Animais expostos a resíduos de equipamentos de proteção por ingestão podem sofrer consequências negativas em sua aptidão, como restrição da atividade alimentar e alteração dos parâmetros químicos do sangue, resultando em declínio da biodiversidade. Da mesma forma, vários animais que se alimentam em aterros sanitários ingerirão alimentos junto com resíduos de equipamentos de proteção, causando efeitos agudos e crônicos. Além disso, os equipamentos de proteção também podem causar enredamentos que resultam em asfixia e morte, além de efeitos crônicos que enfraquecem a mobilidade e a capacidade de alimentação dos animais, levando à exaustão, estrangulamentos, infecções e ferimentos graves (SHAMS; ALAM; MAHBUB, 2021; YANG *et al.*, 2022c).

A primeira vítima dos resíduos da COVID-19 divulgado na comunidade científica foi um peixe aprisionado em uma luva de látex na Holanda, conforme item B na Figura 7. Diversas espécies selvagens estão em risco de enredamento em equipamentos de proteção da COVID-19, incluindo pássaros, peixes, ouriços, caranguejos e muitas outras espécies. Um pinguim foi encontrado morto na praia do Brasil, sendo o primeiro relato registrado de morte de animal marinho causada pela ingestão de equipamentos de proteção contra a COVID-19 (YANG *et al.*, 2022c).

Além do risco potencial de enredamento, emaranhamento e ingestão de resíduos de equipamentos de proteção, as interações dos animais com microplásticos provenientes desses resíduos também exigem muita atenção, conforme itens B, C e D da Figura 7, além do item E, que representa a interação do microplásticos que têm sido encontrados em diversos organismos aquáticos e terrestres. A interação entre microplásticos e microrganismos pode alterar a flora intestinal, reduzir a secreção de muco e induzir disbiose intestinal. Como a principal rota de entrada de microplásticos nos animais é sua fonte de alimento, os microplásticos podem se acumular nos organismos e se transferir para consumidores mais altos por meio da amplificação na cadeia alimentar, ameaçando, por fim, a saúde humana (YANG *et al.*, 2022b; ZIANI *et al.*, 2023).

A exposição humana aos microplásticos ocorre principalmente pela ingestão, sendo que a média global de ingestão semanal de microplásticos pode variar de 0,1 a 5g. Diversos tipos de microplásticos têm sido encontrados nas fezes de adultos, com destaque para o polipropileno (PP) e o tereftalato de polietileno (PET). Além de se acumularem no trato gastrointestinal, os microplásticos também podem ser distribuídos por outros órgãos, causando muitos outros riscos fisiológicos e até efeitos subletais (YANG *et al.*, 2022b).

Figura 7: (A) Pássaro com Máscara na Boca; (B) Peixe preso em luva; (C) Emaranhamento de Resíduos e Plantas; (D) Pinguim morto pela ingestão de



Fonte: Traduzido e Adaptado de Yang, S. *et al* (2022)

A inalação é outra rota de exposição aos microplásticos, quando presentes no ar são amplamente distribuídos na atmosfera, representando um risco potencial de exposição por inalação (MA *et al.*, 2021). Estudos mostram que os microplásticos inalados podem causar estresse oxidativo, inflamação, morte celular e danos à barreira epitelial, podendo levar ao desenvolvimento de doenças respiratórias, cardiovasculares e até câncer (BRADNEY *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2021a).

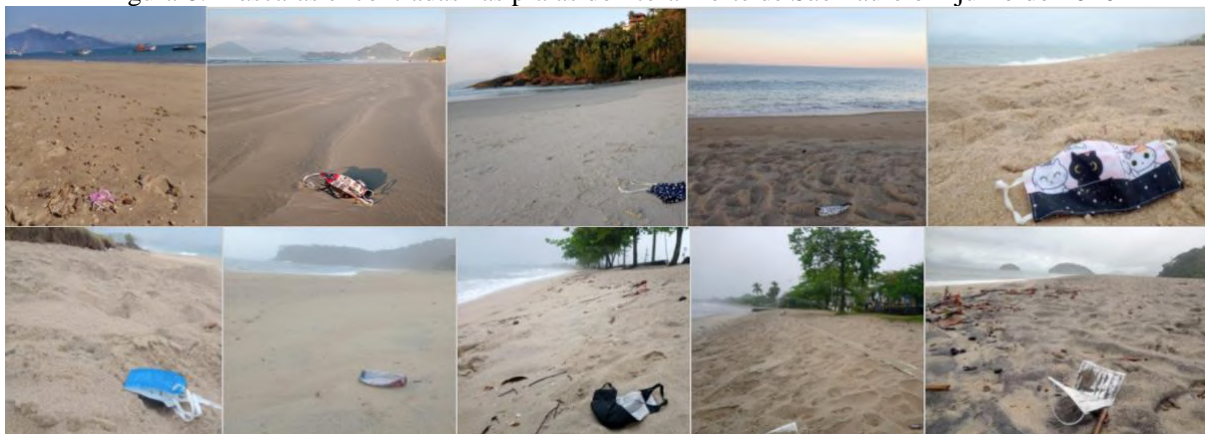
Desta forma, a ingestão e a inalação são rotas importantes de exposição humana aos microplásticos, liberados de muitos compostos, mas também dos resíduos de equipamentos de proteção que estão causando poluição ambiental. Os seres humanos são afetados pelos efeitos tóxicos dos microplásticos por meio de mecanismos como interação com a microbiota intestinal, estresse oxidativo e destruição da barreira epitelial. Além disso, a presença de vírus ou outros patógenos nos equipamentos de proteção também representa um risco adicional para a saúde humana.

5.2. Estudo de Caso: monitoramento da poluição por máscaras no litoral de São Paulo

O Instituto Argonauta é um dos responsáveis pelo Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (PMP-BS). O projeto abrange uma extensa área, do sul de Santa Catarina até Saquarema, no Rio de Janeiro, dividido em 15 trechos de aproximadamente 1500 km de costa, sendo realizado em conjunto com o Ibama, com a missão de avaliar os impactos das atividades de produção e escoamento de petróleo pela Petrobras e os possíveis efeitos prejudiciais sobre aves, tartarugas e mamíferos marinhos nessa região. O Instituto Argonauta monitora o Trecho 10, compreendido entre São Sebastião e Ubatuba, no litoral norte de São Paulo, com objetivo de monitorar as praias, prestar atendimento veterinário aos animais vivos e realizar necropsias nos animais encontrados mortos.

Durante o período de abril a julho de 2020, foram feitos os primeiros registros e indícios de poluição nas praias do litoral paulista, representados pelo aparecimento das primeiras 20 máscaras recolhidas e que algumas podem ser observadas na Figura 8.

Figura 8: Máscaras encontradas nas praias do litoral norte de São Paulo em julho de 2020



Fonte: Instituto Argonauta (2023)

Essa triste realidade continua sendo monitorada e contabilizada pelo Instituto Argonauta, uma organização que se dedica à conservação marinha e costeira. Entre 16 de abril de 2020 e 09 de março de 2023, o Projeto Lixo Marinho do Instituto Argonauta já registrou a presença de 1428 máscaras descartadas nas praias do Litoral Norte de São Paulo, abrangendo as cidades de Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba. Esses números representam e materializam a poluição ambiental. Sendo apenas uma amostra das máscaras que conseguiram ser encontradas e catalogadas pelo projeto conforme a Figura 9, publicada nas redes sociais do instituto (INSTITUTO ARGONAUTA, 2023).

Figura 9: Poluição ambiental - 1428 Máscaras encontradas nas praias do litoral norte de São Paulo



Fonte: Instituto Argonauta (2023)

Como explicado anteriormente o descarte incorreto desse tipo de resíduo pode impactar negativamente os animais marinhos, podendo levar à sua morte em casos mais graves. Um exemplo marcante é o caso de um Pinguim-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) encontrado morto, pelo instituto em setembro de 2020 na praia de Juquehy, em São Sebastião/SP, durante a necropsia realizada pela equipe PMP-BS do Instituto Argonauta (INSTITUTO ARGONAUTA, 2020b), foi constatado que no estômago da ave marinha havia uma máscara facial PFF2 que pode ser vista na Figura 10, que foi caso de grande repercussão internacional YANG *et al.* (2022).

Figura 10: Pinguim morto e máscara encontrada no estômago do Pinguim



Fonte: Instituto Argonauta (2023)

O Pinguim-de-Magalhães, uma espécie encontrada na Patagônia Argentina e Chilena e nas Ilhas Malvinas, é uma ave marinha adaptada para viver na água. Embora não seja capaz de voar, possui asas modificadas em nadadeiras. Durante a época não reprodutiva, entre abril e setembro, os pinguins se aventuram em busca de alimento, percorrendo longas distâncias,

alguns acabam chegando ao litoral sudeste do Brasil. Alimentam-se de peixes, cefalópodes e pequenos crustáceos. Nesse período, muitos desses animais são encontrados debilitados e necessitando de cuidados (INSTITUTO ARGONAUTA, 2020b).

O Projeto de Monitoramento de Praias (PMP-BS), coordenado pelo Instituto Argonauta, realizou necropsias em 5.056 animais marinhos entre setembro de 2015 e agosto de 2020. Deve-se ressaltar que o período em que houve a coletas desses dados não são resultantes da pandemia, mas que podem contribuir para contextualizar e alerta sobre a poluição oceânica que já era vivenciada antes da covid-19. Sendo assim, dentre eles os 5.056 animais, 756 apresentaram interação com lixo, sendo 596 tartarugas. Isso representa 15% dos animais necropsiados, com cerca de 80% de tartarugas com evidências da relação direta da vida marinha e a poluição (INSTITUTO ARGONAUTA, 2020c).

Somado a esse trabalho o Instituto Argonauta ainda recolheu cerca de 41 toneladas de lixo nas praias do Litoral Norte de 2016 a dezembro de 2022 (G1, 2022), esses dados também não estão relacionados apenas com a pandemia de covid-19, mas trazer informações sobre a poluição na areia das praias, tendo como resíduos mais coletados, os plásticos (70%), vidro (6%), metal (5%), papel/papelão (3%) e outros (16%). Embalagens, garrafas, copos descartáveis, canudos, tampas de garrafas, sacolas plásticas, bitucas de cigarro e maços de cigarro são os plásticos mais comuns (INSTITUTO ARGONAUTA, 2020c), evidenciando ainda mais a poluição ambiental por plásticos como um dos pontos de maiores riscos para a biodiversidade.

Dessa forma, o projeto coordenado pelo Instituto Argonauta, desempenha um papel fundamental na avaliação dos impactos, além das atividades de produção e escoamento de petróleo na região, trazendo importantes registros e dados para a comunidade. O monitoramento do Trecho 10, entre São Sebastião e Ubatuba, revelou registros alarmantes de poluição, representados pelo aparecimento de máscaras descartadas nas praias. O número de 1428 máscaras encontradas nas praias do Litoral Norte de São Paulo reflete a triste realidade da poluição ambiental. O descarte incorreto desses resíduos tem consequências graves para a vida marinha, como evidenciado pela descoberta de uma máscara no estômago de um Pinguim-de-Magalhães durante uma necropsia. Esses achados ressaltam a importância de práticas de descarte responsáveis e do engajamento contínuo na conservação marinha e costeira.

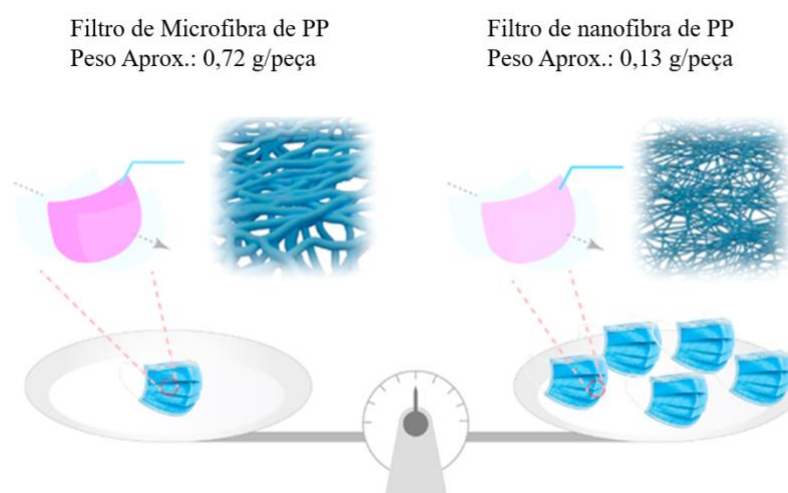
5.3. Alternativas de materiais para máscaras e respiradores

As tecnologias e a capacidade instalada de fabricação com material plástico para EPIs e dispositivos médicos são empregadas de forma global e dificilmente terá grandes mudanças durante essa década a partir da covid-19.

No entanto, é importante explorar e elencar possíveis alternativas aos nãotecidos plásticos, como o polipropileno, na fabricação de máscaras e respiradores, a fim de reduzir o impacto ambiental desses produtos que a humanidade é dependente. Uma alternativa promissora são as máscaras com tecnologia de nãotecidos com nanofibras, que têm a capacidade de reduzir o peso e a geração de resíduos.

De acordo com YANG *et al.* (2022a) o material principal para as máscaras faciais é a fibra de polipropileno fundido (PP), onde cada máscara facial descartável consome cerca de 0,7g de fibras de PP, resultando em um consumo e descarte global anual de mais de 1.150.000 toneladas de fibras de PP. Desenvolvida através da técnica de fusão assistida por laser (LAMB) para fabricar nanofibras, reduziu-se significativamente o peso do filtro. Demonstrou-se que uma máscara cirúrgica padrão pode ser feita com apenas 0,13g de nanofibras de PP ao invés de 0,70g da máscara convencional, economizando aproximadamente 80% dos materiais de PP usados em máscaras faciais comerciais, sendo observada na Figura 11.

Figura 11: esquema diferença de peso de máscaras de microfibras vs nanofibras



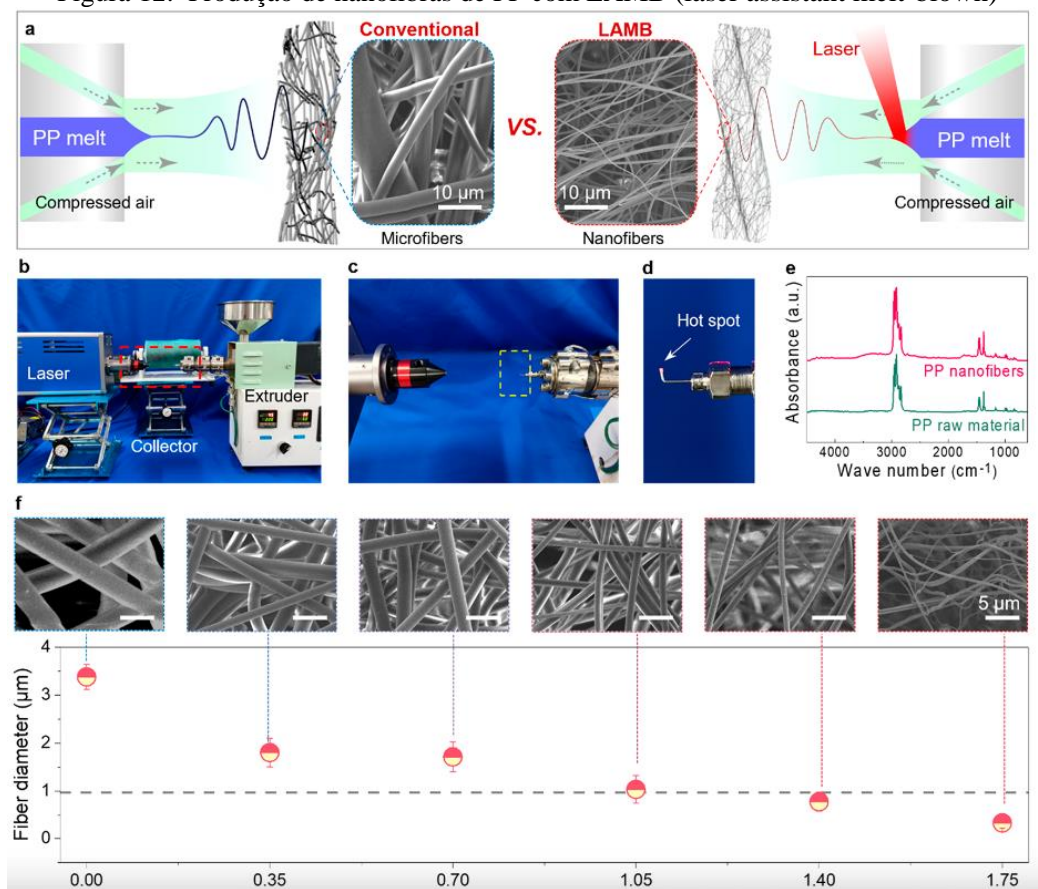
Fonte: Traduzido e adaptado de YANG *et al.* (2022a)

Análises teóricas e modelagem também foram conduzidas para entender o processo e estruturar o processo via LAMB (laser assistant melt-blown), como exemplificado na Figura 11, sendo (a) Esquema dos processos tradicionais de fusão soprada e LAMB, (b) Fotografia

mostrando a configuração espacial da máquina LAMB de único orifício, (e) Espectros FT-IR de nanofibras de PP e materiais brutos de PP, (f) Relação entre os diâmetros das nanofibras de PP e a potência do laser usada no processo LAMB.

Apesar de não se conhecer o volume exato e o destino dos resíduos plásticos relacionados à pandemia, vários modelos foram desenvolvidos para avaliar o impacto da pandemia na geração de plástico. Como resultado, estima-se que durante a pandemia cerca de 0,46 bilhão de máscaras faciais foram consumidas diariamente em todo o mundo, assumindo que cada indivíduo que vive em áreas urbanas utilize uma nova máscara a cada 6 dias. Estima-se que os Estados Unidos, China e Japão consumam, respectivamente, 33,4 milhões, 122,9 milhões e 13,8 milhões de máscaras faciais descartáveis por dia, respectivamente. YANG *et al.* (2022a) estimaram que substituir as máscaras faciais cirúrgicas por máscaras de nanofibras fabricadas usando o processo LAMB exemplificado na Figura 12 a seguir, o que poderia economizar aproximadamente 920.000 toneladas de matérias-primas de PP anualmente para a fabricação da mesma quantidade de máscaras protetoras.

Figura 12: Produção de nanofibras de PP com LAMB (laser assistant melt-blown)

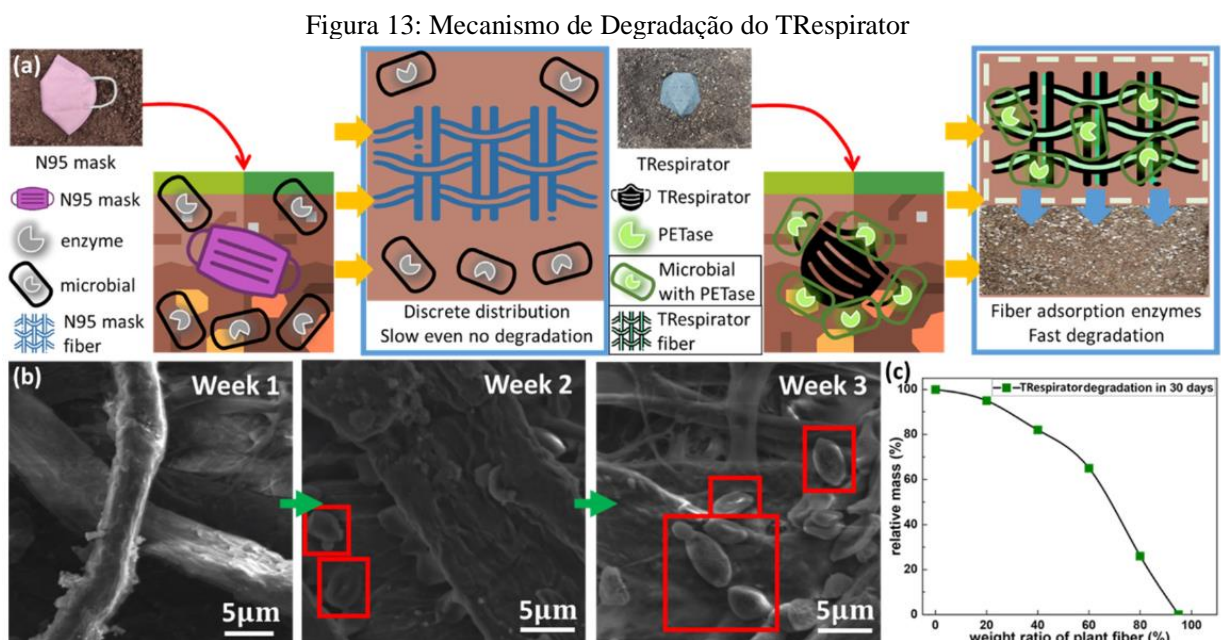


Fonte: YANG *et al.* (2022a)

Uma outra opção e alternativa para as máscaras que estão sendo estudadas são aquelas que buscam uma máscara biodegradável, foi desenvolvida por WANG *et al.* (2022b) chamada de TRespirator pelo pesquisador. Uma máscara confeccionada usando fibras de folha de bananeira, seda de algodão e resíduos de PET, através da impressão 3D filamento plástico PET que foi usado para controlar a microestrutura da camada intermediária da máscara.

A degradação desse tipo de máscara é facilitada pela presença da PETase, uma espécie de cutinase, que são enzimas que catalisam a hidrólise de um biopoliéster insolúvel, a cutina, componente estrutural da cutícula das plantas, e desta forma capaz de degradar as fibras de seda, resultando na degradação do PET que pode ser alcançada atraindo os microrganismos presentes no solo contendo PETase para o sistema da máscara por meio das fibras de seda (WANG *et al.*, 2022b).

Como pode-se notar na Figura 13, o mecanismo de degradação do sistema de fibra vegetal e plástico no TRespirator (a), o mecanismo de degradação de uma máscara N95 e do TRespirator, (b) Imagens de microscópio de amostras de TRespirator em degradação da semana 1 até a semana 3, (c) Imagem do efeito de degradação em 30 dias com diferentes proporções de peso de fibras vegetais.

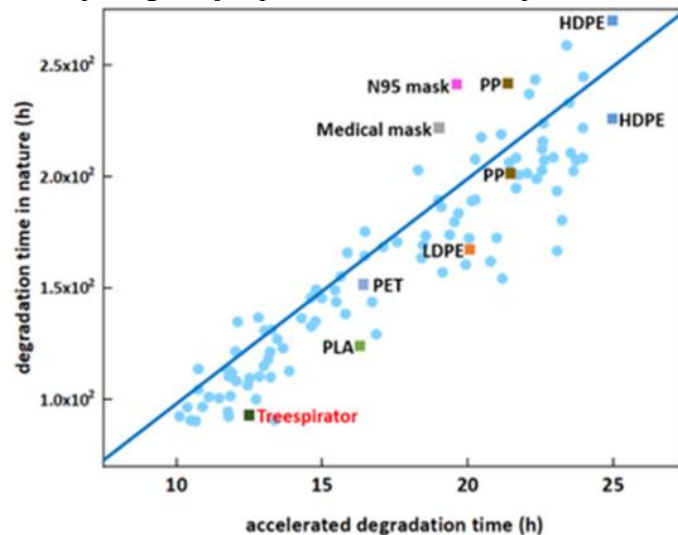


Fonte: WANG *et al.* (2022b)

Ao contrário das máscaras descartáveis comerciais, o filtro desenvolvido é descartável para evitar possíveis danos secundários causados pelo uso das máscaras. O TRespirator se decompõe muito mais rapidamente que outros plásticos quando comparado a outras máscaras,

respiradores, conforme pode ser visto na Figura 14, em que o eixo vertical representa o tempo de degradação na natureza em horas, e na horizontal representa o tempo de degradação acelerada de cada material, podendo notar o TRespirator com um rápido tempo de degradação em ambos os eixos se localizando no canto inferior esquerdo do gráfico de dispersão, quando comparado com o tempo da *medical mask* (máscara médica), *N95 mask* (respirador N95).

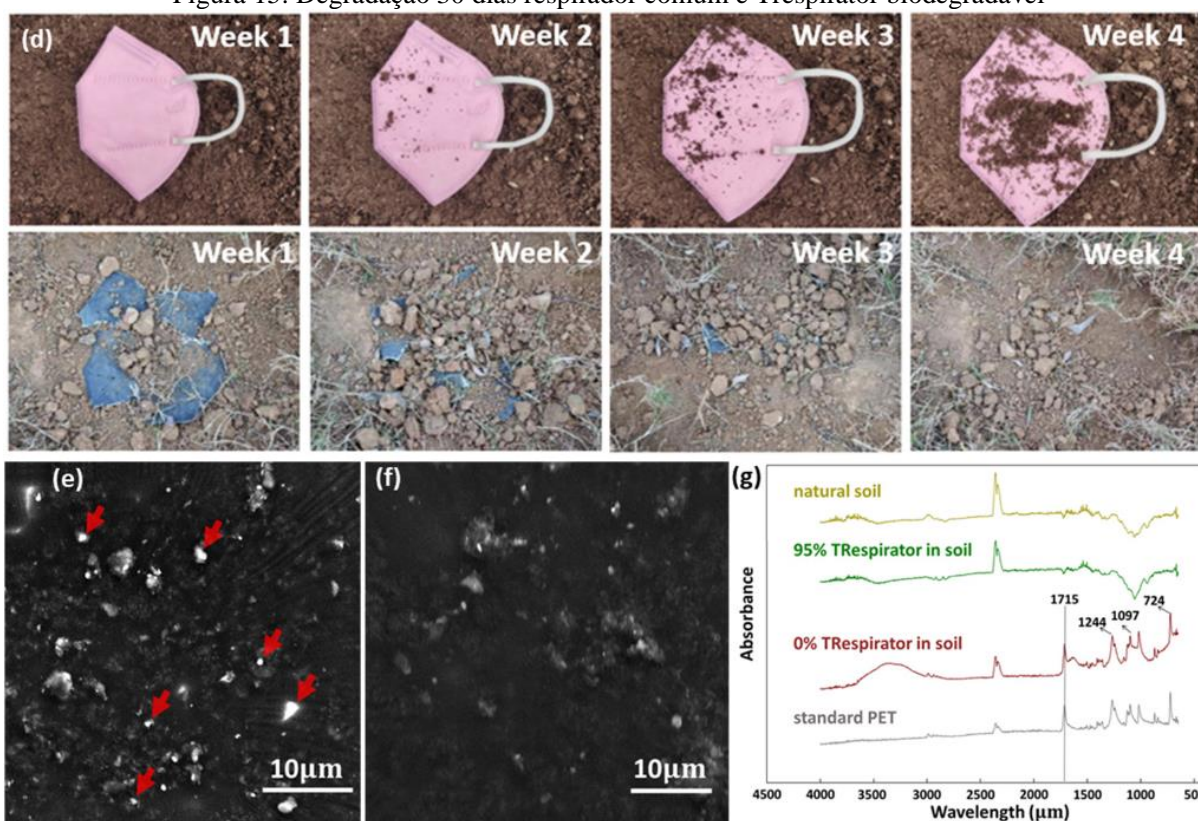
Figura 14: Tempo degradação plásticos, máscara, respirador e TRespirator



Fonte: WANG *et al.* (2022b)

Essa degradação acelerada ocorreu completamente em um mês em solo compostado, conforme Figura 15, que traz a comparação da degradação em 30 dias de um respirador tipo PFF e o TRespirator. (d) processo de degradação de uma máscara N95 e TRespirator da semana 1 à semana 4, (e,f) imagens de microscópio eletrônico de varredura do solo onde ocorre o teste de degradação da membrana sem fibras vegetais e da membrana de fibras vegetais, respectivamente, onde os destaques são micro e nanoplásticos de tamanhos diferentes (g) teste de absorvância do material PET padrão, do solo após a degradação da membrana plástica, do solo após a degradação do TRespirator e da amostra de solo natural; 95% TRespirator significa uma amostra de TRespirator com 95% de proporção de peso de fibras, e 0% TRespirator significa um TRespirator sem fibras.

Figura 15: Degradação 30 dias respirador comum e TRespirator biodegradável



Fonte: Adaptado de WANG *et al.* (2022b)

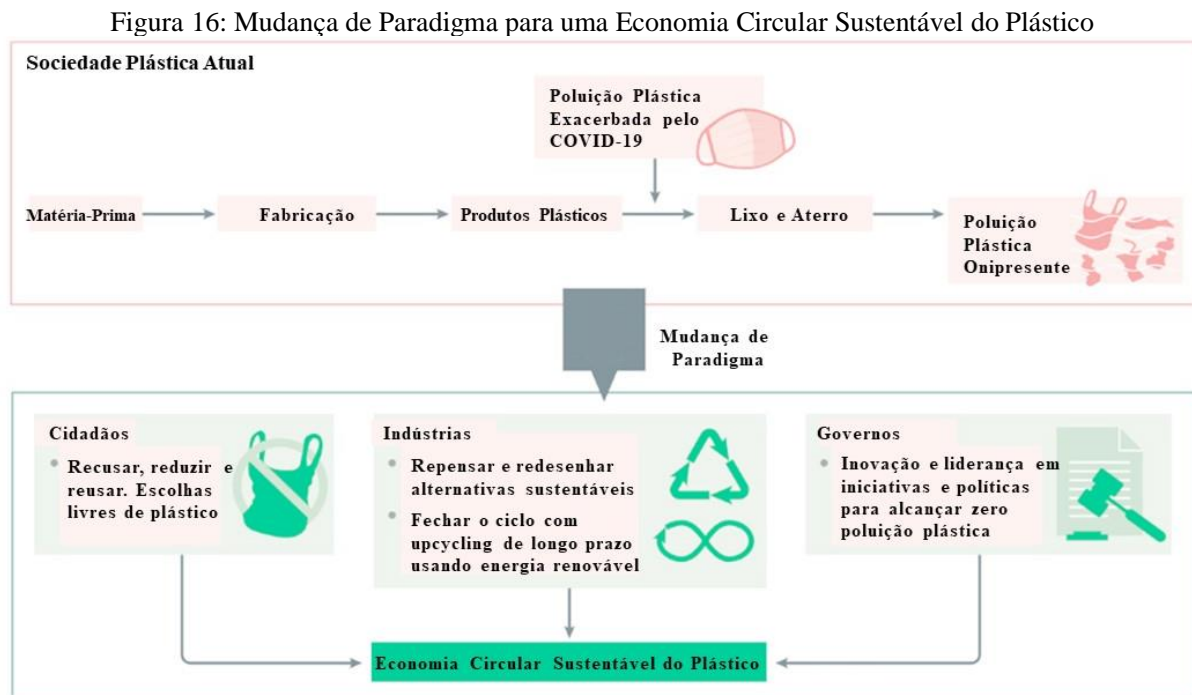
Além da rápida biodegradação no solo, a máscara TRespirator possui taxa de remoção de material particulado (PM) de mais de 80% para partículas maiores que $1\mu\text{m}$ e 90% para partículas maiores que $10\mu\text{m}$, e apresenta uma pressão de ar aceitável de 61,4 Pa. Esses resultados indicam resultado promissor para uma máscara com menores impactos ambientais e que proporciona um ambiente respiratório confortável para o usuário, com pouca redução no desempenho. Espera-se que essa máscara seja uma solução prática para a poluição por nanoplásticos e proteja os seres humanos contra a COVID-19.

Dessa forma, foram exploradas algumas das alternativas e oportunidades para reduzir os impactos e riscos associadas à necessidade do uso de plásticos, para a proteção da vida, sendo assim então necessário enfrentar outras questões e medidas, incluindo a sensibilização pública sobre a importância do descarte adequado de EPIs e a redução do uso de plásticos descartáveis.

Além disso, é necessário o desenvolvimento de alternativas sustentáveis ao plástico, bem como a implementação de políticas de gestão de resíduos eficientes, tendo a liderança de instituições, como a OMS, governos, fabricantes e instituições normatizadoras, que

desempenham e definem as diretrizes e normas para máscaras, respiradores e outros EPIs plásticos serem fabricados até a sua disposição final.

No entanto, é necessário reconhecer que, até o momento, essas instituições pouco conseguiram estimular ativamente o desenvolvimento e a adoção de produtos mais sustentáveis nesse setor, sendo proposto então por YUAN *et al.* (2021b) a mudança de paradigma necessária para a sociedade que vive a poluição plástica excessiva ao seu redor, conforme pode ser vista na Figura 16.



Fonte: Adaptado de YUAN *et al.*, 2021b

É fundamental que essas instituições adotem uma abordagem proativa e implementem estratégias efetivas para promover a sustentabilidade na fabricação e no uso de máscaras, respiradores e outros EPIs. Isso inclui estabelecer padrões mais rigorosos e exigentes em relação aos materiais utilizados, incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, e fornecer diretrizes claras sobre o descarte adequado desses produtos. Além da sensibilização e práticas de recusar, redução, reuso de plásticos pela comunidade e cidadãos.

6. Conclusões

Diante dos itens apresentados neste estudo, conclui-se que a presença e o descarte inadequado de resíduos plásticos, especialmente os relacionados aos equipamentos de proteção individual (EPIs) usados durante a pandemia da COVID-19, representam uma grave ameaça para a vida selvagem, humana e biodiversidade na Terra. Esses resíduos se degradam em microplásticos, que são partículas de plástico menores que 5 milímetros e estão presentes em diversos ambientes, incluindo oceanos, rios, solos e até mesmo no ar.

Os microplásticos provenientes dos EPIs e dispositivos médicos estão agravando a poluição ambiental. No ambiente marinho já se encontra desde o Oceano Ártico até o gelo marinho da Antártica, e podem servir como vetores para outros poluentes tóxicos, como metais pesados e produtos químicos, sendo assim a poluição plástica nos oceanos representa grandes ameaças para a biodiversidade marinha.

No ar, os microplásticos associados aos EPIs, dispositivos médicos e outros produtos plásticos podem se fragmentar e persistir, sendo transportados pela atmosfera e representando um risco potencial de exposição por inalação. A produção e incineração de produtos plásticos também contribuem para a emissão de gases de efeito estufa e para a poluição do ar. No solo, o descarte inadequado de EPIs pode influenciar as propriedades do mesmo e entrar nos sistemas aquáticos, afetando os organismos e a cadeia alimentar. A vida selvagem também é afetada pela poluição plástica, com muitos animais correndo o risco de enredamento, emaranhamento e ingestão dos resíduos de EPIs.

O monitoramento realizado pelo Instituto Argonauta nas praias do litoral norte de São Paulo evidencia a presença significativa de máscaras descartadas de forma inadequada, representando apenas uma pequena amostra do problema que ocorre em escala global. A interação desses resíduos com a vida marinha, como exemplificado pelo caso do Pinguim-de-Magalhães encontrado com uma máscara enrolada em seu estômago, destaca a necessidade de ações para combater a poluição plástica e promover o descarte adequado dos EPIs e outros resíduos plásticos.

A interação dos animais com os microplásticos provenientes dos EPIs também é preocupante, pois os microplásticos podem se acumular nos organismos e se transferir para os consumidores por meio da cadeia alimentar, ameaçando a saúde humana. A exposição humana

aos microplásticos ocorre principalmente pela ingestão e pela inalação, e podem causar efeitos adversos, como estresse oxidativo, inflamação e danos aos órgãos.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) desempenhou um papel crucial na resposta global à pandemia de Covid-19, através da coordenação internacional, orientação técnica e científica, foi fundamental na prevenção da disseminação da doença e proteção da saúde pública em todo o mundo. Além disso, a OMS abordou questões essenciais, mas que poderiam ser melhores utilizadas, traduzidas e adaptadas para comunicação, sensibilização e educação ambiental de maneira efetiva nas recomendações e documentos publicados, como a gestão de resíduos de saúde e instruções de descarte de máscaras, respiradores e outros EPIs;

Além disso, é importante que a indústria também assuma sua responsabilidade e se engaje na produção de EPIs mais sustentáveis. As empresas devem investir em pesquisa e inovação para encontrar materiais alternativos de baixo impacto ambiental, bem como adotar práticas de produção mais sustentáveis em suas cadeias de suprimento.

Nesse sentido, a inclusão de informações detalhadas sobre o descarte adequado, riscos ambientais e instruções de proteção nas embalagens e materiais comerciais dos produtos é fundamental, pois ajudará a conscientizar os consumidores sobre a importância de descartar esses produtos de forma responsável, garantindo que não causem danos ao meio ambiente.

OMS, governos, fabricantes e instituições normatizadoras precisam definir melhores práticas de rotulagem e informações sobre o descarte adequado, sendo necessário um esforço conjunto entre as instituições e a indústria para impulsionar a adoção de tecnologias mais sustentáveis para promover mudança significativa no setor de máscaras, respiradores e EPIs plásticos. Somente com ações concretas e um compromisso real com a sustentabilidade é que poderemos enfrentar os desafios ambientais relacionados a esses produtos e proteger tanto a saúde pública quanto o meio ambiente.

7. Referências

ABNT. **ABNT NBR 12543:2017 - Equipamentos de proteção respiratória - Classificação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. 25 maio 2017. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=eU83ZnlWVVJqa2hKVVlQaitHSnhuUUZvWmNTcTRINWh5dU1OeG5pb2dvTT0=>>>. Acesso em: 21 maio 2023.

ABNT. **ABNT NBR 13698-2022 - Equipamento de proteção respiratória — Peça semifacial filtrante para partículas.** 23 set. 2022.

ABNT. **ABNT NBR 15052:2004 - Artigos de não tecido de uso odonto-médico-hospitalar - Máscaras cirúrgicas - Requisitos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 31 mar. 2004.

ABNT. **ABNT NBR 15052:2021 - Máscara de uso odonto-médico-hospitalar - Requisitos e métodos de ensaio.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 31 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=UEQyTEsvQUVVYmVpd2MyM0V1cXI1alZnVVNkOWNnMnpsNnNnSkY1MjZST0=>>>. Acesso em: 21 maio 2023.

ABNT. **ABNT PR 1002: Máscaras de proteção respiratória para uso não profissional: Guia de requisitos básicos para métodos de ensaio, fabricação e uso.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. ago. 2020. Disponível em: <[https://cvs.saude.sp.gov.br/up/Guia_0994632_ABNT_Pratica_Recomendada_para_Mascaras_de_Uso_Nao_Profissional_compressed%20\(3\).pdf](https://cvs.saude.sp.gov.br/up/Guia_0994632_ABNT_Pratica_Recomendada_para_Mascaras_de_Uso_Nao_Profissional_compressed%20(3).pdf)>. Acesso em: 21 maio 2023.

ASTM. **ASTM F2100-23 - Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks.** 2023.

BRADNEY, L. *et al.* **Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk.** *Environment International.* Elsevier Ltd., 1 out. 2019

CELIS, J. E. *et al.* **Plastic residues produced with confirmatory testing for COVID-19: Classification, quantification, fate, and impacts on human health.** *Science of the Total Environment*, v. 760, 15 mar. 2021.

CHAVEZ-RUIZ, M. *et al.* **Methodology for evaluating the level of respiratory protection of masks and respirators against particles similar to those that transmit SARS-CoV-2.**

Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, v. 38, n. 3, p. 391–8, 5 out. 2021. Disponível em: <<https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/8036>>.

G1. Ubatuba tem árvore de Natal com lixo recolhido das praias da cidade. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2022/12/25/ubatuba-tem-arvore-de-natal-com-lixo-recolhido-das-praias-da-cidade.ghtml>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

IFC. TECHNICAL BENCHMARKING GUIDE ON COVID-19 - RELATED PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT: Technical regulations and standards for PPE in select markets. 2022. Disponível em: <www.ifc.org>. Acesso em: 12 abr. 2023.

INSTITUTO ARGONAUTA. 1428 máscaras encontradas nas praias da região do Litoral Norte do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/Cpv4AoTt4PQ/>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

INSTITUTO ARGONAUTA. Caso do pinguim que engoliu uma máscara gera repercussão internacional e reacende discussão sobre impactos do lixo nos animais marinhos. Disponível em: <<https://institutoargonauta.org/caso-do-pinguim-que-engoliu-uma-mascara-gera-repercussao-internacional-e-reacende-discussao-sobre-impactos-do-lixo-nos-animais-marinhos/>>. Acesso em: 13 jun. 2023a.

INSTITUTO ARGONAUTA. Lixo da Pandemia começa a aparecer nas praias paulistas. Disponível em: <<https://institutoargonauta.org/lixo-da-pandemia-comeca-a-aparecer-nas-praias-paulistas/>>. Acesso em: 28 mar. 2023b.

INSTITUTO ARGONAUTA. Pinguim é encontrado morto após o feriado 7 de setembro e necropsia do Instituto Argonauta revela máscara embrulhada no estômago do animal. Disponível em: <<https://institutoargonauta.org/pinguim-e-encontrado-morto-apos-o-feriado-7-de-setembro-e-necropsia-do-instituto-argonauta-revela-mascara-embrulhada-no-estomago-do-animal/>>. Acesso em: 13 jun. 2023c.

JACQUES, N. *et al.* **Uso de máscara durante a pandemia de COVID-19 no Brasil: resultados do estudo EPICOID19-BR.** *Cadernos de Saude Publica*, v. 38, n. 6, 2022.

ARIAS-URIBE, José. **Impacto de la introducción del cubrebocas contra el COVID-19: una revisión narrativa.** *Revista de Salud Pública*, v. 23, n. 3, p. 1–7, 1 maio 2021.

KHOO, K. S. *et al.* **Plastic waste associated with the COVID-19 pandemic: Crisis or opportunity?** *Journal of Hazardous Materials*, v. 417, 5 set. 2021.

MA, J. *et al.* **Face masks as a source of nanoplastics and microplastics in the environment: Quantification, characterization, and potential for bioaccumulation.** *Environmental Pollution*, v. 288, 1 nov. 2021.

OMS. **Advice on the use of masks in the community, during home care, and in health care settings in the context of COVID-19: interim guidance, 19 March 2020.** 19 mar. 2020a.

OMS. **Advice on the use of masks in the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak: interim guidance, 29 January 2020.** 29 jan. 2020b. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/330987>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 5 June 2020,** 5 jun. 2020c.

OMS. **Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 6 April 2020.** 6 abr. 2020d. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331693>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Mask use in the context of COVID-19: interim guidance, 1 December,** 1 dez. 2020e. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/337199>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: interim guidance. 6 April 2020,** 6 abr. 2020f. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331695>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020,** 19 mar. 2020g. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331498>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Rational use of personal protective equipment for COVID-19 and considerations during severe shortages: interim guidance, 23 December 2020,** 23 dez. 2020h. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/338033>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 27 February 2020.** 27 fev. 2020i. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331215/WHO-2019-nCov-IPCPE_use-2020.1-eng.pdf>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Water, sanitation, hygiene and waste management for COVID-19: technical brief, 03 March 2020.** 3 mar. 2020j. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331305>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19: interim guidance, 29 July 2020,** 29 jul. 2020k. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/333560>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance, 19 March 2020,** 19 mar. 2020l. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331499>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance, 23 April 2020.** 23 abr. 2020m. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331846>>. Acesso em: 21 maio 2023.

OMS. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard - Overview 29/03/2023.** Disponível em: <<https://covid19.who.int/>>. Acesso em: 29 mar. 2023a.

OMS. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard - Table View 29/03/2023.** 2023b.

OPAS. **OMS declara emergência de saúde pública de importância internacional por surto de novo coronavírus.** Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/news/30-1-2020-who-declares-public-health-emergency-novel-coronavirus>>. Acesso em: 17 mar. 2023.

PATRÍCIO SILVA, Ana L. *et al.* **An urgent call to think globally and act locally on landfill disposable plastics under and after covid-19 pandemic: Pollution prevention and technological (Bio) remediation solutions.** *Chemical Engineering Journal*, v. 426, 15 dez. 2021.

ROYO-BORDONADA, Miguel Angel *et al.* **Face masks in the general healthy population. Scientific and ethical issues.** *Gaceta Sanitaria*, v. 35, n. 6, p. 580–584, 1 nov. 2021.

SHAMS, M.; ALAM, I.; MAHBUB, M. S. **Plastic Pollution During COVID-19: Plastic Waste Directives and Its Long-term Impact on The Environment.** *Environmental Advances*. Elsevier Ltd. , 1 out. 2021

WANG, F. *et al.* **Microfiber releasing into urban rivers from face masks during COVID-19.** *Journal of Environmental Management*, v. 319, 1 out. 2022.

WANG, Z. *et al.* **The 3D-Printing-Accelerated Design for a Biodegradable Respirator from Tree Leaves (TRespirator).** *Polymers*, v. 14, n. 9, p. 1681, 21 abr. 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/14/9/1681>>.

YANG, C. *et al.* **Saving 80% Polypropylene in Facemasks by Laser-Assisted Melt-Blown Nanofibers.** *Nano Letters*, v. 22, n. 17, p. 7212–7219, 14 set. 2022. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.2c02693>>.

YANG, S. *et al.* **Impact of waste of COVID-19 protective equipment on the environment, animals and human health: a review.** *Environmental Chemistry Letters*. [S.l.]: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. , 1 out. 2022a

YUAN, X. *et al.* **The COVID-19 pandemic necessitates a shift to a plastic circular economy.** *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 2, n. 10, p. 659–660, 27 set. 2021. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s43017-021-00223-2>>.

ZHANG, E. J. *et al.* **Protecting the environment from plastic PPE.** *BMJ*, v. 372, p. n109, 19 jan. 2021. Disponível em: <<https://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.n109>>.

ZHANG, X. *et al.* **Multi-layered, corona charged melt blown nonwovens as high performance pm0.3 air filters.** *Polymers*, v. 13, n. 4, p. 1–14, 2 fev. 2021.

ZIANI, K. *et al.* **Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review.** *Nutrients*, v. 15, n. 3, p. 617, 25 jan. 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-6643/15/3/617>>.