

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Thais Helena dos Santos Rocha

Máscaras e respiradores: uma revisão sobre suas características e seus impactos ambientais, e a influência da pandemia de COVID-19

SÃO CARLOS -SP
2021

Thais Helena dos Santos Rocha

Máscaras e respiradores: uma revisão sobre suas características e seus impactos ambientais, e a influência da pandemia de COVID-19

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Química Tecnológica da Universidade Federal de São Carlos, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Cerasi Urban

São Carlos-SP
2021



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - DQ/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33518206 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 13/2021/DQ/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

THAIS HELENA DOS SANTOS ROCHA

MÁSCARAS E RESPIRADORES: UMA REVISÃO SOBRE SUAS CARACTERÍSTICAS E SEUS IMPACTOS
AMBIENTAIS E A INFLUÊNCIA DA PANDEMIA DE COVID-19

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 17 de setembro de 2021

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo	
Orientadora	Roberta Cerasi Urban	<i>Roberta Cerasi Urban</i>
Membro da Banca 1	Sandra Andrea Cruz	<i>Sandra Cruz</i>
Membro da Banca 2	Ivi Barbosa	<i>Ivi Barbosa</i>



Documento assinado eletronicamente por **Caio Marcio Paranhos da Silva**, Professor(a), em 21/09/2021, às 11:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador 0497206 e o código CRC FA75F3F9.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.018461/2021-18

SEI nº 0497206

Modelo de Documento: Grad-Defesa TCC-Folha Aprovação, versão de 02 Agosto/2019

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha família, amigos e a minha orientadora que tanto me apoiaram durante a graduação e elaboração desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, por me dar força e ânimo para enfrentar os desafios e por todas as bênçãos em minha vida.

Aos meus pais, Adonias e Margarete, por todo amor, apoio, incentivo e orientação que me deram durante todos meus anos de vida e pelo esforço para que eu pudesse ter uma educação de qualidade. Agradeço também aos meus irmãos, Henry e Henzo, e aos meus familiares, por todo carinho e incentivo.

Ao Pablo Henrique, por todo amor, por estar ao meu lado durante toda a graduação me incentivando e ajudando nos momentos difíceis, e pela ajuda na revisão desse trabalho.

Aos meus amigos Attilio, Breno, Bruna, Fábio, Lucas, Maria, Nathalia, Natasha, Samuel e Ricelli, por tornarem a graduação mais alegre e leve, e por me ajudarem a passar pelas dificuldades desse período.

À minha orientadora, Profa. Dra. Roberta Cerasi Urban, por dedicar seu tempo me auxiliando na elaboração desse trabalho e por todos os conselhos em relação a carreira e a vida.

Aos meus orientadores de iniciação científica, Pedro Sérgio Fadini, Glaucia Pantano e Valéria Longo, por me auxiliarem nos meus primeiros passos na pesquisa e me darem a oportunidade de aprender na prática e contribuir com o desenvolvimento da ciência no Brasil. Também agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação.

À 3M, em especial ao time de *Product Stewardship*, pela oportunidade de trabalhar na indústria e de contribuir com a saúde e segurança dos consumidores e funcionários da 3M e com a preservação do meio ambiente, por todo conhecimento compartilhado comigo e por terem me recebido tão bem na equipe.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, no desenvolvimento deste trabalho e na minha formação.

“Eu sou o que me cerca. Se eu não preservar o que me cerca, eu não me preservo”
ORTEGA Y GASSET, 1966

RESUMO

A pandemia de COVID-19 introduziu a utilização de máscaras e respiradores no cotidiano de profissionais da saúde e também da população mundial geral. Foi estimado que cerca de 129 bilhões de máscaras seriam necessárias por mês para suprir a demanda mundial. Com o intuito de prevenir a disseminação da doença, a ampla utilização das máscaras e respiradores trouxe consigo a preocupação com os impactos ambientais causados por seu descarte incorreto. Esse trabalho teve como objetivo a revisão dos conceitos relacionados a máscaras, respiradores e os materiais poliméricos e a verificação das consequências ambientais da poluição por esses objetos, além das possíveis estratégias para minimização dos impactos. As máscaras e os respiradores são produzidos por não tecidos, feitos de fibras de materiais poliméricos (plásticos), que filtram partículas como vírus, pelos mecanismos de difusão, interceptação direta, deposição inercial, sedimentação por força gravitacional e deposição eletrostática. Quando os objetos formados de plásticos atingem o meio ambiente, eles podem trazer consequências negativas como o emaranhamento de animais, a ingestão por animais, a liberação de microplásticos e de substâncias químicas danosas ao ambiente e à saúde, a persistência, entre outras. A fim de que esses impactos sejam atenuados estratégias devem ser adotadas para mitigação da poluição, como melhorias na gestão de resíduos, reciclagem, reutilização, utilização de plásticos sustentáveis, conscientização pública em relação ao uso e descarte de plásticos, e também técnicas para remediação do meio ambiente, como tecnologias para recolhimento de plásticos que atingiram corpos aquáticos e biotecnologias para degradação dos plásticos.

Palavras-chave: Máscaras. COVID-19. Plásticos. Poluição. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic brought an unprecedented use of masks and respirators for the healthcare workers and population. World Health Organization estimated the monthly needs of 129 billion masks. In order to prevent the spread of the disease, the widespread use of masks and respirators and their mismanagement may result in greater environmental contamination. The main objective of this work is to review the concepts of masks, respirators and polymeric materials, and to verify their environmental impacts, in addition to the possible strategies to minimize impacts. The masks and respirators are made of non-woven material, synthetic fibers (plastics), which filter particles, such as viruses, by the mechanisms of diffusion, direct interception, inertial deposition, sedimentation by gravitational force, and electrostatic deposition. These plastics objects can have negative consequences for the environment, such as animal entanglement, ingestion by animals, the release of microplastics and additives dangerous to health and the environment, persistence, among others. To reduce harmful impacts strategies should be adopted for pollution mitigation, such as improvements in waste management, recycling, reuse, use of sustainable plastics, public awareness of the use and disposal of plastics, and environmental remediation techniques: technologies for collecting plastics in aquatic environments and biotechnologies for the degradation of plastics.

Keywords: Masks. COVID-19. Plastics. Pollution. Environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Redução da transmissão de vírus pelo ar com a utilização de máscaras.....	13
Figura 2 – Pintura “ <i>Doctor Schnabel von Rom</i> ” feita por Paulus Fürst em 1656.....	16
Figura 3 – Mecanismos de filtração de partículas	18
Figura 4 – Ilustração das 3 camadas de uma máscara cirúrgica e suas funções.....	19
Figura 5 – Ilustração esquemática das camadas de um respirador	20
Figura 6 – Representação esquemática da estrutura do mero e da cadeia de um polímero genérico	21
Figura 7 – Estruturas dos meros dos polímeros mais comuns	22
Figura 8 – Estrutura de tecidos não-tecidos (<i>nonwoven</i>), tecidos feitos a partir da tecelagem (<i>woven</i>) e tecidos feitos por tricô (<i>knitted fabrics</i>).....	24
Figura 9 – Ilustração esquemática das etapas dos processos <i>spunbonding</i> e <i>meltblowing</i>	25
Figura 10 – Distribuição global do consumo de plástico por aplicação em 2017.....	26
Figura 11 – Efeitos potenciais de máscaras e respiradores em ambientes aquáticos e terrestres.....	28
Figura 12 – Ameaças à vida aquática devido ao uso de máscaras faciais.....	32
Figura 13 – Primeira vítima de resíduos plásticos da pandemia de COVID-19: um tordo-americano (<i>Turdus migratorius</i>) emaranhado em uma máscara facial em Chilliwack, BC, Canadá, em 10 de abril de 2020.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação da disponibilidade de agentes de intemperismo em diferentes ambientes.....	31
---	----

LISTA DE SIGLAS

SARS-CoV-2 – *Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*

EPI – Equipamento de proteção individual

OMS – Organização mundial da saúde

FDA – *Food and Drug Administration*

PP – Polipropileno

TNT – Tecido não-tecido

UV – Ultravioleta

μ -FTIR – Micro-espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier

MEV – Microscópio eletrônico de varredura

BPA – Bisfenol A

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
3 MÁSCARAS E RESPIRADORES	14
3.1 DEFINIÇÕES	14
3.2 HISTÓRICO	15
3.3 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO	17
3.4 ESTRUTURAS DAS MÁSCARAS E RESPIRADORES.....	19
3.5 POLÍMEROS E TECIDOS NÃO-TECIDOS.....	20
4 IMPACTOS AMBIENTAIS	25
4.1 POLUIÇÃO POR PLÁSTICOS, MÁSCARAS E RESPIRADORES	25
4.2 CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS DA POLUIÇÃO POR MÁSCARAS E RESPIRADORES	28
4.3 POTENCIAIS SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO POR MÁSCARAS E RESPIRADORES	35
4.3.1. REGULAMENTAÇÕES	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
6 REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

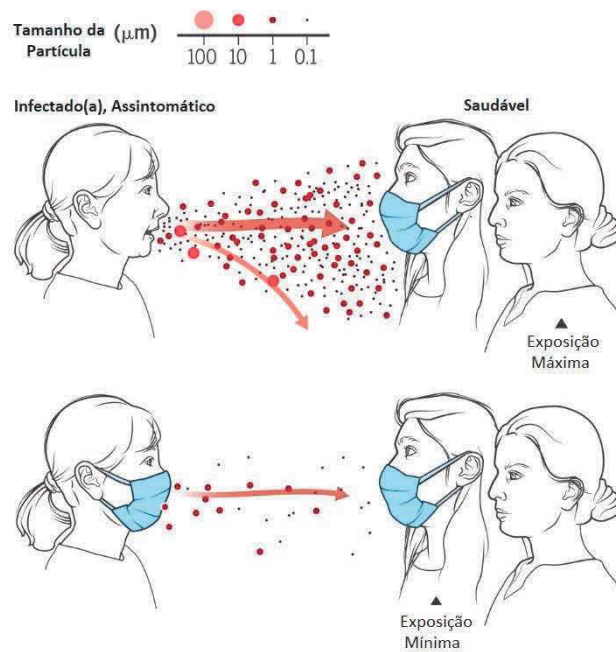
Em dezembro de 2019, foram relatados os primeiros casos de uma pneumonia atípica em Wuhan, China, e em janeiro de 2020 o vírus causador da doença, em inglês *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2), foi identificado (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021). A doença, denominada COVID-19, se disseminou rapidamente e em março de 2020 a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou uma pandemia (WHO, 2020a). Entre os sintomas mais comuns de COVID-19, estão a febre, a tosse seca e a fadiga. Sintomas mais severos incluem falta de ar, perda de apetite, confusão mental, dor no peito, e febre (temperatura corporal acima de 38°C). Cerca de 80% das pessoas que são infectadas pelo SARS-CoV-2 se recuperam sem tratamento hospitalar. No entanto, cerca de 15% dos que desenvolvem a doença precisam de oxigênio e aproximadamente 5% precisam de cuidado intensivo. Em casos graves, complicações como insuficiência respiratória, choque séptico, tromboembolismo e/ou insuficiência de múltiplos órgãos podem levar à morte (WHO, 2020b).

A transmissão do vírus ocorre principalmente por meio de gotículas de fluidos respiratórios. Já a infecção pode ocorrer de três formas: pelo ar, com a inalação direta das gotículas; por contato, quando gotículas no indivíduo são levadas diretamente ao local onde a infecção pode ocorrer; e por fômites, modo no qual as gotículas são transmitidas a um indivíduo por meio de uma superfície. Esse processo de infecção é afetado pelo tamanho das gotículas. A infecção por fômites ocorre mais facilmente com gotículas maiores ($> 20 \mu\text{m}$) que sedimentam em objetos devido à gravidade, enquanto a infecção pelo ar ocorre com gotículas menores ($< 5 - 10 \mu\text{m}$) que permanecem mais tempo e em maiores distâncias suspensas (DOWD et al., 2020).

O uso de sanitizantes apropriados para as mãos e para superfícies é uma das formas de prevenção da infecção por contato e por fômites (PRADHAN et al., 2020). No entanto, a redução do contato próximo entre indivíduos é uma das melhores intervenções não farmacêuticas para combater a propagação de doenças transmitidas pela via respiratória (CHUA et al., 2020). Para os casos em que não é possível manter o distanciamento social, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), principalmente máscaras e respiradores, é um dos modos de prevenir a transmissão e a infecção pelo vírus. O EPI atua como uma barreira física, reduzindo a liberação de aerossóis por pessoas que estão infectadas pelo vírus e também impedindo que aerossóis contendo o vírus entrem em contato com o nariz e a boca dos

indivíduos que o estão utilizando (CHUA et al., 2020). A Figura 1 mostra como o uso de máscaras podem ajudar a reduzir a transmissão do vírus pelo ar.

Figura 1 – Redução da transmissão de vírus pelo ar com a utilização de máscaras.



Fonte: Adaptado de PRATHER; WANG; SCHOOLEY, 2020.

Segundo a OMS, o uso adequado de EPIs, incluindo máscaras médicas e respiradores, é uma das chaves para evitar que trabalhadores da área da saúde contraiam a COVID-19 (WHO, 2020c). Além do uso na área da saúde, pesquisadores indicaram que o uso de máscaras em massa, mesmo das feitas de tecido, contribui de forma positiva para o controle da pandemia pois é um complemento às outras formas de prevenção não farmacêuticas, como o distanciamento social e a higiene das mãos (CHENG; LAM; LEUNG, 2020; EIKENBERRY et al., 2020). Um estudo testou a eficiência de filtração média (para partículas entre 60 e 300 nm) de com respiradores N95, máscaras cirúrgicas, máscaras de tecido-não-tecido (TNT) e máscaras caseiras de algodão e os resultados foram 98%, 89%, 78%, e 40%, respectivamente. Apesar de serem comumente usadas em países em desenvolvimento, como o Brasil, o estudo mostrou que as máscaras de algodão possuem uma eficiência de filtração cerca de 55% menor que os respiradores N95. Esse valor de eficiência também é menor que o mínimo indicado pela OMS, que é 70%. Assim, entre as máscaras caseiras, as mais indicadas como medida paliativa

são as feitas de TNT por possuírem uma eficiência de filtração média maior (MORAIS et al., 2021) .

Apesar da importância fundamental na prevenção da transmissão e contaminação pelo vírus SARS-CoV-2, a poluição pelos materiais plásticos (polímeros) utilizados na produção de máscaras e respiradores pode trazer consequências alarmantes ao meio ambiente. Por isso, a poluição por máscaras e respiradores se tornou o tema de estudo de diversas pesquisas, com o intuito de avaliar os impactos e propor medidas para diminuição dos danos ambientais (ARAGAW, 2020; CHEN et al., 2021; PATRÍCIO SILVA et al., 2021; PRATA et al., 2020; SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021; SULLIVAN et al., 2021).

2 OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivo revisar conceitos relacionados a máscaras e respiradores e aos materiais poliméricos utilizados em sua construção. Além disso, visa verificar quais são os principais impactos ambientais da poluição por esses objetos e quais estratégias podem ser adotadas para diminuição dos danos.

3 MÁSCARAS E RESPIRADORES

3.1 DEFINIÇÕES

Apesar de serem usados para cobrir nariz e boca, máscaras faciais, máscaras cirúrgicas e respiradores possuem diferenças. Máscaras faciais são utilizadas pelo público em geral e por profissionais da área da saúde para evitar a transmissão de doenças infecciosas por meio da diminuição da disseminação de secreções respiratórias. Porém, uma máscara facial pode ou não estar de acordo com níveis de proteção a fluidos e de eficiência de filtração (FDA, 2021)

Já as máscaras cirúrgicas são consideradas EPIs. Além de cobrir o nariz e boca do usuário, elas agem como barreira física para fluidos e materiais particulados. Se usada de forma correta, uma máscara cirúrgica é eficaz em bloquear gotas, respingos, borrifos, e partículas grandes que podem conter vírus e bactérias. Contudo, devido ao encaixe frouxo entre a máscara

e o rosto, ela não é totalmente eficaz contra germes e outros contaminantes transmitidos pelo ar. Dessa forma, esse tipo de máscara oferece proteção somente por meio da repelência aos fluidos (FDA, 2021; SUREKA; MISRA, 2021). As máscaras cirúrgicas não devem ser utilizadas mais de uma vez, são descartáveis, e fornecem uma proteção contra partículas de 0,04 a 1,3 μm de 8 a 12 vezes menor do que os respiradores N95 (SUREKA; MISRA, 2021).

Respiradores também são considerados EPIs. Entretanto, são dispositivos desenvolvidos para proteger o portador de inalar substâncias perigosas como químicos tóxicos e partículas infecciosas (menores que 100 μm) (FILTRELEME et al., 2018). O nível de proteção dos respiradores contra vírus e bactérias depende do ajuste ao rosto, quando devidamente testados e ajustados oferecem um nível maior de proteção (FDA, 2021). Os respiradores N95 possuem esse nome pois eles filtram ao menos 95% das partículas $\leq 0,3 \mu\text{m}$ transportadas pelo ar (FDA, 2021; SUREKA; MISRA, 2021).

3.2 HISTÓRICO

A preocupação com a inalação de substâncias tóxicas é uma questão antiga. No Império Romano, panos úmidos eram usados no rosto como forma de proteção por trabalhadores de minas de chumbo (COHEN; BIRKNER, 2012). Já na Idade Média, máscaras em formato de bico (Figura 2) podem ter sido usadas por médicos, que as preenchiam com líquidos e ervas para protegê-los do miasma (MATUSCHEK et al., 2020). Mais tarde, o uso de panos úmidos para evitar a inalação de químicos perigosos foi indicado por Leonardo da Vinci (COHEN; BIRKNER, 2012).

Figura 2 – Pintura “*Doctor Schnabel von Rom*” feita por Paulus Fürst em 1656.



Fonte: THE BRITISH MUSEUM, [s.d.].

O primeiro registro do uso de uma máscara para fins clínicos foi feito em 1897 pelo cirurgião polonês Jan Mikulicz Radecki. A máscara era usada somente para cobrir a boca e consistia em uma única camada de gaze (DOWD et al., 2020). Em 1899, o higienista Carl Friedrich Flügge desenvolveu máscaras feitas por tiras de gaze pois no ano anterior tinha sido notado que o aumento do número de camadas de gaze também potencializava o nível de proteção da máscara (DOWD et al., 2020). Na década de 1930 alguns requisitos para máscaras foram criados, entre eles estavam: ser de baixo custo; lavável e confortável; cobrir a boca e o nariz; não causar embaçamento dos vidros; e não permitir a transferência de organismos pelo material. Posteriormente, por volta de 1960, as máscaras descartáveis foram desenvolvidas e começou-se a utilizar polipropileno ou fibra de vidro como materiais de filtração (DOWD et al., 2020). Além de profissionais da saúde, recentemente residentes de alguns países, como a China, aderiram às máscaras faciais para evitar exposição ao material particulado no ar. O uso de máscaras em países onde a concentração de poluentes no ar é alta tem o potencial de diminuir a incidência de acidentes cardiovasculares agudos e de melhorar o bem-estar da população (LANGRISH et al., 2012).

Os respiradores, por sua vez, foram desenvolvidos para filtrar fumaça em 1877 nos Estados Unidos da América (EUA). Todavia, a tecnologia desses EPIs teve um grande avanço na Primeira Guerra Mundial devido às armas químicas (COHEN; BIRKNER, 2012). Especificamente na área da saúde, a utilização de respiradores se iniciou nos EUA com o aumento dos casos de tuberculose na década de 1980. Por fim, em 2002, os respiradores N95

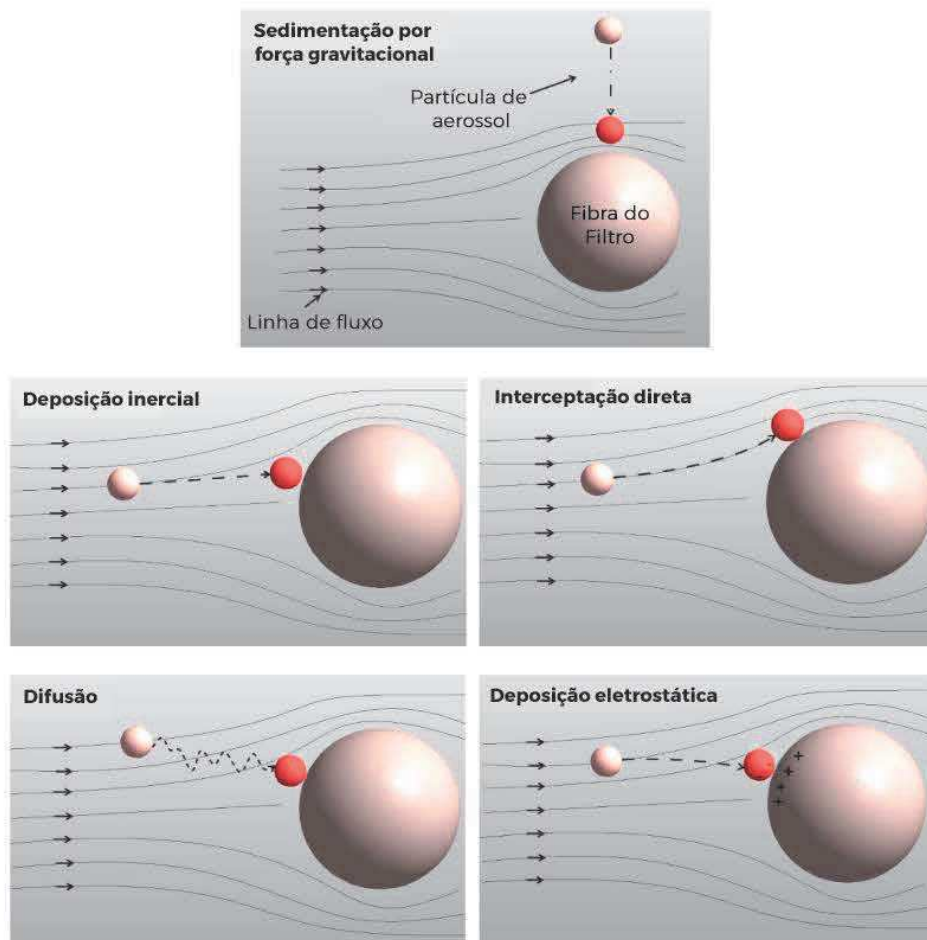
foram aprovados pelo Food and Drug Administration (FDA) para dificultar a propagação de doenças transmitidas pelo ar (DOWD et al., 2020).

3.3 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO

A filtração é o processo que visa melhorar a pureza de um material separando as partículas presentes em uma mistura, pela passagem em uma membrana ou filtro. Os tipos mais comuns de filtração são sólido-gás e sólido-liquido. As partículas filtradas podem ser macro, como poeira e pólen, micrométricas, como bactérias, ou até nanométricas, como vírus (ADANUR; JAYSWAL, 2020).

Nos filtros usados em máscaras e respiradores, duas características são fundamentais: permitirem que a respiração ocorra e não serem obstruídos quando as partículas forem aderidas à superfície (DOWD et al., 2020). Esses filtros são feitos de fibras que formam uma estrutura com poros (ADANUR; JAYSWAL, 2020). A eficiência do material depende da estrutura (tamanho dos poros, organização da fibra), carga, grossura e material das fibras, e o modo de filtração depende da relação entre o tamanho dos poros e o tamanho das partículas (ADANUR; JAYSWAL, 2020; DOWD et al., 2020). Partículas maiores que o tamanho dos poros são facilmente retidas. Já quando as partículas são menores que o tamanho dos poros, existem 5 principais mecanismos pelos quais a filtração pode ocorrer: difusão, interceptação direta, deposição inercial, sedimentação por força gravitacional e deposição eletrostática (ADANUR; JAYSWAL, 2020). A Figura 3 ilustra os mecanismos de filtração.

Figura 3 – Mecanismos de filtração de partículas.



Fonte: Adaptado de TCHARKHTCHI et al., 2021.

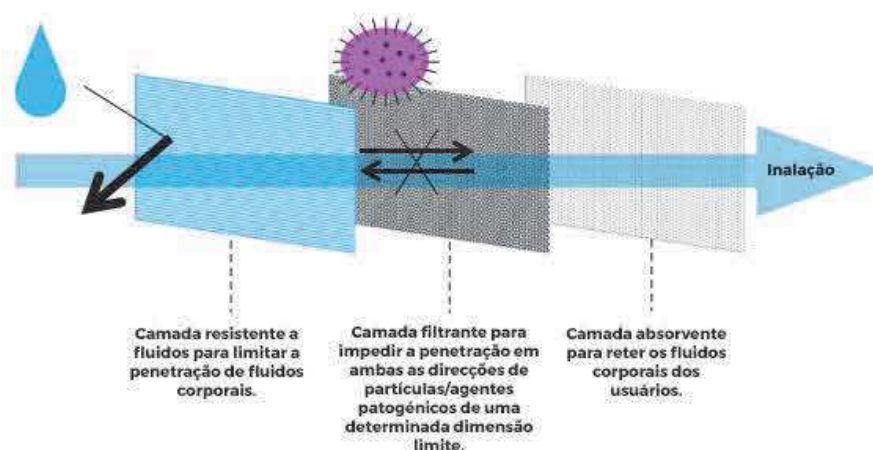
As partículas menores que $0,2 \mu\text{m}$ são capturadas mais efetivamente pelo mecanismo de difusão. Nesse mecanismo, a partícula se move em zigue-zague devido ao movimento browniano do fluido e colide aleatoriamente com a fibra (ADANUR; JAYSWAL, 2020; TCHARKHTCHI et al., 2021). Já a interceptação direta ocorre quando uma partícula está a uma distância menor que seu raio da superfície da fibra, e é atraída para a fibra por forças de Van der Waal (ADANUR; JAYSWAL, 2020). Esse método extrai partículas de até $0,6 \mu\text{m}$, mas é mais aparente conforme o tamanho da partícula diminui (TCHARKHTCHI et al., 2021). A deposição inercial, por outro lado, ocorre com partículas maiores ($1 \mu\text{m}$ ou mais) e com velocidades altas por possuírem uma inércia maior. Essas partículas ficam aprisionadas quando, ao invés de fluir pelo filtro, se afastam das linhas de ar e colidem com a fibra. Outro método de filtração de partículas maiores ($1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$) é o da sedimentação, que ocorre devido à força gravitacional sobre a partícula (ADANUR; JAYSWAL, 2020; TCHARKHTCHI et al., 2021).

Por fim, o método da deposição eletrostática é útil para filtração de partículas grandes e pequenas. Nesse método, partículas que possuem cargas são capturadas por fibras de cargas opostas pela atração eletrostática (ADANUR; JAYSWAL, 2020). A filtração por tal mecanismo é enfraquecida conforme a velocidade da partícula aumenta. Como a velocidade da respiração é baixa, a filtração por deposição eletrostática é adequada para máscaras (TCHARKHTCHI et al., 2021). Além disso, esse processo depende da propriedade dielétrica do material. Dessa forma, materiais poliméricos que possuem alta resistência elétrica e estabilidade estão entre as melhores opções para filtros de máscaras e respiradores (DOWD et al., 2020).

3.4 ESTRUTURAS DAS MÁSCARAS E RESPIRADORES

As diferenças entre as máscaras cirúrgicas e respiradores são decorrentes de suas estruturas. As máscaras cirúrgicas geralmente possuem uma estrutura em três camadas (Figura 4), cada uma com uma função específica: a camada central é o filtro da máscara; a camada interna é feita com um material hidrofílico para impedir que gotículas de muco salivares sejam liberadas pelo usuário; e a camada externa é feita de um material hidrofóbico, para repelir as gotículas muco salivares de outras pessoas (ADANUR; JAYSWAL, 2020; CHUA et al., 2020). Essa estrutura limita a penetração de partículas e patógenos de ambos os lados, protegendo tanto o usuário da máscara quanto as pessoas ao redor (CHUA et al., 2020).

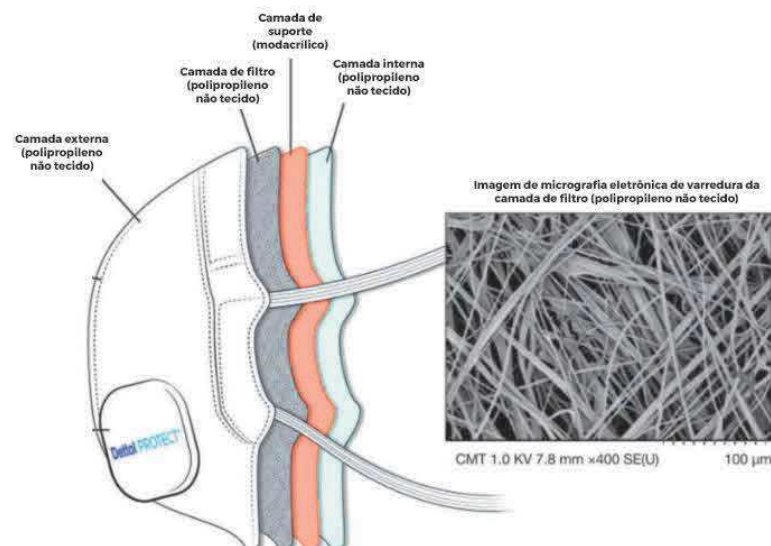
Figura 4 – Ilustração das 3 camadas de uma máscara cirúrgica e suas funções.



Fonte: Adaptado de CHUA et al., 2020.

Por sua vez, um respirador possui uma estrutura com quatro camadas de filtros (DOWD et al., 2020). As camadas internas do respirador consistem em uma camada de filtro não tecido e em uma camada de modacrílico, feita de fibras formadas por copolímeros com 35 a 85% de poli(acrilonitrila) e 15 a 65% de outros monômeros como o poli(cloreto de vinila), que proporciona forma e estrutura ao respirador (Figura 5) (BARTUCCI; CHEN; THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2018; DOWD et al., 2020). Já as camadas externas são hidrofóbicas, para prevenir que gotículas sejam absorvidas (DOWD et al., 2020).

Figura 5 – Ilustração esquemática das camadas de um respirador.



Fonte: Adaptado de STEVE ZHOU et al., 2018.

3.5 POLÍMEROS E TECIDOS NÃO-TECIDOS

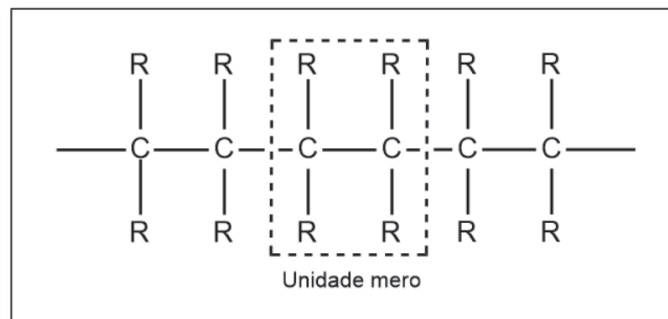
O conhecimento da estrutura e características dos polímeros e de não-tecidos é importante para a compreensão da utilização dos polímeros como material de fabricação de máscaras, e também dos impactos ambientais decorrentes do aumento do uso de máscaras.

Materiais como a madeira, a borracha natural, o algodão e a lã são exemplos de polímeros naturais, derivados de plantas e animais, que são utilizados há séculos. Proteínas, enzimas, celulose e amidos também são polímeros naturais importantes para processos biológicos e fisiológicos que ocorrem em plantas e animais. O avanço da tecnologia e ciência permitiu o desenvolvimento dos polímeros sintéticos que constituem grande parte dos plásticos,

borrachas e materiais fibrosos utilizados atualmente. Esses materiais podem ser produzidos com baixo custo e ter suas propriedades melhoradas em relação aos polímeros naturais (CALLISTER, 2002).

Com relação a estrutura molecular, os polímeros são formados por macromoléculas constituídas de uma cadeia longa majoritariamente de carbonos unidos por ligações covalentes e que possuem unidades estruturais que se repetem, os meros. No processo de polimerização os monômeros, moléculas que consistem em um único mero, se ligam produzindo polímeros com grandes massas molares. A estrutura básica da cadeia principal de um polímero genérico e do mero está esquematizada na Figura 6. Nessa figura, as linhas de ligação nas extremidades representam que a molécula se estende em cada direção, com o padrão de repetição dos meros, e os Rs podem simbolizar tanto átomos quanto radicais maiores. Além disso, os átomos de carbono da cadeia principal podem formar ligações duplas tanto na cadeia como nas ligações laterais (CALLISTER, 2002).

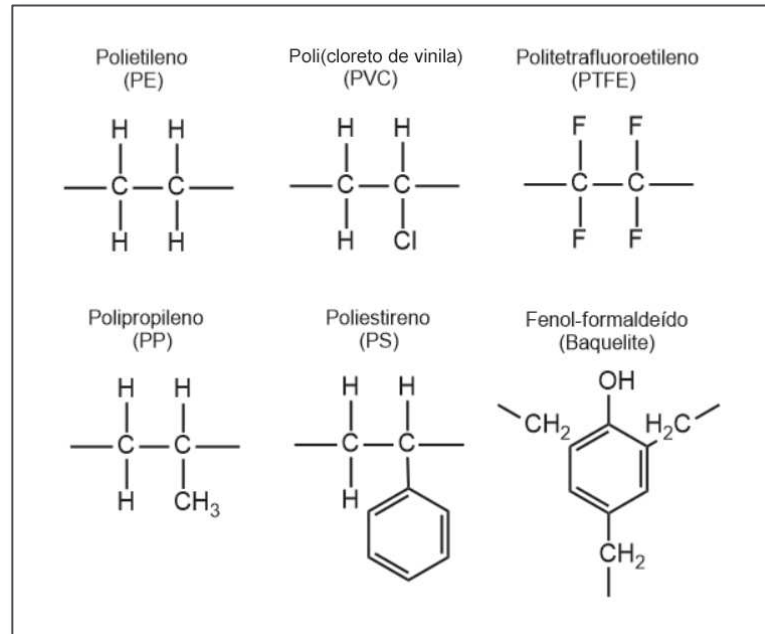
Figura 6 – Representação esquemática da estrutura do mero e da cadeia de um polímero genérico.



Fonte: Adaptado de CALLISTER, 2002.

Por serem a unidade de repetição básica dos polímeros, os meros são utilizados para classificá-los. Nessa divisão, o termo homopolímero é atribuído aos que possuem somente um tipo de mero ao longo de sua cadeia. No entanto, as cadeias poliméricas também podem ser compostas pois duas ou mais unidades que se repetem. Um polímero com essa característica é denominado copolímero (CALLISTER, 2002). As estruturas dos meros de alguns dos polímeros mais comuns estão ilustradas na Figura 7.

Figura 7 – Estruturas dos meros dos polímeros mais comuns.



Fonte: Adaptado de CALLISTER, 2002.

Outra forma de classificação dos polímeros deriva da resposta mecânica a temperaturas elevadas. Nessa classificação, tem-se os polímeros termoplásticos e os polímeros termofixos. A maior parte dos polímeros lineares e dos polímeros com poucas ramificações são termoplásticos. Os polímeros termoplásticos são dúcteis, relativamente flexíveis e podem ser aquecidos e resfriados sem perder as suas propriedades. Quando aquecidos, os termoplásticos amolecem e podem até se liquefazer, pois a força das ligações secundárias (ligações de hidrogênio, ligações dipolo-dipolo e forças de dispersão) entre as moléculas do polímero diminui e permite que as cadeias se movam. Esse processo é reversível pois quando a temperatura é diminuída as ligações secundárias se refazem e o polímero endurece novamente. O processo de aquecimento se torna irreversível somente quando o aumento de temperatura é suficiente para quebrar as ligações covalentes da molécula, degradando o polímero (CALLISTER, 2002).

Já os polímeros que possuem ligações cruzadas, cadeias poliméricas lineares unidas por ligações covalentes, costumam ser termofixos. Os polímeros denominados termofixos são mais duros e mais frágeis que os termoplásticos, e endurecem permanentemente quando submetidos a aquecimento, devido à formação de ligações covalentes cruzadas. Somente quando aquecidos

excessivamente as ligações cruzadas do termofixo se rompem e o material é degradado (CALLISTER, 2002).

Alguns dos materiais frequentemente usados em máscaras e respiradores são polímeros sintéticos termoplásticos como polipropileno (PP), polietileno, poliésteres, poliamidas, policarbonatos, poliestireno e poliacrilonitrila (ARMENTANO et al., 2021; DOWD et al., 2020; TCHARKHTCHI et al., 2021). Polímeros termoplásticos hidrofóbicos são os mais apropriados para essa aplicação (TCHARKHTCHI et al., 2021). No entanto, dependendo da parte da máscara em que o polímero é utilizado, é necessário que a hidrofobicidade da superfície seja melhorada para que partículas aquosas sejam capturadas e filtradas de modo mais efetivo (DOWD et al., 2020).

Apesar do uso de outros polímeros, o PP é o mais utilizado em máscaras cirúrgicas (CHUA et al., 2020). O PP, formado a partir da polimerização do propileno, é um polímero termoplástico, semicristalino e apolar (ARMENTANO et al., 2021). A facilidade de processamento devido à baixa viscosidade do fundido, a possibilidade de formação de fibras finas dado às boas características reológicas, o preço acessível e a disponibilidade por todo o mundo estão entre os motivos que fazem o polipropileno ser amplamente utilizado como material de máscaras e respiradores (BHAT; MALKAN, 2007; CHUA et al., 2020; KARTHIK; PRACHA KARAN; RATHINAMOORTHY, 2016).

Os TNTs também podem compor as camadas das máscaras e respiradores. Este é um material feito a partir de fibras de polímeros (ARMENTANO et al., 2021). A produção de tecidos pode ocorrer a partir de fibras e também de fios. Nos tecidos convencionais, feito pela tecelagem ou tricô, as fibras são transformadas em fios e então o tecido é fabricado. Já no processo de fabricação do TNT, as fibras são transformadas em tecido diretamente, eliminando o processo de formação de fios (KARTHIK; PRACHA KARAN; RATHINAMOORTHY, 2016). A Figura 8 mostra a estrutura dos diferentes tipos de tecido.

Figura 8 – Estrutura de tecidos não-tecidos (*nonwoven*), tecidos feitos a partir da tecelagem (*woven*) e tecidos feitos por tricô (*knitted fabrics*).



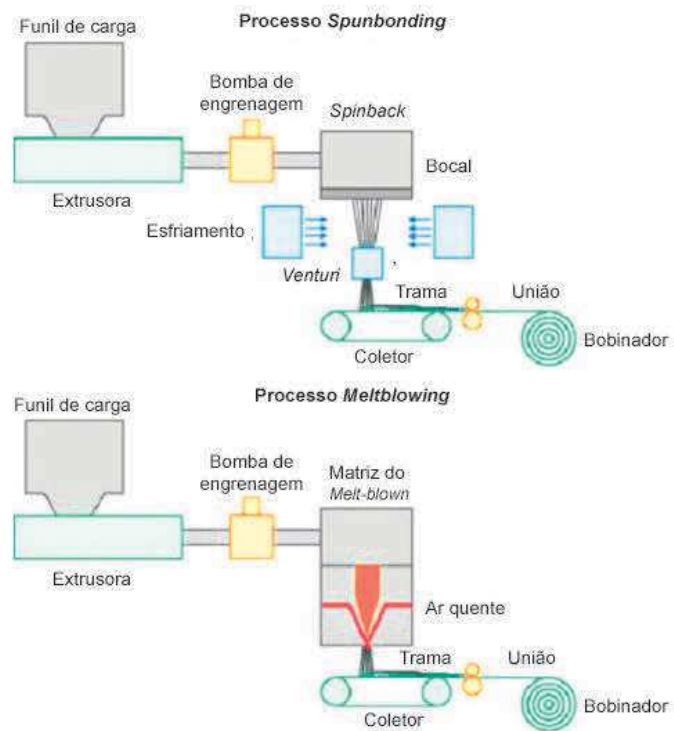
Fonte: KARTHIK; PRACHA KARAN; RATHINAMOORTHY, 2016.

Os TNTs não possuem fios entrelaçados, pois o processo de união das fibras é feito usando calor, produtos químicos ou processos mecânicos. A resistência mecânica do TNT é menor que dos outros tipos de tecidos, no entanto sua fabricação é mais barata e rápida (CHUA et al., 2020). Além disso, a aleatoriedade e a estrutura tridimensional do TNT faz com que a eficiência de filtração seja maior que a de outros tecidos, característica que favorece a aplicação em produtos de proteção respiratória (ADANUR; JAYSWAL, 2020).

Os métodos mais comuns de fabricação de TNTs são o *spunbonding*, o *meltblowing*. Os dois processos são similares, mas há diferença na etapa do processo que molda o filamento (CHUA et al., 2020). Pelo processo *spunbonding*, o polímero fundido passa por uma matriz para formar os filamentos, que passam por uma corrente de ar frio, são coletados por uma tela e então unidos por meio de calor, processos químicos ou mecânicos. Já no *meltblowing*, uma corrente de ar quente em alta velocidade faz com que o polímero fundido passe por uma matriz de extrusão com centenas de orifícios milimétricos, formando as fibras que são recolhidas em uma tela e unidas para que o TNT se forme (ADANUR; JAYSWAL, 2020; CHUA et al., 2020). A diferença do *spunbonding* e do *meltblowing* no modo que as fibras são formadas faz com que a morfologia e as propriedades do TNT produzido em cada processo também sejam distintas. As fibras formadas no *meltblowing* possuem de 1 a 5 μm de diâmetro, enquanto as fibras formadas no *spunbonding* tem o diâmetro de 15 a 50 μm . O TNT feito a partir do *meltblowing* geralmente é usado na camada principal de filtração, pois ele possui fibras com diâmetros menores que tornam a filtração mais eficiente que a do TNT produzido pelo *spunbonding*. Por outro lado, os tecidos formados por *spunbonding* possuem uma resistência à tração maior

devido aos filamentos mais grossos. (ADANUR; JAYSWAL, 2020; ARMENTANO et al., 2021). A Figura 9 ilustra as etapas dos dois processos de fabricação do TNT.

Figura 9 – Ilustração esquemática das etapas dos processos *spunbonding* e *meltblowing*.



Fonte: Adaptado de CHUA et al., 2020.

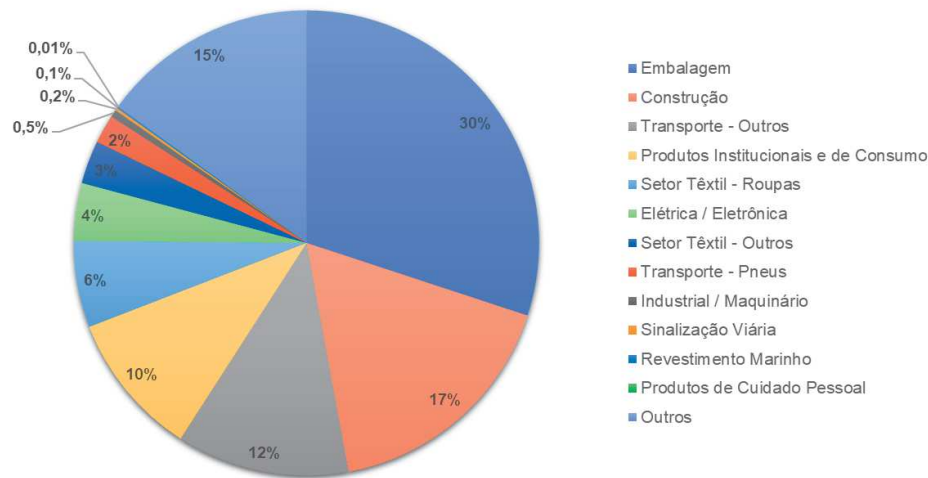
4 IMPACTOS AMBIENTAIS

4.1 POLUIÇÃO POR PLÁSTICOS, MÁSCARAS E RESPIRADORES

O uso de plásticos transformou o mundo atual. Uma das principais contribuições do uso destes materiais poliméricos está relacionada a saúde pública, devido ao desenvolvimento de embalagens para alimentos e equipamentos médicos descartáveis. Essas contribuições do plástico na vida diária foram enfatizadas com a pandemia de COVID-19 (ANDRADY; NEAL, 2009; PARASHAR; HAIT, 2021; PRATA et al., 2020). Com relação ao consumo dos plásticos, em 2017 a maior quantidade foi destinada a produção de embalagens, com cerca de 30% do uso global (Figura 10). O setor de embalagens é seguido no consumo pelos setores de construção,

transporte, produtos institucionais e de consumo e têxtil, que consomem 17%, 12%, 10% e 6%, respectivamente (STATISTA, 2021a). A versatilidade dos materiais poliméricos aliada ao baixo custo fez com que a produção mundial passasse de 1,5 milhões de toneladas em 1950 a 367 milhões de toneladas em 2020 (ANDRADY; NEAL, 2009; STATISTA, 2021b).

Figura 10 - Distribuição global do consumo de plástico por aplicação em 2017.



Fonte: Adaptado de STATISTA, 2021a.

Apesar da importância dos materiais poliméricos no mundo atual, o uso indiscriminado e a má gestão dos resíduos geraram uma contaminação ambiental generalizada (PRATA et al., 2020). Até 2015 cerca de 79% de todos os produtos plásticos gerados foram lançados em aterros sanitários e no meio ambiente, 12% dos plásticos foram incinerados e somente 9% foi reciclado (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). Além disto, atualmente os oceanos possuem mais de 5 trilhões de pedaços de plásticos flutuando (PRATA et al., 2020). Se as taxas de produção e poluição continuarem como as atuais, em 2050 haverá mais plástico que peixes (em massa) nos mares e oceanos (RHODES, 2018). A definição dos materiais plásticos como ameaça ao meio ambiente é decorrente da sua onipresença, persistência, e dos efeitos nas comunidades ecológicas e no funcionamento dos ecossistemas (PRATA et al., 2020).

Como as máscaras e respiradores são produzidos por polímeros, as consequências ambientais devido ao amplo uso desses objetos durante a pandemia de COVID-19 se tornou

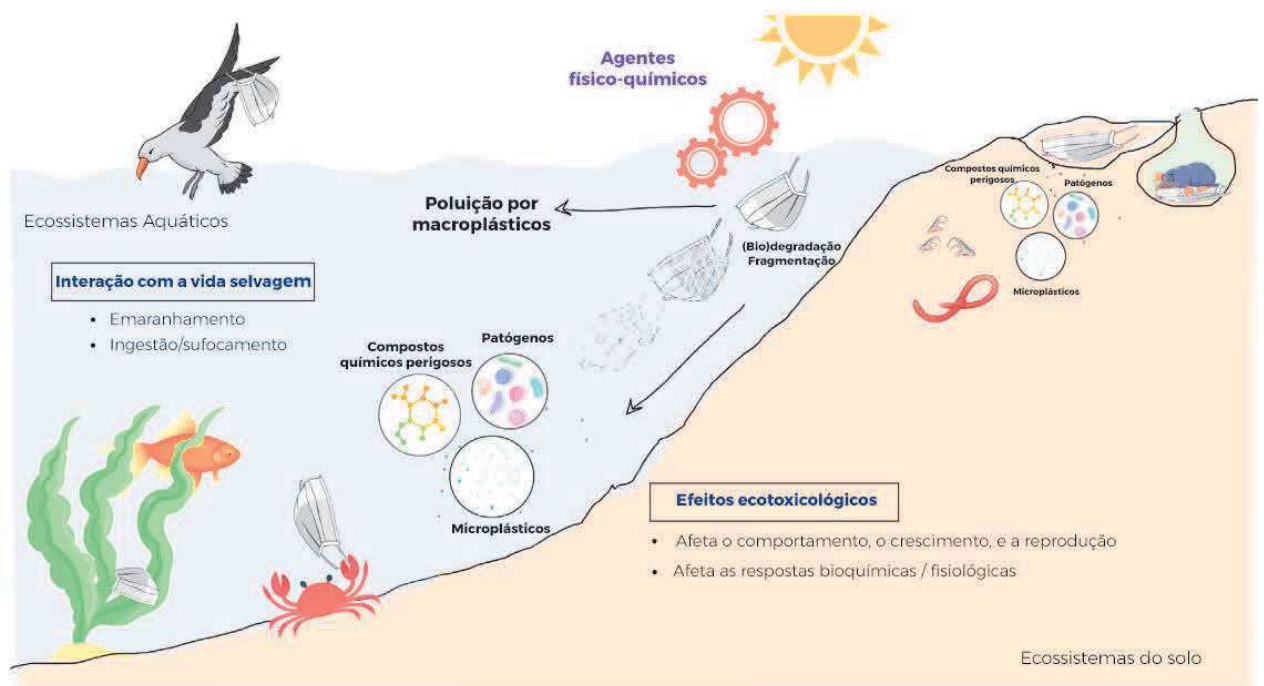
objeto de estudo de diversos pesquisadores (ARAGAW, 2020; CHEN et al., 2021; PATRÍCIO SILVA et al., 2021; PRATA et al., 2020; SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021; SULLIVAN et al., 2021). Com relação ao uso de máscaras e respiradores, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que cerca de 89 milhões de máscaras médicas seriam necessárias por mês para suprir a demanda dos trabalhadores da área da saúde. No entanto, as máscaras estão também sendo usadas pelo público geral como forma de prevenção ao COVID-19. Assim, em uma estimativa usando como base o padrão de consumo de máscaras na Itália no início da pandemia, seriam necessários cerca de 129 bilhões de máscaras por mês para suprir a demanda mundial, com 7,8 bilhões de habitantes (PRATA et al., 2020). O uso de máscaras descartáveis e respiradores pela população geral, que não possui treinamento de uso e descarte desses EPIS, intensifica a poluição por plásticos devido ao descarte incorreto (ARAGAW, 2020; PATRÍCIO SILVA et al., 2021). Uma pesquisa online feita com indivíduos da Austrália, Estados Unidos, Inglaterra, Singapura, Sri Lanka e Índia mostrou que 19% dos entrevistados jogavam fora as máscaras faciais na rua, 3% jogavam diretamente na rede de esgoto e 10% queimavam as máscaras (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021). Além do descarte incorreto, máscaras que são descartadas em aterros sanitários podem ser transportadas pelo vento para outros ambientes devido a sua baixa densidade (PATRÍCIO SILVA et al., 2021).

Como consequência do descarte incorreto, máscaras faciais e respiradores vêm sendo encontrados espalhados em áreas urbanas, e também em lagos, rios e praias (PATRÍCIO SILVA et al., 2021; PRATA et al., 2020). Recentemente pesquisadores iniciaram estudos de monitoramento dos detritos de máscaras e respiradores em diversos países: no Canadá e no Peru, a densidade de máscaras encontradas em áreas urbanas foi de aproximadamente 0,001 itens m^{-2} ; já no Kenya pesquisadores chegaram ao índice de 0,01 itens m^{-2} em ruas e 0,1 itens m^{-2} nas praias; na Indonésia, cerca de 250 máscaras podem chegar aos ambientes aquáticos diariamente (PRATA et al., 2020). Os valores dependem do sítio amostral, das condições climáticas e da densidade populacional. No entanto, alguns estudos mostraram que o número de máscaras e respiradores encontrados em rios e praias é consideravelmente maior que em outros locais. Apesar da porcentagem de resíduos de máscaras ser mais baixa de que de outros tipos de plásticos de uso único, a constituição e composição desses objetos associados ao padrão de consumo atual devido à pandemia de COVID-19 gera preocupações ambientais semelhantes (PRATA et al., 2020).

4.2 CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS DA POLUIÇÃO POR MÁSCARAS E RESPIRADORES

Algumas das consequências ambientais da poluição por máscaras e respiradores que serão abordadas nessa seção estão ilustradas na figura 11.

Figura 11 - Efeitos potenciais de máscaras e respiradores em ambientes aquáticos e terrestres.



Fonte: Adaptado de PATRÍCIO SILVA et al., 2021.

- **Liberação de microplásticos**

Os plásticos que poluem o meio ambiente são divididos entre os macropolásticos, materiais com mais de 5 mm de dimensão, os microplásticos, todos os plásticos que são menores que 5 mm e os nanoplásticos, menores que 1 μm , embora para esta última classe ainda haja discussões sobre o limite de tamanho (LI et al., 2020; RHODES, 2018). Outra forma de classificação da poluição por plásticos é entre plásticos primários e secundários. Os primários são os que mantêm sua forma e tamanho original; já os plásticos secundários são formados a partir da desintegração dos plásticos primários (RHODES, 2018).

As máscaras e respiradores que não são descartados corretamente, por serem formados principalmente por materiais poliméricos, são uma fonte potencial de microplásticos no meio ambiente (ARAGAW, 2020; CHEN et al., 2021; PRATA et al., 2020; SHEN et al., 2021). A liberação dos microplásticos ocorre, pois, as máscaras sofrem degradação/fragmentação por processos físico-químicos, como radiação ultravioleta (UV), ventos, correntezas, e por processos bioquímicos, como a atividade enzimática (PATRÍCIO SILVA et al., 2021). Uma pesquisa mostrou que a maior parte dos microplásticos liberados por máscaras tem a forma de microfibras. Também se concluiu que as fibras ligadas fracamente em não-tecidos são facilmente liberadas, introduzindo no ambiente contaminação por microplásticos (CHEN et al., 2021).

Um dos primeiros estudos que quantificou a liberação de microplásticos por máscaras descartáveis, mostrou que até 173 mil microfibras poderiam ser liberadas por dia, após 180 h de exposição a luz UV e 24 h de agitação em água do mar artificial. Além disso, os pesquisadores mostraram que em máscaras coletadas na praia os sinais de degradação eram similares aos das máscaras submetidas ao experimento controlado, confirmando que este procedimento forneceu uma descrição confiável do que ocorre ao ar livre sob exposição prolongada ao sol. Os dados foram obtidos por observações de imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV) e de análise por micro-espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (μ -FTIR) (SALIU et al., 2021). Outro estudo utilizou luz UV e sedimentos para estimar a liberação de microplásticos de máscaras cirúrgicas em um ambiente marinho, e concluiu que a abrasão causada pela areia pode intensificar a liberação de partículas (WANG et al., 2021). Demais resultados de pesquisas sobre a liberação de microplásticos por máscaras e respiradores foram: máscaras e respiradores usados, coletados depois de um dia de uso, liberaram uma quantidade de microplásticos de 6 a 8 vezes maior que máscaras novas (CHEN et al., 2021); conforme as máscaras se fragmentam a área de exposição aos processos que causam a liberação de microplásticos aumenta, o que intensifica a liberação de microfibras (SHEN et al., 2021); e após cerca de dois meses de exposição a intemperismo natural, no telhado de um laboratório da Universidade de Hunan, China, as máscaras descartáveis se tornaram fragmentos muito frágeis e a quantidade de microplástico liberado aumentou cerca de 25 mil vezes (SHEN et al., 2021).

- **Persistência**

Uma das preocupações relacionadas aos resíduos de máscaras e respiradores que são descartados incorretamente é a persistência dos materiais plásticos no meio ambiente (PRATA et al., 2020). Persistência pode ser definida como a tendência de um material ou substância a permanecer no ambiente por ser resistente aos processos de degradação (CETESB, [s.d.]). Dessa forma, as qualidades que tornaram os polímeros materiais de ampla aplicação na sociedade, a estabilidade e a durabilidade, fazem com que eles sejam resistentes à decomposição quando é preciso descartá-los (RHODES, 2018). Assim como outros compostos orgânicos, os plásticos também se decompõem, no entanto o processo de decomposição é extremamente lento, chegando a uma estimativa de 50 anos para um copo de isopor, 400 anos para um copo plástico, 450 anos para uma fralda descartável e 600 anos para uma linha de pesca (ANDRADY, 2015; RHODES, 2018).

O processo de decomposição dos plásticos no meio ambiente pode ocorrer por meio de quatro mecanismos principais: fotodegradação induzida pela luz UV do sol, degradação termo-oxidativa, hidrólise e biodegradação por micróbios (RHODES, 2018). No entanto, o processo de degradação depende do ambiente e também do material, polímeros distintos sofrem degradação por mecanismos e taxas diferentes. O polipropileno, por exemplo, quando puro é resistente a fotodegradação e termo oxidação em temperaturas moderadas, mas devido à presença de uma variedade de impurezas o material se torna suscetível a fotodegradação (FOTOPOULOU; KARAPANAGIOTI, 2019). Em relação ao ambiente, a Tabela 1 compara a disponibilidade em diferentes ambientes de agentes que são necessários ou interferem nos processos de decomposição dos plásticos:

Tabela 1 - Comparação da disponibilidade de agentes de intemperismo em diferentes ambientes.

Agente de Intemperismo	Terra	Praia (Areia)	Superfície da Água	Águas profundas ou sedimento
Luz do Sol	Sim	Sim	Sim	Não
Temperatura	Alta	Alta	Moderada	Baixa
Nível de Oxigênio	Alta	Alta	Alta/Moderada	Baixa
Biofilme (filtra a radiação solar)	Não	Não	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de ANDRADY, 2015.

É possível observar que a velocidade a decomposição de plásticos nos oceanos será muito menor que no solo, exceto em aterros, dadas as disponibilidades dos agentes de intemperismo nestes ambientes (ANDRADY, 2015; RHODES, 2018). Quando o material plástico afunda na água não há luz solar para induzir a fotodegradação, e a temperatura e a disponibilidade de oxigênio são baixas, limitando a reação de degradação termo-oxidativa (RHODES, 2018). Já nos plásticos que flutuam no oceano a decomposição é lenta, pois além do efeito de resfriamento da água a formação de biofilmes no material dificulta a fotodegradação. Isso ocorre por dois principais motivos: a formação do biofilme pode aumentar a densidade do plástico e fazer com que ele submerja na água do mar, e o biofilme protege a superfície do plástico da exposição à luz solar, interferindo no início do processo de degradação (ANDRADY, 2015; RHODES, 2018). Além disso, apesar da formação de biofilme ao redor dos plásticos, são raras as espécies que possuem enzimas para a biodegradação e a cinética do processo no mar é lenta (ANDRADY, 2015).

Em relação a degradação em aterros sanitários, o processo ocorre mais lentamente, pois esses ambientes são praticamente anaeróbios, ou seja, não fornecem a concentração de oxigênio necessária para a degradação termo-oxidativa. Uma das consequências da decomposição lenta é que os terrenos utilizados em aterros sanitários se tornam indisponíveis para utilização produtiva, como na agricultura (RHODES, 2018).

- **Interação com animais silvestres**

As máscaras e respiradores que estão no meio ambiente podem afetar diretamente a vida dos animais silvestres devido à possibilidade de emaranhamento e de ingestão (PATRÍCIO SILVA et al., 2021). A Figura 12 ilustra algumas das ameaças causadas pelas máscaras faciais à vida aquática. Foram relatadas mais de 200 espécies com plásticos de diversos tipos emaranhados ou ingeridos, incluindo mamíferos marinhos, tartarugas marinhas e pássaros. Dessa forma, os plásticos descartados incorretamente afetam os animais independentemente do seu habitat, fisiologia e padrões comportamentais (PATRÍCIO SILVA et al., 2021). O emaranhamento em plásticos diminui a mobilidade dos animais e tem potencial de causar a morte por sufocamento, afogamento, fome, por serem impedidos de se alimentar pelo plástico, por serem incapazes de escapar de predadores, dentre outros. Além disso, o emaranhamento também pode causar lacerações, úlceras, infecções graves e cortes se o animal continuar crescendo com o plástico em seu corpo (RHODES, 2018). Da mesma forma, a ingestão de fragmentos de plásticos, microplásticos por exemplo, causa a morte de animais, já que o material ingerido pode encher o estômago e fazer com que os animais morram de fome devido à falsa sensação de saciedade (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021).

Figura 12 - Ameaças à vida aquática devido ao uso de máscaras faciais.



Fonte: SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021.

O primeiro caso relatado de um animal que foi vítima de resíduos decorrentes da pandemia, foi em abril de 2020 no Canadá. Um tordo-americano (*Turdus migratorius*) faleceu devido ao emaranhamento em uma máscara descartável (Figura 13). No Brasil, em setembro de 2020, foi relatado um caso de um pinguim de Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) que morreu após ingerir uma máscara facial inteira (HIEMSTRA et al., 2021). Diversos outros casos foram registrados por todo o mundo, mostrando que, apesar da quantidade de resíduos de máscaras e respiradores no meio ambiente ser bem menor que o de outros tipos de plásticos, o lixo relacionado à COVID-19 aumenta o perigo já causado por itens plásticos comuns (HIEMSTRA et al., 2021; PATRÍCIO SILVA et al., 2021).

Figura 13 - Primeira vítima de resíduos plásticos da pandemia de COVID-19: um tordo-americano (*Turdus migratorius*) emaranhado em uma máscara facial em Chilliwack, BC, Canadá, em 10 de abril de 2020.



Fonte: HIEMSTRA et al., 2021.

- **Efeitos ecotoxicológicos**

Os efeitos ecotoxicológicos decorrentes da poluição pelos materiais plásticos de máscaras e respiradores estão relacionados com a liberação de microplásticos e com a liberação e absorção de compostos químicos perigosos (PATRÍCIO SILVA et al., 2021).

Apesar dos efeitos da interação de animais selvagens com os macroplásticos serem mais visíveis, a ingestão de microplásticos também causa problemas para um vasto número de espécies (RHODES, 2018). Além disso, o emaranhamento ocorre principalmente em espécies grandes, enquanto detritos de plásticos, principalmente microplásticos, podem ser ingeridos por quase todos os organismos na cadeia trófica (LI et al., 2020). A ingestão de microfibras induz efeitos ecotoxicológicos mais graves que as outras formas de micropartículas (PATRÍCIO SILVA et al., 2021). Isso se torna mais preocupante pelo fato de que as microfibras são as formas de microplásticos mais emitidas pelas máscaras e respiradores, como já mencionado anteriormente (CHEN et al., 2021). Alguns dos efeitos da ingestão por diversos organismos de microfibras de polipropileno, polietileno e poliésteres, alguns dos plásticos mais utilizados em máscaras e respiradores, são: alterações comportamentais, diminuição da atividade alimentar, redução do crescimento e massa corporal, aumento de deformidades, redução da reprodução, redução do desenvolvimento embrionário, aumento de processos inflamatórios e estresse oxidativo (PATRÍCIO SILVA et al., 2021). Ademais, a ingestão de microplásticos tem potencial de acumulação ao longo da cadeia alimentar (LI et al., 2020).

Com relação a liberação de compostos químicos, apesar de serem constituídos majoritariamente por polímeros, os plásticos podem conter uma variedade de aditivos como plastificantes, estabilizantes, pigmentos, enchimentos e retardantes de chama que são liberados no meio ambiente. Alguns desses aditivos são tóxicos, carcinogênicos ou disruptores endócrinos. Por exemplo, substâncias como bisfenol A (BPA) e ftalatos, em concentrações de mg L^{-1} a ng L^{-1} , possuem o potencial de prejudicar o sistema endócrino de organismos aquáticos, impactando a mobilidade, fecundidade e crescimento (ARAGAW; MEKONNEN, 2021). Além disso, a liberação desses compostos pode acarretar contaminação de lençóis freáticos (RHODES, 2018). Como os polímeros usados para a fabricação de máscaras e respiradores também possuem esses aditivos, tais objetos podem contribuir para a liberação de compostos potencialmente perigosos. A liberação dos contaminantes pode ocorrer de forma direta, em corpos aquáticos e no solo, ou indiretamente, através da lixiviação de aterros ou de resíduos de estações de tratamento de água (PATRÍCIO SILVA et al., 2021). Além da liberação de compostos, os microplásticos possuem o potencial de adsorver contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água devido a sua natureza hidrofóbica e grande área superficial (ARAGAW; MEKONNEN, 2021). Os microplásticos com contaminantes adsorvidos podem ser ingeridos ou entrar em contato com os organismos, e então os compostos químicos têm

potencial de penetrar os tecidos do organismo, resultando em alterações no organismo ou bioacumulação (CETESB, [s.d.]; PATRÍCIO SILVA et al., 2021).

4.3 POTENCIAIS SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO POR MÁSCARAS E RESPIRADORES

As potenciais soluções para diminuição da poluição por materiais plásticos provenientes de máscaras e respiradores e dos impactos ambientais causados por ela podem ser divididas em estratégias de mitigação e em estratégias de remediação (SILVA, 2021).

Entre as estratégias de mitigação que podem ser adotadas no caso das máscaras e respiradores estão: melhorias na gestão de resíduos municipais; reciclagem; reutilização; utilização de plásticos sustentáveis; e a conscientização pública em relação ao uso e descarte de plásticos (PATRÍCIO et al., 2021).

Em relação as melhorias na gestão de resíduos municipais, um bom sistema de gestão é essencial para a obtenção de informações sobre a quantidade e tipo dos resíduos gerados, para a destinação adequada dos resíduos (reutilização, reciclagem, incineração ou aterro) e para o cumprimento de metas e de regulamentos em relação aos resíduos plásticos. Com a pandemia, a importância de uma gestão de resíduos adequada aumentou devido ao risco de transmissão de patógenos. Dessa forma, é importante que diretrizes e procedimentos relacionados a redução de resíduos, frequência de coleta e destinação dos resíduos sejam criados e aplicados durante a pandemia (PATRÍCIO et al., 2021).

Outra estratégia para redução da poluição gerada pelos resíduos de máscaras e respiradores é a reciclagem. A reciclagem pode ser classificada em primária, secundária, terciária e quaternária. As três primeiras formas possuem como objetivo a recuperação do material, já a reciclagem quaternária tem o objetivo de recuperar energia a partir da incineração do material e é usada principalmente para resíduos contaminados. Na reciclagem primária, polímeros descartados e não contaminados são reutilizados na formação de novos produtos por meio de processos mecânicos. Essa forma de reciclagem é feita na maioria das vezes pelos próprios fabricantes de produtos feitos de plásticos. Os produtos no final de sua vida útil podem passar pela reciclagem secundária, que inclui processos de separação e purificação dos resíduos antes da fabricação de novos produtos. Por fim, na reciclagem terciária, os polímeros são submetidos a processos químicos que os convertem a moléculas pequenas (IGNATYEV;

THIELEMANS; VANDER BEKE, 2014). Máscaras feitas a partir do material de outras máscaras, possuem custo de processamento alto e uma menor eficiência de filtração e qualidade. No entanto, a utilização dos resíduos de máscaras como material para diferentes aplicações é uma boa abordagem em termos de economia circular pois ajuda a reduzir a produção de resíduos e promove a remoção de resíduos de aterros. Por ser resistente, à prova d'água, leve e simples de moldar, os plásticos derivados de máscaras têm o potencial de entrar na composição de materiais de construção como cimento, tijolos, fitas adesivas industriais, tubos, entre outros (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021). Além disso, estudos mostram a possibilidade da aplicação do polipropileno reciclado em produtos com maior valor agregado como peças de automóveis (AJORLOO; GHODRAT; KANG, 2020; YANG et al., 2018). Como os resíduos de máscaras e respiradores são novos, é necessário que sejam feitas mais pesquisas para garantir o desempenho, eficiência e economia dos produtos feitos a partir deles.

Em relação a estratégia de reutilização das máscaras, pode-se utilizar o método de rotação de máscara, e também, técnicas de descontaminação. Na rotação de máscara, o objeto utilizado é pendurado ou guardado em um recipiente que permite o fluxo de ar e é mantido assim por mais de 72 h, pois depois desse tempo o vírus não é mais viável e a máscara pode ser reutilizada. Já a descontaminação pode ser feita por métodos como calor úmido, calor seco, tratamento com UV e vaporização com peróxido de hidrogênio (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021). Como os processos utilizados para descontaminação podem interagir com os materiais utilizados na construção das máscaras e respiradores, os métodos desenvolvidos precisam assegurar que a eficiência de filtração não será diminuída e que a integridade estrutural dos componentes não será afetada negativamente (CHUA et al., 2020). Em abril de 2020 a 3M publicou um boletim técnico no qual mostrava os efeitos de alguns dos métodos de descontaminação supracitados em seus respiradores N95, pois o Centro de Controle de Doenças dos EUA indicou a descontaminação como uma estratégia paliativa devido à escassez de respiradores e máscaras, como a que ocorreu no início da pandemia. No entanto, em julho de 2021 um novo boletim técnico da 3M informou que a descontaminação de máscaras não é mais recomendada pelo Centro de Controle de Doenças dos EUA e também pela empresa, pois a disponibilidade de respiradores aumentou significativamente (3M, 2020, 2021).

Um meio distinto para mitigação da poluição por plásticos devido ao uso de máscaras e respiradores é o da utilização de bioplásticos e polímeros biodegradáveis para a produção. Os

bioplásticos são feitos com polímeros derivados de biomassa, considerados sustentáveis pois substituem por fontes renováveis os combustíveis fósseis. Além disso, bioplásticos que são biodegradáveis, se degradam no meio ambiente por atividade enzimática ou biológica (PATRÍCIO et al., 2021; SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021). Polímeros biodegradáveis produzidos a partir de fibras naturais como cacto, banana, abacate, lótus, sisal, palha, cânhamo, bambu de milho, cânhamo, café e cana-de-açúcar atendem aos requisitos para produção de máscaras. Dessa forma, o polipropileno utilizado para fabricação do não-tecido utilizado nas máscaras e respiradores pode ser substituído por materiais orgânicos e biodegradáveis com propriedades mecânicas, físicas e químicas similares. Apesar de serem biodegradáveis, alguns polímeros precisam de condições específicas para a degradação. Sendo assim, é necessário que pesquisas sejam feitas para avaliar a eficácia e vida útil de máscaras desenvolvidas com diferentes bioplásticos (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021). Além disso, estes materiais podem não ser eficientes na eliminação da poluição por microplásticos.

Por fim, outra solução de mitigação está relacionada com a consciência pública em relação a poluição por plásticos, incluindo as máscaras e respiradores. Para uma mudança efetiva em relação ao uso e descarte de plásticos é necessário que comportamentos sustentáveis sejam promovidos a fim de que novos hábitos substituam os hábitos antigos da população. A conscientização sobre a poluição por plásticos requer esforços de longo prazo para a obtenção de bons resultados. É importante que sejam pesquisadas estratégias eficazes de comunicação para aumentar a consciência ambiental das pessoas e estimular a mudança nos padrões de consumo e comportamento em relação aos plásticos (SELVARANJAN; NAVARATNAM; RAJEEV, 2021).

Apesar das estratégias de mitigação da poluição, quando as máscaras e respiradores entram no meio ambiente, é necessário que ações de remediação sejam tomadas para restauração e proteção dos ecossistemas que serão ameaçados. Dessa forma, tecnologias e biotecnologias vêm sendo desenvolvidas com o intuito de remediar a poluição por plástico (SILVA, 2021). Uma revisão feita em 2020 encontrou, a partir de pesquisas em sites de buscas, literatura acadêmica e em patentes, cerca de 38 tecnologias que estão em uso ou sendo desenvolvidas para coleta de plásticos do meio ambiente (SCHMALTZ et al., 2020). Entre os tipos de tecnologias desenvolvidas para coleta de plásticos e microplásticos estão: caixas e armadilhas, que retêm resíduos da superfície da água; barcos para coleta de plásticos; barreiras de ar, que criam correntes para orientar os resíduos para o sistema de captação; filtros de areia,

que peneiram os resíduos da areia; drones e robôs, que coletam os plásticos flutuantes; auxiliares de detecção, que detectam os resíduos para coleta manual; barreiras flutuantes de grande escala, para uso em oceano aberto; entre outros. No entanto, a maior parte dessas tecnologias, 31 das 38, estão focadas na coleta de macroplásticos e não de microplásticos (SCHMALTZ et al., 2020). Outros exemplos de remediações pesquisadas atualmente são provenientes da biotecnologia para degradação dos plásticos no meio ambiente (*in situ*) e também fora do meio ambiente (*ex situ*), como: bioestimulação e/ou bioaumentação, onde os requisitos naturais para degradação são otimizados, como enzimas modificadas, e organismos geneticamente modificados. Contudo, apesar de soluções promissoras, as abordagens biotecnológicas devem ser otimizadas para que problemas ambientais decorrentes da inserção de novas espécies e enzimas no ambiente sejam evitados (SILVA, 2021).

Apesar da existência e desenvolvimento de tecnologias que possibilitem diminuir os danos ao meio ambiente, por serem resíduos persistentes, quando os plásticos são coletados do meio ambiente por tecnologias remediativas e levados a aterros eles estão sendo somente deslocados no espaço ao invés de serem eliminados. Assim, é importante que estratégias que visam a diminuição da produção de resíduos plásticos sejam priorizadas (GRAY-COSGROVE; LIBOIRON; LEPAWSKY, 2015).

4.3.1. REGULAMENTAÇÕES

Como algumas das estratégias abordadas para diminuição da poluição por máscaras e respiradores envolvem a gestão desses produtos após o consumo, é importante que se tenha o conhecimento das regulamentações brasileiras que classificam esses resíduos e que definem as responsabilidades e ações que podem ser tomadas por cada parte envolvida no ciclo de vida do produto.

A norma ABNT NBR 10004 classifica os resíduos sólidos no que diz respeito aos seus possíveis riscos para a saúde e o meio ambiente, possibilitando seu gerenciamento adequado. Os resíduos são classificados em classes I, II, IIA e IIB. A classe I é a dos resíduos perigosos, que são todos os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos, ou que possuem periculosidade ao meio ambiente ou à saúde, ou que estão listados na norma. Já a classe II, dos resíduos não perigosos, é subdividida em II A, dos resíduos não inertes, e em II B, dos resíduos inertes. Os resíduos não inertes podem ter propriedades como biodegradabilidade,

combustibilidade ou solubilidade em água, enquanto os inertes não possuem nenhum dos seus constituintes solubilizados em água em uma quantidade que exceda os padrões de potabilidade (ABNT, 2004).

Uma vez que os resíduos são classificados, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, determina quais são as responsabilidades do poder público, dos geradores de resíduos, e dos consumidores, e o decreto Nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, estabelece as normas para a execução dessa lei. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a gestão e gerenciamento de resíduos deve adotar a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Uma das responsabilidades do poder público é a elaboração de planos nacionais, estaduais e municipais de gestão de resíduos sólidos, nos quais são estabelecidos, entre outros pontos, os diagnósticos em relação aos resíduos produzidos, metas de redução, reutilização e reciclagem, programas para atendimento dessas metas, normas e diretrizes para a disposição de rejeitos e os meios de controle e fiscalização da implementação do plano. Com relação aos geradores de resíduos, está entre seus deveres a elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos que inclua a descrição do empreendimento, diagnóstico dos resíduos gerados, responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos, metas e procedimentos para minimização de resíduos, entre outros. Além disso, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes tem como responsabilidade o desenvolvimento de produtos que estejam aptos à reutilização e reciclagem, a geração da menor quantidade de resíduos sólidos possíveis e até o recolhimento e destinação ambiental adequada de produtos e resíduos que possuam um sistema de logística reversa, como pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas e produtos eletroeletrônicos. No que diz respeito aos consumidores, suas responsabilidades são acondicionar de forma adequada os resíduos sólidos gerados e disponibilizar para coleta ou devolução os resíduos reutilizáveis ou recicláveis (BRASIL, 2010a, 2010b).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia de COVID-19 corroborou a importância dos materiais plásticos atualmente, principalmente na área da saúde com as máscaras e respiradores utilizados para evitar a propagação e contaminação do vírus causador da doença. As máscaras e respiradores em geral

são formados por camadas de TNT que possibilitam a passagem de ar e filtração de partículas por diferentes mecanismos, que dependem do material utilizado e também do tamanho e carga das partículas a serem filtradas. Os polímeros termoplásticos, como polipropileno, polietileno, poliésteres, poliamidas, policarbonatos, poliestireno e poliacrilonitrila, são utilizados no TNT por terem características que possibilitam a formação de fibras, com eficiência de filtração e também disponibilidade e preço acessível. Apesar da importância das máscaras e respiradores, o aumento do uso devido à pandemia amplificou a quantidade de plásticos gerados e conseqüentemente a poluição por esses materiais. Os plásticos possuem características, como persistência, e a liberação de microplásticos e de aditivos, que causam grande impacto no meio ambiente. Com relação aos impactos, alguns estudos estimaram a liberação de microplásticos por máscaras que atingem o meio ambiente. Também já foram registrados por todo mundo casos de animais que foram vítimas dos resíduos plásticos derivados da pandemia, mostrando que as conseqüências dessa poluição já estão acontecendo. Assim, é necessária a adoção e o desenvolvimento de estratégias e tecnologias para mitigação e remediação da poluição por plásticos, a fim de que os impactos ambientais causados possam ser minimizados e os ecossistemas restaurados.

O desenvolvimento de técnicas e tecnologias que possibilitem a mitigação e a remediação da poluição por plásticos é essencial. No entanto, a consciência da população geral, de governos e indústrias em relação a esse assunto deve ser constantemente trabalhada para que as estratégias desenvolvidas sejam adotadas e gerem resultados efetivos e que perdurem. Os governos são importantes nesse processo, pois podem estabelecer metas gerais para empresas a partir de regulamentações e também trabalhar em campanhas para conscientização da população. Já as empresas, além de gerar impactos positivos ao meio ambiente com a adoção de estratégias mais sustentáveis em relação aos produtos plásticos produzidos, podem se diferenciar e mostrar seus valores a partir dessas estratégias. A 3M por exemplo, reconhecida pelo engajamento com a sustentabilidade, possui práticas como o Programa Nacional de Reciclagem de Esponjas *Scotch-Brite* e o projeto *Dê a Mão para o Futuro*, que possibilitam a reciclagem de produtos e embalagens.

6 REFERÊNCIAS

3M. **Decontamination Methods for 3M N95 Respirators**. Disponível em: <<https://www.henryschein.com/us-en/images/corporate/N95-Decon-v4.pdf>>.

3M. **Decontamination of 3M Filtering Facepiece Respirators, such as N95 Respirators, in the United States - Considerations**. Disponível em: <<https://multimedia.3m.com/mws/media/1824869O/decontamination-methods-for-3m-filtering-facepiece-respirators-technical-bulletin.pdf>>.

ABNT. **ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação**, 2004. Disponível em: <www.abnt.org.br>

ADANUR, S.; JAYSWAL, A. Filtration mechanisms and manufacturing methods of face masks: An overview. **Journal of Industrial Textiles**, v. 0, n. 0, p. 1–35, 2020.

AJORLOO, M.; GHODRAT, M.; KANG, W.-H. Incorporation of Recycled Polypropylene and Fly Ash in Polypropylene-Based Composites for Automotive Applications. **Journal of Polymers and the Environment** 2020 29:4, v. 29, n. 4, p. 1298–1309, 9 nov. 2020.

ANDRADY, A. L. Persistence of Plastic Litter in the Oceans. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (Eds.). **Marine Anthropogenic Litter**. 1. ed. [s.l.] Springer Open, 2015. p. 57–72.

ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977–1984, 2009.

ARAGAW, T. A. Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. **Marine Pollution Bulletin**, v. 159, n. 111517, 2020.

ARAGAW, T. A.; MEKONNEN, B. A. Distribution and Impact of Microplastics in the Aquatic Systems: A Review of Ecotoxicological Effects on Biota. In: MUTHU, S. S. (Ed.). **Microplastic Pollution**. 1. ed. [s.l.] Springer, 2021. p. 69–101.

ARMENTANO, I. et al. Polymer Materials for Respiratory Protection: Processing, End Use, and Testing Methods. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 3, n. 2, p. 531–548, 2021.

BARTUCCI, M.; CHEN, R.; THERMO FISHER SCIENTIFIC. **Chemical and structural analysis of a single modacrylic fiber using polarized reflectance FTIR microscopy**, 2018. Disponível em: <<https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/MSD/Application-Notes/AN53015-chemical-structural-modacrylic-fiber-polarized-reflectance-ftir-microscopy.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2021

BHAT, G. S.; MALKAN, S. R. Polymer-laid web formation. In: RUSSEL, J. S. (Ed.). **Handbook of nonwovens**. 1. ed. [s.l.] Woodhead Publishing Limited, 2007. p. 143–200.

BRASIL. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 17 out. 2021a.

BRASIL. **DECRETO Nº 7.404, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2010**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 17 out. 2021b.

CALLISTER, W. D. J. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.

CETESB. **Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs)**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/a-convencao/poluentes-organicos-persistentes-pops/>>. Acesso em: 15 out. 2021.

CHEN, X. et al. Used disposable face masks are significant sources of microplastics to environment. **Environmental Pollution**, v. 285, n. 117485, 2021.

CHENG, K. K.; LAM, T. H.; LEUNG, C. C. Wearing face masks in the community during the COVID-19 pandemic: altruism and solidarity. **The Lancet**, 2020.

CHUA, M. H. et al. Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives. **Research**, v. 2020, p. 1–40, 2020.

COHEN, H. J.; BIRKNER, J. S. Respiratory Protection. **Clinics in Chest Medicine**, v. 33, n. 4, p. 783–793, 2012.

DOWD, K. O. et al. Face Masks and Respirators in the Fight Against the COVID-19 Pandemic: A Review of Current Materials, Advances and Future Perspectives. **Materials**, v. 13, n. 3363, 2020.

EIKENBERRY, S. E. et al. To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. **Infectious Disease Modelling**, v. 5, p. 293–308, 2020.

FDA. **Face Masks, Including Surgical Masks, and Respirators for COVID-19**. Disponível em: <Face Masks, Including Surgical Masks, and Respirators for COVID-19>. Acesso em: 20 maio. 2021.

FILTRELEME, M. K. et al. Nanofibers in face masks and respirators to provide better protection. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER**, v. 460, n. 012013, 2018.

FOTOPOULOU, K. N.; KARAPANAGIOTI, H. K. Degradation of Various Plastics in the Environment. In: **Handbook of Environmental Chemistry**. [s.l.] Springer Verlag, 2019. v. 78p. 71–92.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 1700782, p. 25–29, 2017.

GRAY-COSGROVE, C.; LIBOIRON, M.; LEPAWSKY, J. The Challenges of Temporality to Depollution & Remediation. **S.A.P.I.E.N.S: Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society**, v. 8, n. 1, 2015.

HIEMSTRA, A. F. et al. The effects of COVID-19 litter on animal life. **Animal Biology**, v. 71, n. 2, p. 215–231, 2021.

IGNATYEV, I. A.; THIELEMANS, W.; VANDER BEKE, B. Recycling of polymers: A review. **ChemSusChem**, v. 7, n. 6, p. 1579–1593, 2014.

KARTHIK, T.; PRACHA KARAN, C.; RATHINAMOORTHY, R. **Non-woven - Process, Structure, Properties and Applications**. 1. ed. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2016.

LANGRISH, J. P. et al. Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease. **Environmental Health Perspectives**, v. 120, n. 3, p. 367–372, 2012.

LI, P. et al. Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 2020, 2020.

MATUSCHEK, C. et al. The history and value of face masks. **European Journal of Medical Research**, v. 25, n. 23, 2020.

MORAIS, F. G. et al. Filtration efficiency of a large set of COVID-19 face masks commonly used in Brazil. **Aerosol Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 1028–1041, 2021.

ORTEGA Y GASSET, J. Meditaciones del Quijote. In: **Obras Completas de José Ortega y Gasset**. Madrid: Revista de Occidente, 1966. p. 310–400.

PARASHAR, N.; HAIT, S. Science of the Total Environment Plastics in the time of COVID-19 pandemic: Protector or polluter? **Science of the Total Environment**, v. 759, n. 144274, 2021.

PATRÍCIO, A. L. et al. Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. **Chemical Engineering Journal**, v. 405, n. 126683, 2021.

PATRÍCIO SILVA, A. L. et al. Risks of Covid-19 face masks to wildlife: Present and future research needs. **Science of The Total Environment**, v. 792, n. 148505, 2021.

PRADHAN, D. et al. A Review of Current Interventions for COVID-19 Prevention. **Archives of Medical Research**, v. 51, n. 5, p. 363–374, 1 jul. 2020.

PRATA, J. C. et al. COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics. **Environmental Science and Technology**, v. 54, n. 13, p. 7760–7765, 2020.

PRATHER, K. A.; WANG, C. C.; SCHOOLEY, R. T. Reducing transmission of SARS-CoV-2. **Science**, v. 368, n. 6498, p. 1422–1424, 2020.

RHODES, C. J. Plastic pollution and potential solutions. **Science Progress**, v. 101, n. 3, p. 207–260, 2018.

SALIU, F. et al. The release process of microfibers: from surgical face masks into the marine environment. **Environmental Advances**, v. 4, n. 100042, 2021.

SCHMALTZ, E. et al. Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution. **Environment International**, v. 144, n. 106067, 2020.

SELVARANJAN, K.; NAVARATNAM, S.; RAJEEV, P. Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: A review and potential solutions. **Environmental Challenges**, v. 3, n. 100039, 2021.

SHEN, M. et al. Neglected microplastics pollution in global COVID-19: Disposable surgical masks. **Science of the Total Environment**, v. 790, n. 148130, 2021.

SILVA, A. L. P. New frontiers in remediation of (micro)plastics. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 28, n. 100443, 2021.

STATISTA. **Distribution of plastic consumption worldwide in 2017, by application**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1002055/plastic-consumption-share-worldwide-by-application/>>. Acesso em: 19 jul. 2021a.

STATISTA. **Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020 (in million metric tons)**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>>. Acesso em: 19 jul. 2021b.

STEVE ZHOU, S. et al. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. **Journal of Thoracic Disease**, v. 10, n. 3, p. 2059–2069, 2018.

SULLIVAN, G. L. et al. An investigation into the leaching of micro and nano particles and chemical pollutants from disposable face masks - linked to the COVID-19 pandemic. **Water Research**, v. 196, n. 117033, 2021.

SUREKA, B.; MISRA, S. N95 respirator or triple layer surgical mask: Radiologist perspective. **Indian J Radiol Imaging.**, v. 31, n. 1, p. 198–203, 2021.

TCHARKHTCHI, A. et al. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. **Bioactive Materials**, v. 6, p. 106–122, 1 jan. 2021.

THE BRITISH MUSEUM. **Doctor Schnabel von Rom**. Disponível em: <https://www.britishmuseum.org/collection/object/P_1876-0510-512>. Acesso em: 7 jun. 2021.

WANG, Z. et al. Disposable masks release microplastics to the aqueous environment with exacerbation by natural weathering. **Journal of Hazardous Materials**, v. 417, n. 126036, 2021.

WHO, W. H. O. **Rolling updates on coronavirus disease (COVID-19)**. Disponível em: <<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happen>>. Acesso em: 1 jun. 2021a.

WHO, W. H. O. **Coronavirus disease (COVID-19)**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>>. Acesso em: 1 jun. 2021b.

WHO, W. H. O. Health worker exposure risk assessment and management in the context of COVID-19 virus. **World Health Organization**, 2020c.

YANG, S. et al. Preparation of composites based on recycled polypropylene and automotive shredder residue. **Polymer International**, v. 67, n. 7, p. 936–945, 1 jul. 2018.