



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**



JÚLIA ALMEIDA ROSA

**EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL POR
IMPRESSÃO 3D NA PREVENÇÃO À COVID-19: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

UBERLÂNDIA

2021

JÚLIA ALMEIDA ROSA

**EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL POR
IMPRESSÃO 3D NA PREVENÇÃO À COVID-19: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para a obtenção do título de Engenheira Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pasquini Santos

Assinatura do Orientador

UBERLÂNDIA

2021

JÚLIA ALMEIDA ROSA

**EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL POR
IMPRESSÃO 3D NA PREVENÇÃO À COVID-19: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

BANCA EXAMINADORA

PROFESSOR DOUTOR FERNANDO PASQUINI SANTOS

PROFESSORA DOUTORA SELMA TEREZINHA MILAGRE

PROFESSOR DOUTOR ADRIANO ALVES PEREIRA

UBERLÂNDIA

2021

Dedico este trabalho a todos aqueles que buscam conhecimento, que se dedicam e não desistem de crescer e atingir novos objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus e aos meus pais, Elaine Almeida Rosa e Paulo Márcio Ribeiro Rosa, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram a minha criação, que muito contribuíram para a minha realização profissional. Aos meus queridos amigos e familiares que sempre estiveram ao meu lado, pelo carinho, amizade e apoio demonstrado ao longo de todo o período que me dediquei a este trabalho.

Agradeço ainda aos meus professores, em especial Fernando Pasquini, por me orientar, corrigir e tranquilizar, contribuindo para o meu melhor desempenho. A todos aqueles que de alguma forma estiveram próximos durante a graduação e provocaram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

A pandemia da doença coronavírus (COVID-19) acometeu a sociedade de forma global, causando a sobrecarga dos sistemas de saúde quanto ao seu fornecimento contínuo de equipamentos de proteção individual (EPI) aos profissionais da saúde. Visto isso, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura das iniciativas de projetos de impressão 3D de EPIs desenvolvidos pela filosofia de hardware aberto, de forma a exercer uma análise e comparação quanto aos aspectos de tipo de dispositivo, tipo de impressão, escolha do material, local de produção, e plataformas de divulgação. Na pesquisa utilizaram-se os métodos *snowballing* e operadores booleano, onde 24 iniciativas de projetos foram selecionadas e organizadas em uma tabela com os respectivos parâmetros de observação. Conclui-se a importância da filosofia *open hardware* que possibilitou o compartilhamento do conhecimento com toda a comunidade fabril aditivo, que por sua vez obteve destaque na contribuição a prevenção da COVID-19 refletido da proeminência da tecnologia FDM nos projetos, assim como o material PLA.

Palavras-chave: Equipamento de Proteção Individual; Impressão 3D; *Open Hardware*; COVID-19.

ABSTRACT

The coronavirus disease pandemic (COVID-19) has affected society globally, causing an overload of health systems in terms of their continuous supply of personal protective equipment (PPE) to health professionals. In view of that, this study aims to carry out a literature review of PPE 3D printing project initiatives developed by the open hardware philosophy, in order to carry out an analysis and comparison regarding the aspects of device type, printing type, choice material, production site, and dissemination platforms. In the research, the snowballing and Boolean methods were used, where 24 project initiatives were selected and organized in a table with the respective observation parameters. It concludes the importance of the open hardware philosophy that allowed the sharing of knowledge with the entire additive manufacturing community, which in turn stood out in the contribution to the prevention of COVID-19 reflected in the prominence of the FDM technology in the projects, as well as the PLA material.

Keywords: Personal Protective Equipment; 3D Printing; Open Hardware; COVID-19.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Tipos de EPIs produzidos por impressão 3D.....	23
FIGURA 2 – Países dos projetos de EPIs produzidos por impressão 3D.....	24
FIGURA 3 – Tipos de impressão 3D dos projetos de EPIs.....	25
FIGURA 4 – Tipos de material de impressão 3D dos projetos de EPIs.....	26
FIGURA 5 – Plataformas online dos projetos de impressão 3D de EPIs.....	28

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Pesquisa no banco de dados PubMed, com o número total de resultados e resultados úteis para o estudo.....	22
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

3D – Tridimensional

ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno do inglês *Acrylonitrile Butadiene Styrene*

ANAMT – Associação Nacional de Medicina do Trabalho

CAD – *Computer Aided Design*

CC-BY-NC – *Creative Commons Attribution*

CFM – Conselho Federal de Medicina

COFEN – Conselho Federal de Enfermagem

COVID-19 – *Corona Virus Disease*

DLP – Processamento de Luz Direta do inglês *Digital Light Processing*

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FA – Fabrico Aditivo

FDM – *Fused Deposition Modeling*

FFF – Fabricação com Filamento Fundido

MJS – *Multi-Jet Fusion*

N95 – Classificação de filtro de EPI para ambientes contaminados por aerossóis

OMS – Organização Mundial da Saúde

PCL – *Polycaprolactone*

PETG – Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol

PLA – Políácido Láctico (plástico)

PPE – *Personal Protective Equipment*

RNA – *Ribonucleic Acid*

SARS – *Severe Acute Respiratory Syndrome*

SARS-CoV-2 – *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*

SLA – Estereolitografia do inglês *Stereolithography*

SLS – Sinterização Seletiva a Laser do inglês *Selective Laser Sintering*

UV – Ultra Violeta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
1.2	OBJETIVO GERAL	14
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2	METODOS DE IMPRESSÃO 3D	15
2.1	FABRICAÇÃO COM FILAMENTO FUNDIDO – FDM	15
2.2	ESTEREOLITOGRAFIA – SLA.....	16
2.3	PROCESSAMENTO DE LUZ DIRETA – DLP	17
2.4	SINTETIZAÇÃO SELETIVA A LASER – SLS.....	18
2.5	<i>MULTI-JET FUSION</i> – MJS.....	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5	CONCLUSÃO.....	30
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
7	APÊNDICE	34
7.1	APÊNDICE A – TABELA DE INICIATIVAS DE PROJETOS DE IMPRESSÃO 3D DE EPIS NA PREVENÇÃO À COVID-19.....	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 Fundamentação Teórica

A pandemia do coronavírus 2 acometida pelo SARS-CoV-2, uma mutação do RNA (ácido ribonucleico) do vírus primário, surgiu no final de 2019 em Wuhan, província de Hubei, China (ZHU et al., 2020). A COVID-19 (sigla do inglês para *Corona Vírus Disease*) possui uma alta transmissibilidade, o que aumentou exponencialmente o número de pessoas infectadas em todos os continentes desde sua aparição. Essa doença atua no corpo por meio de uma infecção emergente, podendo apresentar sintomas leves de gripe, ou atuar de forma agressiva, com a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS) causando milhares de mortes (ISER et al., 2020).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a COVID-19 se apresenta como um potencial ameaça à saúde global, devido a sua capacidade de sobrecarregar os sistemas de saúde em todo o mundo. Já são apontadas falhas preocupantes nos hospitais com a falta de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para o enfrentamento da pandemia, de forma que esse material é considerado a primeira defesa para evitar a contaminação do vírus. A infecção se dá por contato com as vias mucosas, porém ainda existe o fator de incertezas sobre o patógeno viral, quanto a sua viabilidade no ambiente, tempo de persistência sobre superfícies inanimadas e a transmissibilidade das partículas infectantes, que faz com que os cuidados com a proteção se tornam ainda mais importantes (FERREIRA DOS SANTOS et al., 2020; KAMPF et al., 2020).

Em virtude disso, os EPIs são indispensáveis para os profissionais da saúde, uma vez que em contexto pandêmico, possuem um papel ainda maior do que a proteção dos trabalhadores, mas ainda são essenciais para o impedimento da transmissão e dispersão do vírus no ambiente hospitalar. De acordo com a Norma regulamentadora n. 6 (NR-6), da Portaria n. 3.214/78 MTB, é de responsabilidade do hospital fornecer aos médicos e enfermeiros, os EPI de acordo com o risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, porém, a escassez dos materiais de proteção se faz presente nos sistemas de saúde (BRASIL, 1978).

Houve um aumento no número de relatos e denúncias quanto a locais onde faltam EPIs, e conseqüentemente ocorreu também uma elevação na incidência do contágio e morte entre os profissionais da saúde. O Conselho Federal de Medicina (CFM) e o Conselho Federal de Enfermagem (COFEN) informam o recebimento de mais de 4,8 mil denúncias por carência desses equipamentos e continuam cobrando rigor na utilização

dos materiais de proteção. Segundo pesquisa realizada pela ANAMT – Associação Nacional de Medicina do Trabalho, 43,2% dos profissionais de saúde não se sentem protegidos ao enfrentar a COVID-19, e para 23% deles, o principal motivo está relacionada a escassez e inadequação do uso de EPIs, sendo que 64% dos trabalhadores destacaram ainda a necessidade de improvisar equipamentos (ANAMT, 2021).

Em resposta à crise de saúde global, a filosofia de *open hardware* ou hardware aberto se destaca como tecnologia no desenvolvimento de projetos que auxiliam no enfrentamento da pandemia. Ela se baseia na disponibilidade gratuita das informações do design do projeto, sob licenças apropriadas para que qualquer pessoa possa estudar, aprender, modificar, aprimorar, customizar e comercializar o produto em questão (MAIA CHAGAS et al., 2020).

A disseminação da produção colaborativa de máscaras em massa com base no processo de fabricação digital e de cultura *maker* apresenta um enorme potencial para mudanças revolucionárias dentro da área da saúde, uma vez que permite, dentro do cenário pandêmico, acelerar o desenvolvimento com um alto grau de inovação dos produtos que se encontram em escassez. Ela possibilita oferecer dispositivos fáceis de modificar para uso específico do mesmo, aumenta a segurança e proporciona maior usabilidade para o conforto do usuário. Além disso, destaca-se a alta adaptabilidade aos recursos locais, com custos de implementação tipicamente baixos, e ainda a possibilidade de a manufatura ser feita de forma remota, dadas as medidas de distanciamento social. (NIEZEN; ESLAMBOLCHILAR; THIMBLEBY, 2016).

Adicionalmente, o fato de a filosofia do hardware aberto ser disponível globalmente faz com que a população que dispõe das ferramentas e do tempo necessário se faça presente com a impressão, de uma forma direta como comunidade imediata, a partir da distribuição primárias dos produtos para o sistema de saúde local. Isso se dá devido à diferentes limitações de cada ambiente hospitalar, com a ajuda individual de cada produtor. Com isso, a produção do projeto em escala global será ajustada às necessidades locais, além de serem distribuídas na mesma área, contribuindo de forma expressiva e efetiva no auxílio a prevenção da COVID-19 na área da manufatura (MAIA CHAGAS et al., 2020).

Juntamente ao hardware aberto, a tecnologia de impressão 3D, ou método de manufatura aditiva, se encontra em evidência no auxílio a luta contra a COVID-19. Essa se baseia no princípio da produção em camada de plásticos polímeros, onde gera diversas formas e geometrias 3D, utilizando um modelo de desenho em um programa de

computador (CAD – *Computer Aided Design*). A tecnologia ganhou mercado devido ao seu baixo custo de produção e simplicidade, o que proporciona a criação de diversos equipamentos e aplicações incontáveis. O processo de impressão inclui etapas como design, fluxo de trabalho do software, verificação de material, impressão, acabamento, validação do processo e teste. Visto isso, é notório o potencial que essa ferramenta oferece para gerar um impacto positivo no suprimento de produtos médicos (AYDIN et al., 2021; BELHOUIDEG, 2020)

A comunidade da manufatura aditiva observou a possibilidade de suprir a escassez de EPIs e ajudar na luta contra à crise de saúde, quando se une a disponibilidade de informação de um produto, com as ferramentas e recursos para a sua produção. Dessa forma, surgiram as iniciativas de projetos de materiais de proteção, por meio da impressão 3D, que utilizam da cultura de produção colaborativa, a fim de desenvolver, produzir, doar e distribuir máscaras e protetores faciais nos sistemas de saúde que estão em falta (FERREIRA DOS SANTOS et al., 2020).

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática quanto a produção de EPIs feitos por impressora 3D com a filosofia *open hardware* para auxiliar na prevenção à COVID-19.

1.3 Objetivos Específicos

- Listar as principais iniciativas de projetos de impressão 3D de EPIs disponíveis como *open hardware* usados na prevenção à COVID-19;
- Analisar as iniciativas de projetos e comparar os parâmetros encontrados quanto ao tipo de equipamento, tipo de impressão, material escolhido, local, e plataformas de divulgação utilizadas.

2 METODOS DE IMPRESSÃO 3D

Para melhor entendimento do trabalho das iniciativas de projetos de EPIs fabricados por meio de impressão 3D, foram estudados os métodos de impressão mais utilizados e apresentaram de forma recorrente durante a pesquisa, sendo eles: Fabricação com Filamento Fundido (FDM), Estereolitografia (SLA), Processamento de Luz Direta (DLP), Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e *Multi-Jet Fusion* (MJS). Esta subsecção tem como objetivo introduzir a tecnologia de Fabrico Aditivo (FA), seu funcionamento, e suas vantagens e desvantagens.

2.1 Fabricação com Filamento Fundido – FDM

O método de impressão de Modelagem de Deposição Fundida (FDM do inglês *Fused Deposition Modeling*) é um tipo de tecnologia de impressão 3D Fabrico Aditivo (FA) que possibilita a criação de diversos objetos. Essa técnica de fabricação é simples e eficiente, de forma que a construção dos produtos se dá adicionando camada em cima de camada de material impresso, modelando de baixo para cima (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

O modelo possui como base de funcionamento o sistema de extrusão de material termoplástico, sendo que este possui forma de fio que se estender em carretéis ou bobinas para facilitar a troca (GROTH; GRAHAM; REDMOND, 2014). O filamento sofre um aquecimento na ponta da máquina, onde ocorre a extrusão depositando o material semilíquido ultrafino em uma base a fim de formar a primeira camada e modelar o objeto. Dentre as resinas termoplásticas mais utilizadas estão o Ácido Polilático (PLA), o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Policarbonato (PC), entre outras.

É necessária uma plataforma ou um suporte o qual será mantido a uma temperatura inferior ao material extrudido, de forma a causar o esfriamento e endurecimento da resina termoplástica imediatamente. Essa característica possibilita uma minimização de imperfeições e imprecisões, uma vez que o filamento se fixa no local exato onde foi depositado na impressão (GRIMM, 2003). O FDM permite a impressão simultânea tanto do produto quanto da estrutura de suporte caso necessário, que pode apoiar espaços vagos entremeio o objeto de interesse, desde que ambos materiais sejam compatíveis (ABREU, 2015).

Os bicos de extrusão se movem no plano $x-y$ com mecanismo magnético, e se encontram suspensas por uma placa metálica. Existe uma bolsa de ar entre eles para

minimizar o atrito e aumentar a velocidade do FA. Entretanto, existem limitações nesse modelo de impressão, como a resolução do produto que está diretamente relacionado ao diâmetro do filamento utilizado, além de possíveis contrações do material final, devido à arrefecimentos rápidos. Adicionalmente, existem estudos que possibilitam prever as distorções e compensar previamente durante a construção da peça (ABREU, 2015).

2.2 Estereolitografia – SLA

A técnica de estereolitografia (SLA – do inglês *Stereolithography*) é um método de impressão fabril aditivo de prototipagem rápida, por meio de arquivos de dados CAD 3D (do inglês *Computer Aided Design*) gerados por computador. Este processo constrói modelos tridimensionais convertendo fotopolímeros líquidos em objetos sólidos uma camada por vez. Devido a essa característica, esse modelo de impressão possibilita gerar modelos com complexidade extremamente elevada, sendo uma das principais vantagens da tecnologia (SAXENA; KAMRAN, 2016).

O processo se dá por meio da fotopolimerização de resinas líquidas, que sofre a incidência de um feixe de laser de raios ultravioleta (UV), com alta precisão de foco direcionado por um conjunto de espelhos, provocando na resina uma reação fotoquímica. Nesse momento o fotopolímero é aquecido ao ponto de se tornar uma forma semi-líquida que endurece ao contato, assim, a impressora constrói cada camada no produto (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

Devido à característica líquida do material, é necessário um suporte para receber e fixar o modelo. Dessa forma, há uma plataforma perfurada que se encontra mergulhada no líquido de resina fotossensível, que tem como composição monômeros, fotoiniciadores e aditivos. Inicialmente, uma camada fina é espalhada pela superfície da plataforma, no formato do modelo virtual a ser impresso, a fim de garantir que a impressão seja feita uniformemente, criando objetos 3D de baixo para cima (GROTH; GRAHAM; REDMOND, 2014).

Quando o laser é posicionado e ativado, os fotoiniciadores desencadeiam uma reação localizada que promove a formação de uma cadeia polimérica entre as moléculas, solidificando apenas a secção indicada. Após a criação da primeira camada, a altura do suporte é reajustado para o mesmo nível da resina fotossensível, de forma que a impressão sempre esteja submersa no polímero líquido, a fim de continuar a impressão, e esse processo é repetido até a conclusão do protótipo (ABREU, 2015).

Após o encerramento do processo, o modelo sólido criado é removido do líquido polímero, lavado, e então sofre uma pós-cura. Esse processo possibilita o material atingir a máxima resistência, e ainda podem estar sujeitos a operações de lixagem e/ou polimento, além de pinturas, a fim de aprimorar seu aspecto, usabilidade e funcionalidade (LINO, 2000)

Destaca-se ainda sobre o método de impressão SLA algumas desvantagens, como seu elevado custo referente ao equipamento e manutenção, assim como elevados tempos de fabricação. A necessidade de realizar processos complementares de pós-cura para integridade do produto, e possíveis contrações e empenos na estrutura do modelo (ABREU, 2015).

2.3 Processamento de Luz Direta – DLP

O modelo de impressão Processamento de Luz Direta (DLP do inglês *Digital Light Processing*) tem um método muito parecido com o SLA, onde o material do objeto sofre uma irradiação de luz e é fixado por meio de fotopolímeros. Como fonte de luz projetada no produto, o DLP utiliza uma mais tradicional, sendo as lâmpadas de arco com um painel de cristal líquido no lugar da ultravioleta do SLA (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

Esse processo resulta na diminuição considerável do tempo de impressão, uma vez que há muita luz direcionada na superfície da cuba de resina, a qual se cura e endurece rapidamente. Outro destaque desse modelo que auxilia na velocidade é a projeção de luz ser feita de forma completa com o foco em todo o contorno, que possibilita realizar o desenho da camada inteira do produto de uma vez. De fato, como há diferença de desenhar e carimbar uma imagem, o DLP consegue atingir tempos de impressão impressionantes, se destacando dos outros métodos (SAXENA; KAMRAN, 2016).

Para colocar em prática a ideia de carimbo, a máquina de impressão DLP utiliza um chip de projeção de luz digital, o qual possui milhares de pequenos espelhos capazes de se mover rapidamente. Com isso, o chip projeta uma imagem na resina posicionada na cuba de fotopolímeros, com a forma que deseja ser impressa sendo composta por pixels de resolução. Assim, o resultado obtido é a cura e endurecimento de polímeros foto-reativos de uma camada completa, formada por pequenos blocos retangulares chamados voxels, o qual caracteriza o carimbo no modelo (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

Destaca-se que na impressão DLP não há etapas visíveis, devido a velocidade impressionante de fixação da resina expondo uma camada inteira de uma só vez, ocasionando a melhor qualidade de acabamento dentre todas as tecnologias. Adicionalmente, o modelo é ainda econômico devido ao baixo custo de materiais de impressão e redução de desperdício, que é capaz de produzir objetos complexos e detalhados (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

2.4 Sintetização Seletiva a Laser – SLS

Sintetização Seletiva a Laser (SLS do inglês *Selective Laser Sintering*) é uma técnica de impressão tridimensional de sinterização por calor seletivo, onde um feixe de elétrons é focado para derreter ou fundir o pó do material que formará o objeto. Esse processo é o principal exemplo que tem o material à base de pó, sendo que os mais utilizados nestes processo são metais, cerâmicas, polímeros, entre outros (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

Uma camada de pó correspondente à espessura das camadas do objeto impresso é depositada na câmara de construção pré-aquecida de forma laminada, onde um feixe de laser seletivo aplica calor no material a fim de realizar a sinterização por meio da fusão do pó. Assim, o modelo de impressão SLS obtém um objeto de estrutura sólida, parcialmente porosa, e possui como características principais a alta velocidade de impressão e alta precisão (LINO, 2000).

Observa-se que devido a seletividade do laser de calor, a fusão em cama de pó apresenta um mecanismo de alisamento de pó simultâneo a construção, obtendo, ao final, o item envolto e suportado por pó não utilizado. Destaca-se ainda que após a construção do objeto, o bolo de pó é removido da máquina, e o produto pode estar sujeito a operações de grenalhagem e/ou impregnações, com o objetivo de aumentar a resistência mecânica do modelo, e realizar uma melhoria na qualidade superficial (LINO, 2000).

2.5 Multi-Jet Fusion – MJS

Ainda existe, como método de impressão 3D, a tecnologia denominada *PolyJet*, abreviatura de *photopolymer jetting* (do inglês jato de polímero), que consiste em utilizar um sistema de jatos de tinta para depositar um material fotossensível, em pequenas gotas, sobre uma base elevatória. Realiza-se do mesmo modelo de impressão a *Multi-Jet Fusion*

(MJS), na qual aumenta a quantidade de jatos de resina no objeto (SAXENA; KAMRAN, 2016).

Imediatamente após o lançamento da tinta, as gotículas são expostas a uma luz ultravioleta para que a camada a ser curada e o material possam endurecer. O material em construção se encontra em uma plataforma de suporte que translada no eixo z , e as cabeças de impressão juntamente às lâmpadas emissoras de luz UV são fixadas em outro módulo o qual translada nos eixos x e y . A cada translação dos jatos, a resina foto curável é aplicada de forma precisa nas posições da secção da peça, e a lâmpada translada em conjunto acompanhando para curar, camada por camada (ABREU, 2015).

Na tecnologia MJS, o objeto construído possui um acabamento superficial extremamente liso e de alta precisão dimensional, com resolução de cerca de 16 microns de altura por camada, obtendo um produto com uma qualidade da superfície excelente. Adicionalmente, devido as variadas cabeças de jato de tinta da máquina, é possível imprimir objetos de materiais, cores e texturas. Além disso, a gama dos materiais disponíveis para impressão é ampla, sendo estes polímeros, cerâmicas, compostos biológicos e híbridos, entre outros (SHAH RUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

Uma desvantagem desse método é o seu custo, sendo este elevado quando comparado aos outros modelos de impressão 3D. Também é considerado um ponto negativo a quantidade de desperdício de material, uma vez que é utilizada uma lâmina de limpeza antes de curar cada camada para remover o excesso de material e garantir a precisão do produto, e ainda porque o mecanismo deve ser purgado para impedir a entupimento das cabeças de impressão. Ao realizar a troca de resinas, também é necessário que as linhas sejam purgadas de todo material para que não ocorra nenhuma mistura, resultando assim no alto nível de desperdício de resina (GROTH; GRAHAM; REDMOND, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste em uma revisão sistemática da literatura, sendo uma pesquisa de abordagem descritiva, exploratória e quantitativa. Para a realização da primeira etapa deste trabalho, foram desempenhadas buscas automáticas em bases de dados de plataformas digitais como PubMed, além de buscas manuais no Google Scholar, conduzidas entre 22 e 29 de março de 2021.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa ampla que abordasse o tema de desenvolvimento de projetos de equipamentos de proteção individuais (EPIs) produzidos por meio de impressoras 3D para auxílio na prevenção à coronavírus. Para essa etapa, foram pesquisadas palavras chaves relacionadas ao tema a fim realizar esse primeiro filtro. Essas foram: “3D PPE COVID-19”, “3D *open hardware* COVID-19”, entre outros, como mostra a Tabela 1. Foi aplicado ainda o operador booleano AND com os termos “COVID-19”, “PPE” e “*open hardware*”, que consiste na combinação desses termos para filtrar no banco de dados os artigos que contem todas as palavras-chaves, de forma a restringir a amplitude dos documentos a fim de realizar uma pesquisa mais específica de acordo com o interesse desse estudo.

Adicionalmente utilizando operadores booleanos, neste caso o OR, foram realizadas uma serie de pesquisas com combinações dos termos demonstrados em cada linha da Tabela 1 que se encontra no tópico resultados e discussões deste estudo. Foi aplicado no filtro do banco de dados o operador OR com as palavras chaves descritas na primeira coluna, utilizando apenas 3 termos como objetivo de ampliar a de forma controlada a pesquisa de acordo com as palavras chaves também importantes para o estudo, porém não obrigatórias ou eliminatórias dos artigos.

Posteriormente, utilizou-se o método *snowballing* em pesquisa de literatura (JALALI, 2012), acessando-se as citações e referências dos artigos escolhidos para ampliar e aprofundar a pesquisa, além de eleger os principais projetos de EPIs utilizando impressora 3D, a fim de serem comparados. Além disso, buscou-se identificar indivíduos, empresas e entidades responsáveis por realizar iniciativas de projetos para auxiliar na crise de saúde da COVID-19 por meio de doações, ou ainda que possuem uma rede de organização que aceita a ajuda de pequenos pesquisadores para o desenvolvimento, produção ou distribuição do projeto original da entidade. Em particular, sites de notícias e estudos de revisões de impressão 3D forneceram um número significativo de resultados para este trabalho.

Foram excluídos da seleção de artigos para esse trabalho, aqueles com projetos baseados em modificações de produtos pré-estabelecidos como máscaras e óculos de *snorkel* ou capacetes. Os projetos de EPIs que não foram produzidos por impressora 3D foram descartados do estudo. Foram excluídos ainda artigos voltados para a desinfecção dos EPIs, e aqueles que testavam a porcentagem de proteção e segurança fornecida para o usuário. Os artigos com abordagem voltada para equipamentos como ventiladores pulmonares também foram descartados, a fim de manter o foco da pesquisa apenas em EPIs.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da pesquisa, 24 projetos selecionados foram utilizados para realizar um levantamento com as informações do tipo produto, seu local de produção, a entidade responsável, o material necessário e a forma de impressão. Além disso, foi pesquisado se o produto consiste em um projeto de origem open hardware, com compartilhamento de arquivos, onde é possível que vários pesquisadores contribuam com o desenvolvimento, produção e distribuição do EPI.

Tabela 1: Pesquisa no banco de dados PubMed, com o número total de resultados e resultados úteis para o estudo.

Palavras Chave	Resultados totais	Resultados úteis
3D PPE covid-19	44	20
3D <i>face shield</i> covid-19	29	17
3D <i>mask</i> covid-19	65	26
3D <i>open hardware</i> covid-19	8	3
<i>Open hardware</i> covid-19	17	4
<i>Open hardware</i> PPE	3	3
Operador booleano AND	4	3

Fonte: A autora.

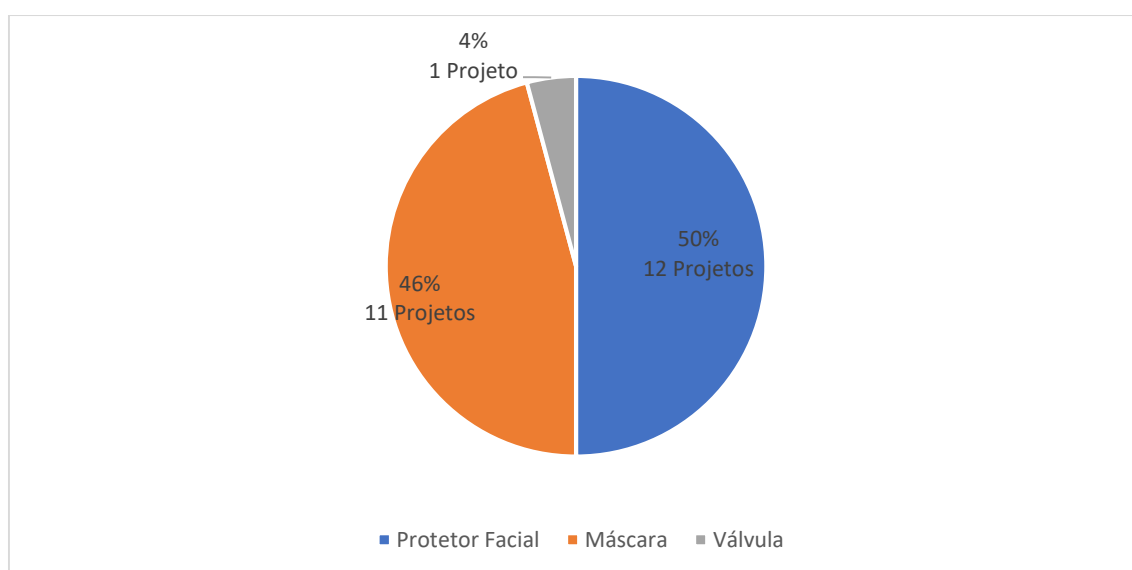
Após a realização da pesquisa de projetos de impressão 3D de EPIs na prevenção à COVID-19 que utilizam da tecnologia *open hardware*, este estudo recolheu, detalhou e organizou as informações de cada iniciativa no Apêndice A. No total, 24 projetos atenderam aos critérios de inclusão e foram resumidos no Apêndice A de forma que se tornassem visíveis e simples as análises quantitativas referente ao produto, ao material, a entidade responsável e ao local.

Das entidades pesquisadas, nota-se, que dentre os produtos que mais se destacam nas iniciativas para o auxílio de hospitais com falta de EPIs, os protetores faciais ou *face*

shields aparecem em 12 dos 24 projetos encontrados, assim como a máscara que está presente em 46% deles, de acordo com a Figura 1. Observa-se que apenas 4% dos projetos são voltados para componentes do ventilador pulmonar, como válvulas bifurcadas.

Embora o foco do estudo seja a produção de equipamentos de proteção, foram encontrados dentre as entidades pesquisadas, desenvolvimento de outros acessórios que atuam na linha de frente na prevenção à COVID-19, sendo eles, bastonetes *swabs* nasofaríngeos (nasais) para realizar testes, abridores de porta que evitam contato com a maçaneta, óculos de proteção, entre outros (AYDIN et al., 2021).

Figura 1: Tipos de EPIs produzidos por impressão 3D.



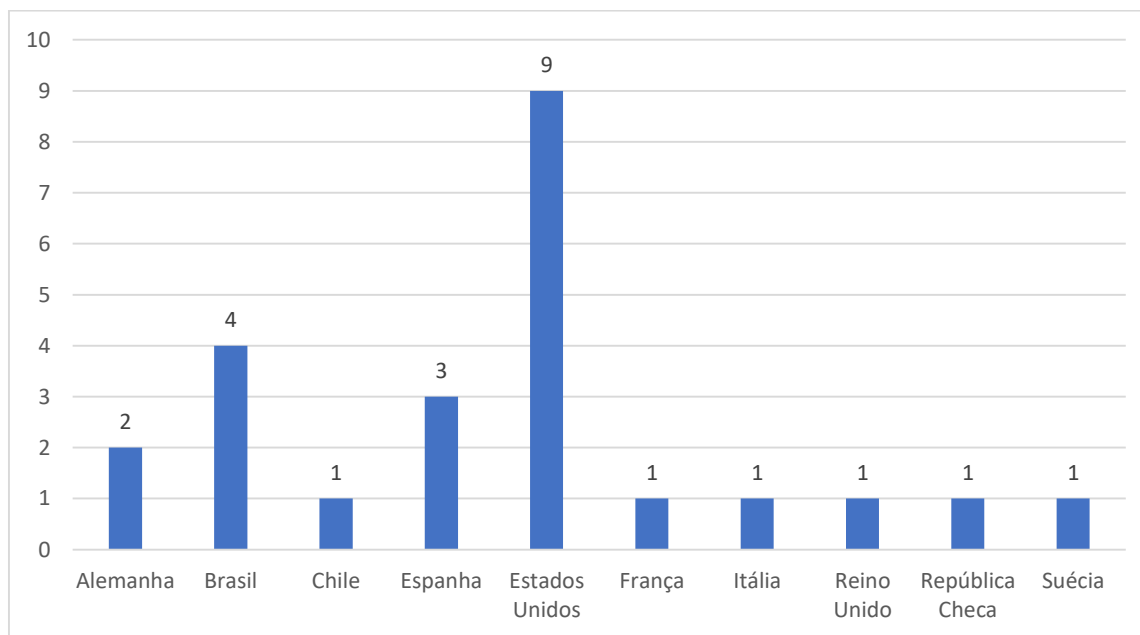
Fonte: A autora.

A impressão 3D é usada para produzir a moldura usada na cabeça de um protetor facial, com uma folha de material de plástico transparente fixada na moldura para proteger o rosto do usuário de gotículas transportadas pelo ar que podem estar contaminadas com o vírus da COVID-19 (FERREIRA DOS SANTOS et al., 2020). Já no caso das máscaras, ocorre a impressão da estrutura no formato anatômico do rosto, a fim de filtrar o ar e evitar a aspiração do vírus pelo usuário. Dessa forma, esses produtos são proteções indispensáveis para os profissionais da saúde, agindo como primeira linha de defesa contra a corona.

Já referente à localização da construção dos modelos pesquisados, a Figura 2 fornece os países das iniciativas dos projetos de impressão 3D, e observa-se que há uma distribuição que abrange desde países desenvolvidos como subdesenvolvidos, dentre eles

Alemanha, Brasil, Chile, Espanha, Estados Unidos, França, Itália, Reino Unido, República Checa e Suécia. Visto isso, pode-se afirmar que não só regiões carentes, mas sim o mundo todo se encontra presente na luta contra o vírus da COVID-19. A escassez de EPIs é realidade para todas as nações, devido a extrema demanda causada pelo cenário pandêmico (MAIA CHAGAS et al., 2020).

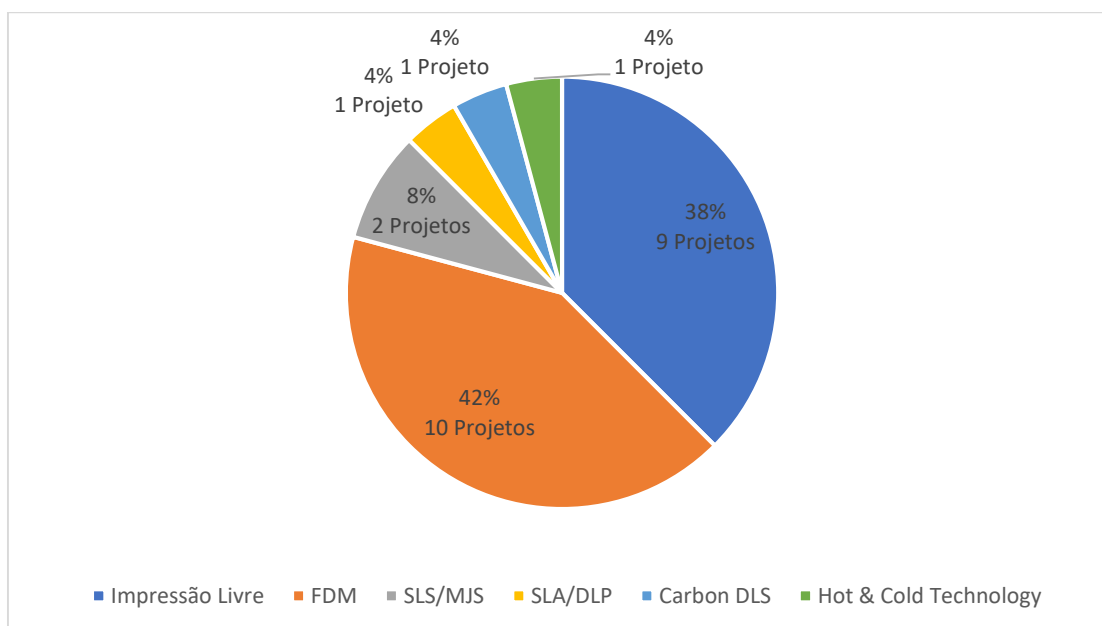
Figura 2: Países dos projetos de EPIs produzidos por impressão 3D.



Fonte: A autora.

De uma perspectiva técnica, a Figura 3 apresenta uma análise das tecnologias de impressão 3D utilizadas em cada projeto. É importante destacar que várias iniciativas das entidades incluíram diversas variações de um produto projetado para diferentes tecnologias de impressão 3D, ou ainda, disponibilização um arquivo para ser modificado de acordo com a escolha do pequeno fabrico aditivo. Embora uma única entidade possa ter uma variedade de processos de projetos diferentes, a presente revisão registrou e contabilizou nas análises apenas a tecnologia indicada pela documentação como projeto principal, ou como preferência de impressão, tanto no material do produto, quanto no modelo de produção.

Figura 3: Tipos de impressão 3D dos projetos de EPIs.



Fonte: A autora.

Observa-se na Figura 3 que 38 % das iniciativas pesquisadas não apresentaram tipos de impressão específicas para a produção dos modelos de equipamentos de proteção, disponibilizando apenas o design do produto para que os pequenos produtores estivessem livres para utilizar a tecnologia que tiver ao seu alcance. Ou seja, 9 entidades são sites que disponibilizam de forma gratuita o seu modelo *open source* de EPI e se encarregam de recolher todos os produtos impressos pelos pequenos fabricantes que utilizaram do seu modelo, a fim de distribuir para os locais que se encontram com escassez de equipamentos. São centros que se responsabilizam pela logística de recolhimento e distribuição de materiais de impressão 3D.

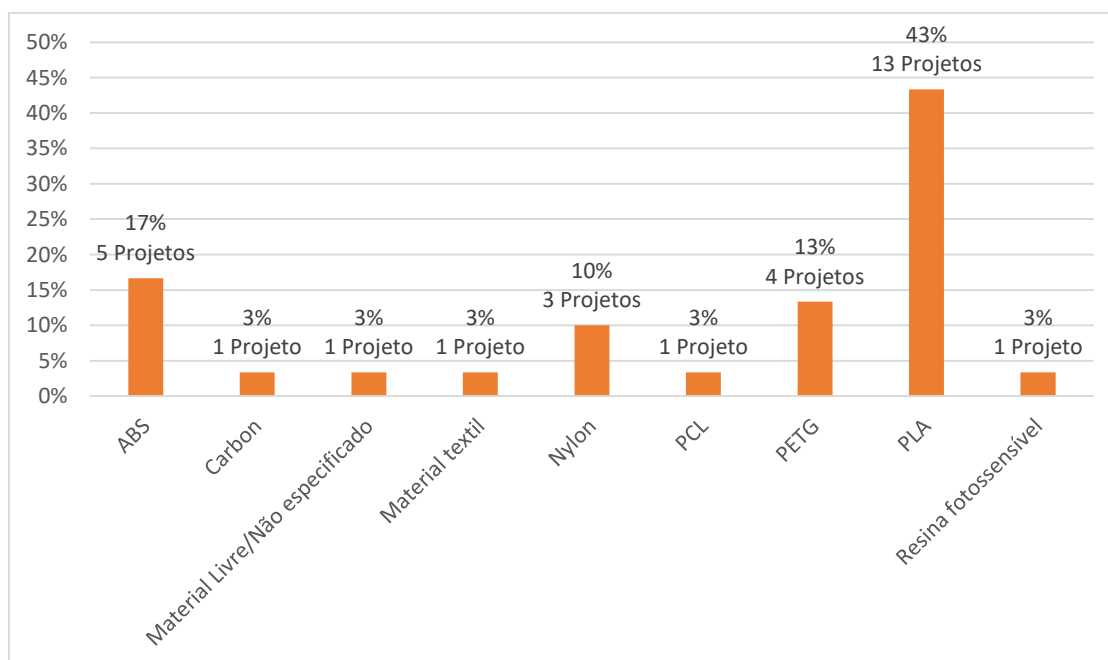
Adicionalmente a análise dos tipos de impressão, é possível identificar que o modelo mais popular para impressão é por deposição fundida (FDM), com 42% dos projetos disponibilizados em *open hardware*, enquanto apresentou um baixo número de 4% para SLA/DLP, que são tecnologias mais atuais e pouco acessíveis para os pequenos produtores. A segunda modelagem que mais apresentou atuação nos projetos foi SLS/MJS, com 8%, a qual ainda demonstra uma grande diferença em relação a favorita FDM.

Dentre os EPIs produzidos por FDM, os protetores faciais indicaram a principal atuação nas iniciativas, com uma estrutura simples, que requer uma impressão pouco complexa e com pequenos detalhes que influenciam na utilização deste tipo de impressão.

Para as máscaras, destaca-se a opção de impressão livre para o produtor FA, seguida das indicações de utilização de FDM, SLS/MJS e *Hot and cold technology*, com pouca divergência entre os dois últimos modelos. Quanto aos tipos de impressão SLA/DLP, *Carbon DLS* e *Hot and cold technology*, obtiveram uma aparição em 4% cada nas pesquisas, sendo tecnologias inovadoras e ainda pouco exploradas no campo de *open hardware*.

Adicionalmente a análise de uma perspectiva técnica, a Figura 4 apresenta o tipo de material escolhido para a impressão de cada do projeto, e é importante destacar que em várias documentações das iniciativas pesquisadas indicaram mais de um tipo de filamento para a produção do EPI. Dessa forma, a contabilização foi referente à quantidade de vezes que o material foi mencionado durante o estudo, totalizando um valor maior que o total dos projetos. Visto isso, verifica-se que há uma discrepância entre as escolhas das iniciativas das entidades quanto ao melhor produto de impressão 3D, com uma abordagem de vários tipos de materiais. Esse cenário reflete a falta de estudos especializados na análise do filamento, uma vez que o material pode sofrer alterações não favoráveis para se utilizar como proteção dos profissionais da saúde (ABREU, 2015).

Figura 4: Tipos de material de impressão 3D dos projetos de EPIs.



Fonte: A autora.

Dentre as modificações, é importante destacar a sua modificação durante a impressão, as possíveis mudanças de forma de acordo com a temperatura, a falta de exatidão no ato da sua deposição para moldar o produto, sua resistência à higienização, possíveis reações alérgicas quando em contato com a pele, e a necessidade de lixagem e ajustes em quinas que gera um risco para o usuário. Além disso, o EPI impresso deve ser um produto ergonômico, o que influencia diretamente no peso do filamento e na moldagem dele, que deve ser de acordo com recomendado saudável para o usuário na Norma regulamentadora n. 6 (NR-6), da Portaria n. 3.214/78 MTB (BRASIL, 1978).

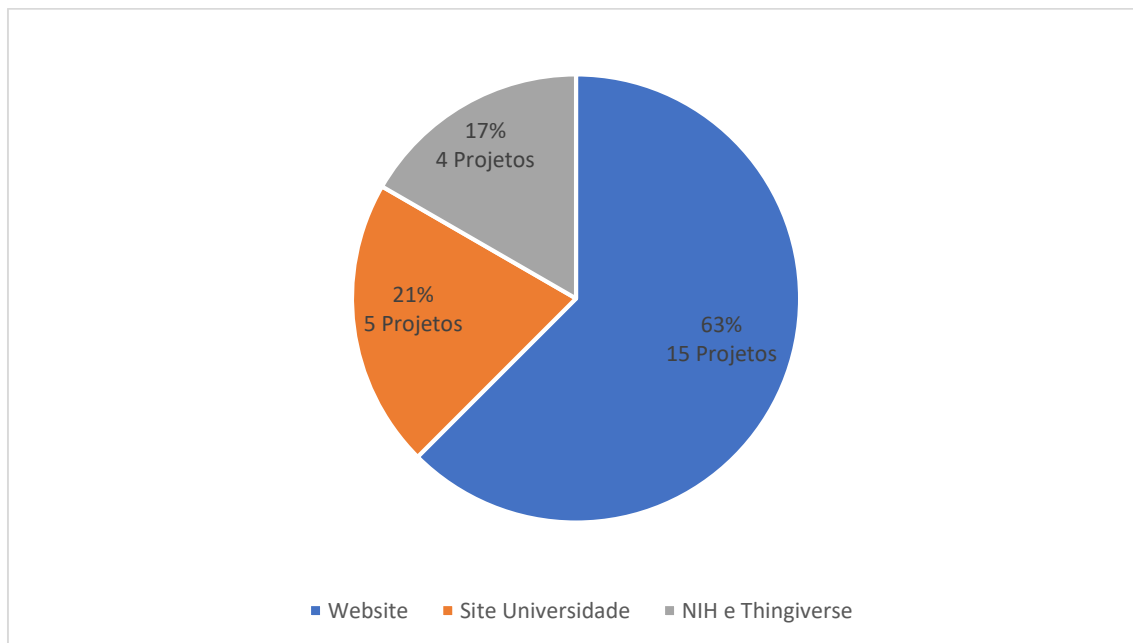
É importante notar na Figura 4 que o PLA, ou ácido polilático, apresenta-se como o material mais mencionado nos projetos de uma forma muito discrepante em relação as outras resinas, com uma porcentagem de 43% de indicação. Isso ocorre devido a alta utilização da tecnologia de impressão FDM, evidenciada pela Figura 3, uma vez que o poliéster termoplástico é o filamento mais aplicado nessa modelagem. Em segundo lugar do gráfico, encontra-se o polímero ABS ou acrilonitrila butadieno estireno, sendo mencionado em 17% das iniciativas, que também está diretamente relacionada a tecnologia FDM.

Dentre os outros tipos de material de impressão 3D mencionados pelas entidades, o PETG e Nylon ainda apresentam uma porcentagem de indicação um pouco maior que as demais, sendo 13% e 10% respectivamente. Isso ocorre devido a ambos serem filamentos característicos e bem conhecidos pelos produtores FA, com uma boa quantidade de estudos especializados no seu desempenho e comumente utilizados em projetos universitários. Destaca-se ainda que há uma porcentagem de 3% dos projetos que não especificaram ou deixaram a escolha livre para o tipo de material de impressão. Já as demais resinas apresentadas, são pouco mencionadas, de forma que são muito específicas de acordo com a impressão individual da própria entidade do projeto, como por exemplo o carbono DLS. Assim, são indicações pouco utilizadas pelos pequenos produtores FA que atuam na cultura de auxílio ao sistema de saúde na prevenção à COVID-19.

De uma perspectiva organizacional, é importante destacar as ferramentas utilizadas para gerenciar cada projeto e disponibilizar o design, reunir colaboradores, coletar e distribuir os produtos arrecadados, além de relatar os resultados. Embora que a maioria dos organizadores das entidades aproveitaram várias plataformas das redes sociais para estender o alcance da conscientização, observa-se que a centralização das informações em um site dedicado foi o meio mais popular dentre as entidades. O site específico apresenta desde considerações sobre a pandemia da COVID-19, a escassez de EPIs nos

sistemas de saúde, até o arquivo do design, os tipos de impressão e materiais mais indicados, como mostra a Figura 5 com 63% das iniciativas.

Figura 5: Plataformas online dos projetos de impressão 3D de EPIs.



Fonte: A autora.

Na Figura 5 foram apresentadas as plataformas escolhidas pelas entidades para a divulgação do projeto, e mostra que por outro lado, também foram encontrados projetos dedicados apenas ao arquivo *open hardware* aplicado em uma página adicionada de sites de empresas organizacionais já estabelecidas que armazenam o arquivo respositório, como Thingiverse e NIH 3D Print Exchange. 17% das iniciativas não disponibilizaram informações extras além do arquivo aberto para uso dos produtores. Verifica-se ainda no gráfico que 21% dos projetos foram apresentados dentro de sites das próprias universidades que desenvolveram e estudaram o design, deixando a pagina mais objetiva.

Ao observar todos os gráficos, tabela e apêndice analisados neste estudo, é importante ressaltar ainda que em alguns projetos específicos como Projeto Hígia (PROJETO HÍGIA, 2020), Projeto Pusa (PRUSA RESEARCH, 2020), Projeto Copper 3D (COPPER 3D, 2020) e Rowan University (ROWAN UNIVERSITY, 2020) se destacaram quanto as informações disponibilizadas nos sites em relação as distribuições dos produtos feitas em hospital dos sistemas de saúde que apresentavam escassez de EPIs. Neste momento de pandemia, a transparência e a conscientização dessas iniciativas são de extrema relevância para evitar que uma ação solidária que utiliza da contribuição da comunidade

de pequenos produtores FA seja desviada do foco original para se voltar aos fins lucrativos.

Dessa forma, os projetos mencionados acima apresentaram termos e condições da licença *Creative Commons Attribution* (CC-BY-NC), ou seja, Atribuição-Não Comercial Internacional, para evitar a venda dos produtos arrecadados, e garantir o compartilhamento e adaptação livre dos designs disponibilizados. Verifica-se que essas entidades possuem parcerias sérias com diferentes empresas de impressão 3D, assim como parcerias com os fabricantes e amadores de FA, que a partir de suas impressoras que eram para estudos e *hobbies*, hoje auxiliam na produção de EPIs para a prevenção à COVID-19.

Muitos dos casos dos designs de máscaras são modelos de reutilização, que consistem em moldar o rosto do usuário e realizar a filtragem do ar da respiração por meio de um pequeno filtro que utiliza da mesma tecnologia das máscaras descartáveis. Dentre eles, os projetos Wasp (WASP, 2020) e Rowan University (ROWAN UNIVERSITY, 2020) se sobressaíram por apresentarem indicações e especificações da eficácia e do funcionamento dos filtros que encaixam nas máscaras 3D.

Quanto aos protetores faciais, o projeto 3D Print (3D PRINT UK, 2020) se aperfeiçoou não apenas no modelo de impressão voltado para a ergonomia do usuário, mas também pensou nas dificuldades de logística e distribuição do produto. O novo design desenvolvido possibilita um encaixe entre as estruturas do protetor facial desmontado, de forma que economiza uma grande quantidade de espaço ao ser enfileirado dentro das caixas de distribuição. Uma das entidades apresenta a comparação de sua nova versão com a convencional mais utilizada, que deixa clara a discrepância de quantidade de unidades de protetor facial que pode ser enviada de uma vez em apenas uma caixa, diminuindo custos de entrega e frete.

5 CONCLUSÃO

Dada a natureza severa e global da COVID-19 em um momento pandêmico, e o sentimento de empatia alinhado com o desejo de indivíduos e empresas de ajudar sua comunidade de alguma forma, pode-se esperar que aqueles com experiência em design e impressão 3D começaram a utilizar suas habilidades para solucionar os déficits no fornecimento de equipamentos em 2020. Muitas indústrias de impressão 3D e grandes instituições desse ramo modificaram seu produto e voltaram o foco para a produção de equipamentos médicos em saúde.

Contudo, este estudo comprovou que não apenas as máquinas de impressão das empresas industriais estavam sendo usadas para fabricar esses produtos, mas uma quantidade significativa de produtores e amadores com uma ou algumas impressoras 3D de mesa também estavam auxiliando para combater as consequências do vírus. O aparecimento de diferentes movimentos socioculturais como Coronavirmakers e redes colaborativas que disponibilizam diferentes produtos com as especificações técnicas de projeto, requisitos de material e parâmetros de impressão, possibilitaram a otimização da produção de alguns desses equipamentos como protetores faciais e máscaras 3D inspiradas nas N95.

Isso se refletiu na proeminência da tecnologia FDM na maioria dos projetos desta análise, com a fundição de filamento sendo a forma mais comum de impressão 3D devido aos mecanismos de hardware mais baratos e simples quando comparados com os outros. A amplitude das propriedades dessa impressão 3D abrange pequenas máquinas de mesa dos produtores FA secundários, até braços robóticos de grandes máquinas industriais, os quais começaram a atuar no mesmo problema com diferentes, ou não, designs. Consequentemente ao modelo FDM, o material mais relevante da pesquisa foi o PLA, que está diretamente relacionado ao tipo de impressão compartilhado pela maioria dos atores do movimento.

A integração da tecnologia de impressão 3D desenvolvida para a área da saúde possibilita o acompanhamento do processo de ponta a ponta, desde a concepção e aprimoramento do modelo, a produção otimizada dos mesmos, até a distribuição deles aos hospitais. Isto é de extrema importância para os sistemas de saúde durante períodos de crise sanitária, como a pandemia da COVID-19, quando a escassez de recursos de saúde em nível global torna a disponibilidade e fornecimento de EPIs indisponíveis para todos.

Essa disponibilidade de auxílio desinteressado dos diferentes atores para a participação nessa força tarefa tem possibilitado tanto atender à demanda intra-hospitalar quanto colaborar com outros centros, outras regiões, mesmo nos momentos em que a necessidade de produtos específicos exige o aumento da produção. Nesse cenário de crise sanitária onde o vírus e a forma como combatê-lo ainda é desconhecidas, e a única certeza são as consequências graves da COVID-19, o quesito velocidade do recurso da comunidade foi a chave para evitar o colapso ainda maior no sistema de saúde.

Este estudo indicou que a utilização da filosofia *open hardware* foi um mecanismo que possibilitou uma resposta mais rápida dos FA na entrega dos produtos, uma vez que o compartilhamento do design dos EPIs para a impressão promove uma rede com estudiosos que contribuem para realizar modificações e aprimoramento do modelo do produto. Dessa forma, o desenvolvimento desse arquivo de acesso livre atinge sua forma final em um menor período de tempo, sendo construído por uma variada gama de visões diferentes que garante alcançar sua melhor configuração.

Muitos dos projetos pesquisados neste estudo apresentaram como base inicial os modelos de outros projetos já mais desenvolvidos e estruturados, como protetor facial do Projeto Prusa 3D (PRUSA RESEARCH, 2020) que está bem difundido e é muito utilizado por produtores secundários. Divulgação essa feita por meio de diversas plataformas online e redes sociais que atuam de forma a, não apenas atingir os fabricantes, mas também todos os indivíduos da comunidade. Assim, a dispersão das iniciativas de projetos gerada pelos websites influenciaram uma contribuição social que foi além da disposição das máquinas de impressão, mas ainda com donativos e voluntariados para a distribuição e entrega dos produtos aos hospitais necessitados.

Verificou-se no presente estudo que a falta dos EPIs atingiu o sistema de saúde de forma global, e a maioria das entidades das iniciativas dos projetos atuaram no auxílio não apenas das instituições hospitalares da sua região, mas atendendo demanda de outras cidades, uma vez que sua produção estivesse ao alcance deste fato. Adicionalmente, a análise dos projetos realizada ressaltou a importância da licença que garante a abstenção de interesses em fins lucrativos que possam ser proeminentes da iniciativa, o que proporciona uma confiança a mais na entidade e na prática do auxílio.

No que tange o assunto, foi proposto para o trabalho aplicar o foco apenas em projetos de impressão 3D de EPIs que utilizam da filosofia de hardware aberto, com os quais foram excluídos do estudo as entidades com produtos que não fossem protetores faciais e máscaras. Tendo em vista que esses equipamentos são de baixa complexidade, embora

sua importância na proteção ao contato com o vírus seja grande, é fato que sua regulamentação perante sua resistência, segurança e validação não se é muito rígida.

Contudo, contata-se que para trabalhos futuros, seria indicado realizar uma análise quanto ao cumprimento de normas dos projetos, com o objetivo de verificar a segurança, a eficácia, a resistência (quanto a higienização e a temperatura), a ergonomia, e às possíveis reações alérgicas dos produtos em questão. Adicionalmente, indica-se aplicar testes para a validação tanto do material do filamento, quanto a sua funcionalidade, a partir da porcentagem de proteção que o EPI oferece para o usuário, a fim de validar e aprovar seu uso para os profissionais da saúde que irão recebê-los.

É possível concluir, por meio das informações apresentadas neste estudo, que as iniciativas de projetos de impressão 3D de EPIs criados pela filosofia *open hardware* são extremamente importantes para contribuir na prevenção à COVID-19, de forma a evitar o colapso do sistema de saúde gerado pela escassez de equipamentos de proteção individual dos profissionais que atuam na linha de frente. Destaca-se a necessidade da empatia e união de todos os indivíduos para enfrentar problemas em comum, não apenas na saúde, mas também na área do conhecimento, compartilhando experiências a fim de evoluir para alcançar o melhor desfecho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. A. C. Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo. p. 235, 2015.
- AYDIN, A. et al. 3D printing in the battle against COVID-19. **Emergent Materials**, 8 fev. 2021.
- BELHOUIDEG, S. Impact of <scp>3D</scp> printed medical equipment on the management of the Covid19 pandemic. **The International Journal of Health Planning and Management**, v. 35, n. 5, p. 1014–1022, 22 set. 2020.
- BRASIL. NR 6 - EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EP, 1978.
- FERREIRA DOS SANTOS, A. et al. Equipamentos de Proteção Individual Impressos em 3D por Instituições de Ensino Federais para o Enfrentamento da COVID-19. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 5, p. 1237, 1 out. 2020.
- GRIMM, T. 17. Fused deposition modeling: a technology evaluation. **Time-Compression Technologies**, v. 11, n. 2, p. 1–6, 2003.
- GROTH, C.; GRAHAM, J. W.; REDMOND, W. R. Three-Dimensional Printing Technology. v. XLVIII, n. 8, p. 475–485, 2014.
- ISER, B. P. M. et al. Definição de caso suspeito da COVID-19: uma revisão narrativa dos sinais e sintomas mais frequentes entre os casos confirmados. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 29, n. 3, p. e2020233, jun. 2020.
- KAMPF, G. et al. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. **Journal of Hospital Infection**, v. 104, n. 3, p. 246–251, 2020.
- LINO, F. J. A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA INDÚSTRIA NACIONAL F. Jorge Lino* e Rui J. Neto**. **DEMEGI – Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP**, v. 225081704, n. 42, p. 8, 2000.
- MAIA CHAGAS, A. et al. Leveraging open hardware to alleviate the burden of COVID-19 on global health systems. **PLOS Biology**, v. 18, n. 4, p. e3000730, 24 abr.

2020.

NIEZEN, G.; ESLAMBOLCHILAR, P.; THIMBLEBY, H. Open-source hardware for medical devices. **BMJ Innovations**, v. 2, n. 2, p. 78–83, abr. 2016.

SAXENA, A.; KAMRAN, M. A Comprehensive Study on 3D Printing Technology. **MIT International Journal of Mechanical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 63–69, 2016.

SHAHRUBUDIN, N.; LEE, T. C.; RAMLAN, R. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. **Procedia Manufacturing**, v. 35, p. 1286–1296, 2019.

TARFAOUI, M. et al. Additive manufacturing in fighting against novel coronavirus COVID-19. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 110, n. 11–12, p. 2913–2927, 17 out. 2020.

ZHU, N. et al. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 8, p. 727–733, 20 fev. 2020.

7 APÊNDICE

7.1 APÊNDICE A – Tabela de iniciativas de projetos de impressão 3D de EPIs na prevenção à COVID-19

Entidade	Produto	Material	Tipo de Impressão	Local	Link
Carbon	Protetor facial	Carbon DLS	Carbon DLS (<i>Carbon Digital Light Synthesis</i>)	EUA	https://www.carbon3d.com/COVID19/
3DPRINTUK	Protetor facial	Nylon	SLS	Reino Unido	https://www.3dprint-uk.co.uk/worlds-most-efficient-sls-face-shield-COVID19/
MakerVsVirus	Protetor facial	PLA	Impressão livre	Alemanha	https://www.makervsvirus-leipzig.de/
Card3D	Máscara	Material têxtil	Impressão livre	Espanha	https://eithealth.eu/project/car3d/
Leitat Technology Center	Válvula de ventilador	Nylon	Impressão livre	Espanha	https://covid-leitat.org/en/ventilator/
Projeto Hígia	Protetor facial	PLA	FDM	Brasil	https://www.projeto higia.com.br/

Entidade	Produto	Material	Tipo de Impressão	Local	Link
Universidade UnB	Protetor facial	Resinas foto polimerizáveis	DLP e SLA	Brasil	http://repositoriocovid19.unb.br/repositorio-projetos/planejamento-digital-e-impressao-de-dispositivos-para-escudo-facial-de-acetato-atendendo-ao-plano-de-contingencia-da-pandemia-de-covid-19/?perpage=12&order=DESC&orderby=date&taxquery%5B0%5D%5Btaxonomy%5D=tnc_tax_7347&taxquery%5B0%5D%5Bterms%5D%5B0%5D=222&taxquery%5B0%5D%5Bcompare%5D=IN&pos=2&source_list=term&ref=%2Fcategoria-do-projeto%2Fproducao-de-equipamentos-de-protecao-individuais-epis%2F

Entidade	Produto	Material	Tipo de Impressão	Local	Link
BONE3D	Máscara	ABS	Impressão livre	França	https://bone3d.com/en/actualite/medical-3d-printing-3-ideas-for-innovative-health-projects/
Universidade UFLA	Protetor facial	PLA	FDM	Brasil	https://ufla.br/noticias/pesquisa/13657-ufla-produz-mascaras-de-protecao-individual-que-serao-doadas-para-profissionais-da-saude-do-sus-em-lavras
Hack The Pandemic	Protetor facial	PLA	FDM	EUA	https://www.hackthepandemic.org/3d-print-supplies
Unic e UFRN	Protetor facial	ABS	FDM	Brasil	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32649548/
Prusa 3D	Protetor facial	PETG	FDM	República Checa	https://www.prusa3d.com/covid19/
Stopgap Surgical Face Mask (SFM)	Máscara	Nylon	SLS e MJS	EUA	https://3dprint.nih.gov/discover/3dpx-013429

Entidade	Produto	Material	Tipo de Impressão	Local	Link
Medical University of South Carolina	Máscara	ABS, PETG, ou PLA	FDM	EUA	https://web.musc.edu/innovation/covid-19-innovation/safe-cartridge-system-and-masks
Barrow Neurological Institute	Máscara	PLA	FDM	EUA	https://www.barrowneuro.org/for-physicians-researchers/research/barrow-innovation-center-2/3d-printed-n95-mask/
Rowan University	Máscara	PLA	Impressão livre	EUA	https://engineering.rowan.edu/research-centers/mask/index.html
WASP	Máscara	PCL	Hot & Cold Technology	Itália	https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-mask-from-3d-scanning/
Think 3D	Máscara	PLA	FDM	Alemanha	https://www.think3ddd.de/
Design that Matters DtM	Protetor facial	PLA, ABS, PETG	FDM	EUA	https://3dprint.nih.gov/discover/3dpx-013359
Spencer Zaugg	Máscara	PLA	FDM	EUA	https://longliveyoursmile.com/3d-printable-mask-for-covid-19/

Entidade	Produto	Material	Tipo de Impressão	Local	Link
Drexel University	Protetor facial	Material livre/não especificado	Impressão livre	EUA	https://faceshields.cci.drexel.edu/
La Factoria 3D	Máscara	PLA	Impressão livre	Espanha	https://www.thingiverse.com/thing:4225667
Copper 3D	Máscara	PLA ou TPU	Impressão livre	Chile	https://copper3d.com/hackthepandemic/
3D Verkstan	Protetor facial	PLA, CPE, PETG ou ABS	Impressão livre	Suécia	https://3dverkstan.se/protective-visor/

Fonte: A autora.