

MANUFATURA ADITIVA APLICADA NA ADAPTAÇÃO DE MÁSCARA PARA VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA EM PACIENTES DE COVID-19

Ana Paula Reinert

Wesley Vinícius Domingues

Sérgio Fernando Lajarin

Universidade Federal do Paraná (UFPR), DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 230 - Centro Politécnico, Bloco IV, Curitiba.
anareinert@ufpr.br, wesley.domingues@ufpr.br, espanhol@ufpr.br

Resumo. O surgimento do novo Coronavírus (Covid-19) trouxe grandes desafios para a sociedade, que incluem o desenvolvimento emergencial da vacina, combate a alta taxa de transmissão e desenvolvimento de tratamento aos infectados. O grande número dos infectados sintomáticos apresentam sintomas respiratórios e a demanda de respiradores se tornou muito maior do que os sistemas de saúde podem suportar. A Ventilação Não Invasiva (VNI) é uma alternativa importante que em muitos casos pode evitar a necessidade de Ventilação Invasiva (VI) por meio da intubação. As máscaras de VNI tem custo elevado e são inviáveis para a realidade de muitos hospitais. Diante disso, esse trabalho tem o objetivo de apresentar uma alternativa de máscara de VNI a partir da adaptação de uma máscara de mergulho. Um modelo de baixo custo foi selecionado, e algumas adaptações foram projetadas. A principal alteração foi o projeto e fabricação de um conector para ligar a máscara a um respirador mecânico hospitalar. O conector foi fabricado por meio da Manufatura Aditiva e o projeto foi testado e aprovado para uso em um hospital de tratamento de pacientes de COVID-19 de Curitiba.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Impressão 3D. Ventilação Não Invasiva. COVID-19.

1. INTRODUÇÃO

O primeiro caso comprovado do novo Coronavírus (COVID-19) foi detectado no dia 31 de dezembro de 2019, na cidade chinesa de Wuhan. Devido a sua alta contagiabilidade, no final do mês seguinte, vários países já tinham casos confirmados da nova mutação do vírus e a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o surto da doença como uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (Lana *et al.*, 2020). Com o aumento do número de casos e de mortes, a OMS caracterizou a COVID-19 como uma pandemia em 11 de março de 2020, com apenas pouco mais de dois meses após a identificação do primeiro caso. Em um cenário de muitos casos e mortes confirmadas pelo vírus, algumas medidas de higiene começaram a ser incentivadas pelos órgãos de saúde pública, como a OMS e a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). A lavagem correta e regular das mãos, o uso de álcool em gel nas mãos, a limpeza frequente com desinfetantes ou álcool em bancadas ou utensílios de uso coletivo e o distanciamento social de no mínimo dois metros foram algumas das medidas sugeridas para atenuar de certa forma a propagação do vírus.

Apesar das diversas medidas tomadas, alternativas mais radicais tiveram que ser tomadas de acordo com o avanço da doença. O uso de máscaras em locais públicos e fechados tornou-se obrigatório, todos os eventos que previam o aglomerado de pessoas foram cancelados, e até mesmo toque de recolher foi instaurado em algumas cidades. O vírus se espalha de maneira muito rápida, e cerca de 10% dos contaminados apresentam sintomas graves da doença, principalmente pacientes que já possuem histórico de doenças respiratórias, cardíacas, ou então em casos de obesidade e idosos (Montemerli, 2020). As principais complicações ligadas ao vírus são a Síndrome Respiratória Aguda Grave, variando entre 17 e 29% dos casos, lesão cardíaca aguda, com 12% dos casos e infecção secundária, com 10% dos casos.

Para pacientes que apresentam sintomas mais graves da doença, como a síndrome respiratória aguda grave, com saturação de oxigênio abaixo de 93%, a ventilação mecânica invasiva (VMI) é utilizada, segundo o Protocolo de Tratamento do Novo Coronavírus, publicado pelo Ministério da Saúde. Esse tipo de ventilação permite que os pulmões diminuam seu esforço contínuo e possam se recuperar mais rapidamente, já que a ventilação faz toda a manutenção de entrada e saída de ar (Andrade, 2018). Nos casos em que os pacientes apresentam sintomas respiratórios, mas não possuem uma queda tão drástica no nível de saturação de oxigênio, o tratamento padrão é utilizar a ventilação mecânica não invasiva (VNI). Nesse tipo de ventilação, a utilização de uma pressão positiva de gás faz com que a entrada de oxigênio seja facilitada para os pulmões, favorecendo a troca gasosa e aliviando os sintomas respiratórios (Cremesp, 2020). Por ser um tratamento menos invasivo quando comparada a VMI, que utiliza de medicamentos para manter o paciente em um estado sedativo, ele permite uma comunicação mais fácil entre médico e paciente, que fica com consciência o tempo todo, além de diminuir possíveis infecções e lesões internas causadas pela inserção de tubos orotraqueais.

Devido às diversas possibilidades que a VNI permite, seu uso tem aumentado muito nos últimos anos, apesar de algumas dificuldades. Para utilizar dessa técnica, o paciente deve estar com seu nível de consciência normalizado, para ser capaz de manter os mecanismos de deglutição e secreções, além de ser contraindicado para pacientes com arritmias e

insuficiência cardíaca, devido à alta instabilidade, ou em casos de distensão abdominal e vômitos, evitando riscos de aspiração (Reis, 2007). Apesar de ser uma alternativa muito promissora no tratamento da COVID-19, os hospitais não tem em quantidade suficiente para atender a nova e crescente demanda. As máscaras de VNI *full face* no mercado ultrapassam o valor de mil reais e acaba inviabilizando a aquisição em muitas situações, alguns exemplos dessas máscaras são apresentados na Fig. 1. Diante da situação emergencial em muitos hospitais trabalhando com capacidade máxima, equipamentos de ventilação mecânica são essenciais para a manutenção dos pacientes nas unidades de terapia intensiva, por isso existe uma grande necessidade por soluções alternativas, eficientes e de rápida implementação.



Figura 1. Modelos comerciais de máscaras de VNI. Fonte: Adaptado da Plataforma de vendas da Magazine Luiza (2021)

Na área de desenvolvimento de novos produtos, um grande avanço tecnológico foi observado nas últimas décadas. Por mais de um século, os produtos projetados se limitavam as capacidades de fabricação dos processos tradicionais de usinagem, conformação e fundição, mas a Manufatura Aditiva (AM, do inglês, *Additive Manufacturing*), fundamentalmente muda isso. Thompson *et al.* (2016) e Sossou *et al.* (2018) afirmam que ela é a maior novidade na área da fabricação nas últimas três décadas. Ela tem como diferencial o método de fabricar por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente (Volpato, 2017, pg. 16). Devido ao enorme potencial e capacidades únicas, a AM vem gradativamente sendo aplicada em diversos setores, em especial, na área da saúde. Muitos são os princípios de processamento do material e também as tecnologias existentes. A norma ISO/ASTM 52900:2015 classifica a AM em sete grupos, dos quais se destaca o princípio de extrusão de material na forma de filamento no quesito baixo custo e acessibilidade da tecnologia.

O emprego da AM por muito tempo se limitou a fase de prototipagem de produtos, mas essa realidade vem mudando nos últimos anos e hoje a sua aplicação em produto final, reposição de peças e adaptações e já é bastante expressiva. Diante disso, o objetivo deste trabalho é projetar e fabricar por meio da AM uma solução para adaptação de máscaras comerciais de mergulho para Ventilação Não Invasiva em pacientes em tratamento contra COVID-19.

2. DESENVOLVIMENTO

Com o objetivo de projetar e executar uma adaptação de máscara de mergulho comercial de baixo custo à respiradores para VNI em ambientes hospitalares. O projeto consistiu nas seguintes etapas: (1) identificar um modelo comercial de baixo custo e analisar a viabilidade de adaptação, (2) projeto, (3) fabricação e (4) teste e validação.

2.1. Identificar modelo de máscara comercial de baixo custo e viabilidade de adaptação

Dentre as opções de máscara de mergulho disponíveis no mercado, os dois modelos principais são chamados de *Panoramic Dry* e *Full Face*. A *PanoramicDry* é o estilo de máscara de mergulho constituída de duas partes, um óculos que protege os olhos e o nariz, e uma espécie de tubo que fornece oxigênio pela boca. Esse modelo é o mais barato entre os dois, tendo em vista sua simplicidade de funcionamento, e chega a custar entre cem e trezentos reais. Tendo em vista sua simplicidade de funcionamento, já que para poder ser usada como ventilação não mecânica para o tratamento de pacientes infectados com o COVID-19 precisa de duas saídas de ar, e também devido ao desconforto que geraria nos pacientes a entrada de ar diretamente pela boca, esse tipo de máscara não poderia ser utilizada nesse caso.

O modelo *Full Face* é constituído por uma máscara que cobre todo o rosto do usuário e permite a entrada e saída de ar por meio de um tubo, chamado de *snorkel*, localizado na parte superior do rosto. Esse modelo é constituído por um sistema que inibe o embaçamento da máscara na área dos olhos, facilitando a comunicação e visualização do usuário e é também fabricado em material polimérico e borracha de silicone, facilmente higienizável. Para as máscaras *Full Face* existem diversos modelos que variam de acordo com o fabricante, mas que funcionam de maneira similar. A Figura 2a

mostra a máscara modelo *Snorkel Easybreath* escolhida para este trabalho e seu fluxo de ar interno. Ela apresenta ótima vedação em toda a face com uma borda de silicone flexível, baixo custo, alças elásticas que garantem boa fixação, sistema de conexão do *snorkel* com vedação para posterior adaptação, ver Figura 2b.



Figura 2. Máscaras de mergulho do tipo *Snorkel Easy breath*, em (a) fluxo de ar, em (b) detalhe dos componentes que à compõe. Fonte: Adaptado de Wish (2021)

2.2. Projeto de adaptação

Inicialmente a máscara comercial foi analisada por um profissional infectologista de um hospital de Curitiba que atua no tratamento de pacientes de COVID-19. Os itens críticos, vulneráveis e necessários que foram identificados nessa análise serviram de requisito do produto e são descritos em detalhe na sequência.

Para facilitar a retirada rápida da máscara em casos de emergência, foram adicionados velcros nas alças elásticas que fazem a fixação no rosto do paciente. Na região interna da máscara, de silicone, que separa a área dos olhos e da boca, foram retiradas duas válvulas de modo a aumentar fluxo de ar na inspiração. Por outro lado, a válvula localizada na parte inferior da máscara, próxima a boca, foi fechada com supercola e por segurança as aberturas externas de saída também foram vedadas com cola de silicone. Essa dupla vedação é importante para impedir que o ar contaminado escape para o ambiente externo.

A principal alteração no projeto foi garantir uma conexão com as mangueiras de ar (entrada e saída) de um respirador mecânico hospitalar convencional. Para isso o *snorkel* foi descartado e um projeto de conector foi desenvolvido para montar as mangueiras do respirador no plug da máscara. O projeto foi realizado em um sistema CAD (do inglês, *Computer Aided Design*) 3D paramétrico e foram aplicados conceitos de Projeto para Manufatura Aditiva (DFAM, do inglês, *Design for Additive Manufacturing*), ver Fig. 3. A geometria do conector foi pensada de modo a cumprir sua função, mas facilitar a fabricação por camadas, evitando ou reduzindo a necessidade de estruturas de suporte e considerando fatores como anisotropia e o efeito “degrau de escada” nas superfícies. Com relação a sua função, o conector foi projetado com uma entrada de diâmetro externo de 7/8” para encaixe da mangueira e de modo a direcionar o ar para a entrada central do plug macho da máscara. A saída do conector foi projetada com diâmetro interno de 7/8” para encaixe de um filtro trocador de calor e umidade (HMEF, do inglês, *Heat and moisture Exchanger*) de modo a receber o ar contaminado vindo do interior da máscara, direcionado por dois dutos laterais do plug. Entre o conector e a máscara existe uma vedação de silicone e na parte superior do plug macho possui um pino que garante a montagem do conector.

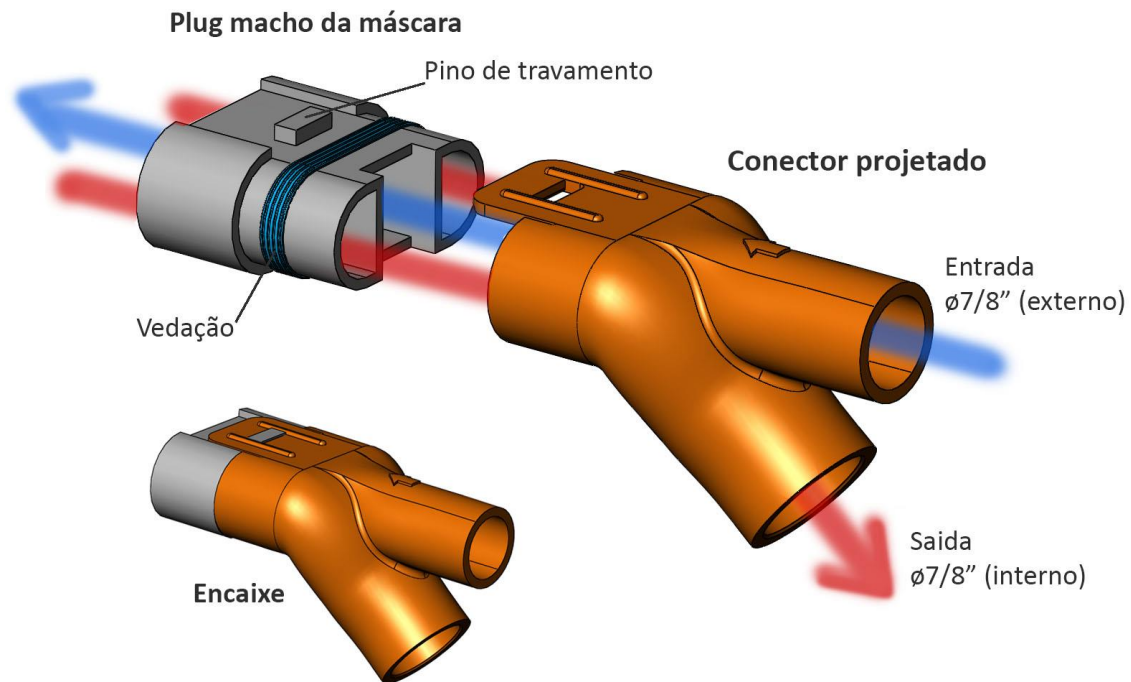


Figura 3. Projeto do conector em sistema CAD. Fonte (Autor)

2.3. Fabricação do conector

Após a modelagem da conector - considerando a fabricação por AM - um arquivo em extensão neutra STL (do Inglês, *STereoLithography*) foi importado para o sistema *Open Source* Ultimake CURA, onde foi feito o planejamento do processo voltado à fabricação pelo princípio de extrusão de material na forma de filamento. Os principais parâmetros de processo são listados na Tabela 1.

A orientação da peça na plataforma de impressão foi uma das etapas mais importantes do planejamento, pois ela interfere diretamente na quantidade de estruturas de suporte, anisotropia na resistência mecânica e qualidade superficial. O conector precisa ter boa resistência nas regiões de montagem, tais como conexão das mangueiras e encaixe no pino do plug macho da máscara.

Foi utilizada uma impressora 3D modelo CR10-V2 da Creality. A impressora tem um volume de impressão de 300 mm x 300 mm x 400 mm (comprimento, largura e altura, respectivamente), possui mesa aquecida e estrutura aberta. O material escolhido para a fabricação do conector foi o PETG (copolímero obtido do PET, do inglês, *Polyethyleneterephthalate*). Entre os materiais processáveis por esse equipamento o PETG reúne a melhor combinação de boas propriedades mecânicas e facilidade de impressão.

Tabela 1. Parâmetros do processo definidos para impressão do conector e informações relacionadas.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Altura da camada	0,16 mm	Altura da 1ª camada	100%
Largura da camada	0,4 mm	Largura da 1ª camada	120%
Temperatura de impressão	235°C	Temperatura da 1ª camada	240°C
Temperatura da plataforma	80°C	Direção impr. de contornos	Dentro-fora
Veloc. de extrusão geral	60 mm/s	Padrão de preenchimento	Linear
Veloc. de extrusão na 1ª camada	25 mm/s	Distância de retração	5 mm
Veloc. de extrusão contornos	40 mm/s	Velocidade de retração	30 mm/s
Veloc. de extrusão dos suportes	42 mm/s	Diâmetro do bico	0,4 mm
Contornos sólidos na parede	5	Diâmetro do filamento	1,75 mm
Camadas sólidas no piso	4	Sobreposição nas paredes	50%
Camadas sólidas no teto	4	Borda adicional (saia, <i>Brim</i>)	10
% de preenchimento	15%	Tempo de impressão	7 horas
Utilização de ventilador	100%	Massa de material	35g

3. RESULTADOS

Para ser utilizada para VNI, a máscara de mergulho passou por algumas modificações de modo a adequá-la aos requisitos apresentados por um profissional infectologista, ver Fig. 4. Com o intuito de facilitar a inserção e extração rápida da máscara em casos de emergência, foram adicionados velcros nas alças elásticas de fixação da máscara na cabeça do paciente. O efeito dessa alteração na retirada da máscara foi simulado e ao puxar o velcro a retirada foi imediata como era desejado. Outra alteração aconteceu na modificação do fluxo de ar dentro da máscara, as duas válvulas presentes entre a área dos olhos e da boca foram retiradas, permitindo que o ar limpo vindo do respirador fosse mais facilmente inspirado. Além disso, a válvula presente na área da boca do paciente foi fechada com supercola, assim como as aberturas externas de saída de ar também tiveram que ser vedadas com cola de silicone, garantindo que o ar contaminado expelido não escape para o ambiente externo sem passar pelo filtro adequado. Para testar a efetividade dessa vedação a máscara foi montada no respirador mecânico e verificado que não houve perda de pressão no indicador do aparelho.

Dentre todas as mudanças necessárias, o desenvolvimento de um conector, que permitisse a montagem das mangueiras do respirador no plug da máscara e fosse responsável pelo fluxo de entrada e saída de ar, foi o mais importante. Ele garante a entrada de oxigênio por um canal, e a saída do ar contaminado expirado pelo paciente por outro. A saída com diâmetro interno de 7/8" permite a montagem de um filtro antes da mangueira que leva ao respirador. A montagem no plug da máscara é vedada por uma vedação de silicone e a fixação é garantida por um sistema de orelha de encaixe.

Outro fator crítico para o desenvolvimento do conector foi o planejamento adequado de sua impressão em 3D. No processo de AM, a orientação em que a peça é impressa interfere consideravelmente nas suas propriedades mecânicas, na quantidade de suportes de impressão necessários e também na qualidade superficial da peça. Por isso, a orientação escolhida foi a representada pelo primeiro quadro na Fig. 5. Ela garantiu menos suporte, reduziu o tempo de impressão e a quantidade de material utilizado, além de imprimir as circunferências de entrada e saída de ar com maior precisão.

O planejamento do processo levou em conta também o material utilizado para imprimir, assim como os parâmetros programados para realizar a impressão. O material utilizado nesse projeto foi o PETG, devido a sua facilidade de uso e impressão, não necessitando de impressora com câmara fechada, apresentando boa resistência mecânica e também por ser um material higienizável. Já os parâmetros de impressão foram definidos de acordo com as características do PETG, como, por exemplo, não imprimir em velocidades superiores a 60 mm/s e utilizar a temperatura acima de 230°C, próximo à temperatura de fusão do material, e também pensadas em obter uma peça de qualidade, minimizando marcas superficiais, considerando a porcentagem de preenchimento e também a altura de camada, ver resultado na Fig. 6.

O modelo de máscara de mergulho *Snorkel Easybreath* adaptado neste trabalho custou R\$ 149,00 somado as adaptações que custaram aproximadamente R\$ 20,00, o custo total dessa máscara VNI adaptada foi de R\$ 169,00. Muito abaixo de qualquer modelo de máscara VNI comercial.

Com todas as modificações necessárias na máscara de mergulho *Snorkel EasyBreath*, ela pode ser utilizada como uma alternativa de VNI mais barata e que tem o funcionamento muito similar aos modelos vendidos comercialmente. A adaptação da máscara de mergulho foi testada e utilizada em três hospitais de Curitiba, auxiliando na grande demanda de respiradores nesse momento de pandemia.



Figura 4. Adaptações feitas na máscara de mergulho preparando para uso em VNI em aplicação de saúde, (Autor).

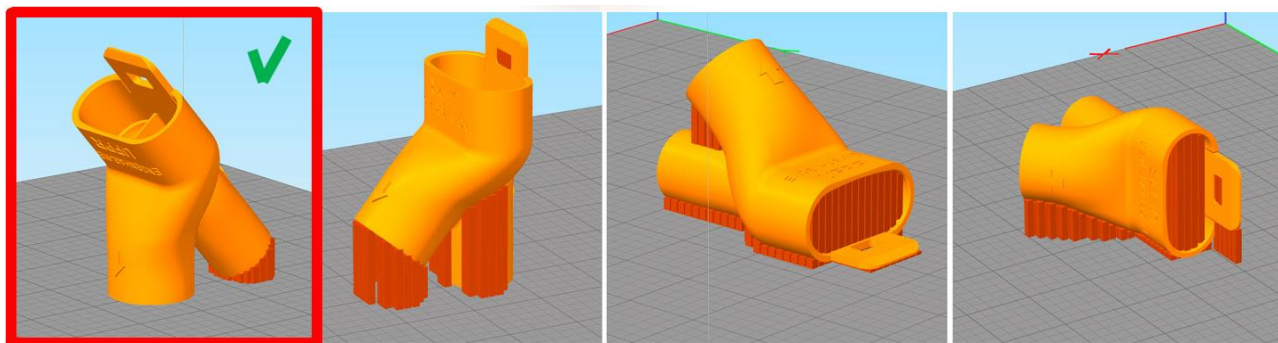


Figura 5. Estudo de orientação da peça na plataforma de impressão, (Autor).

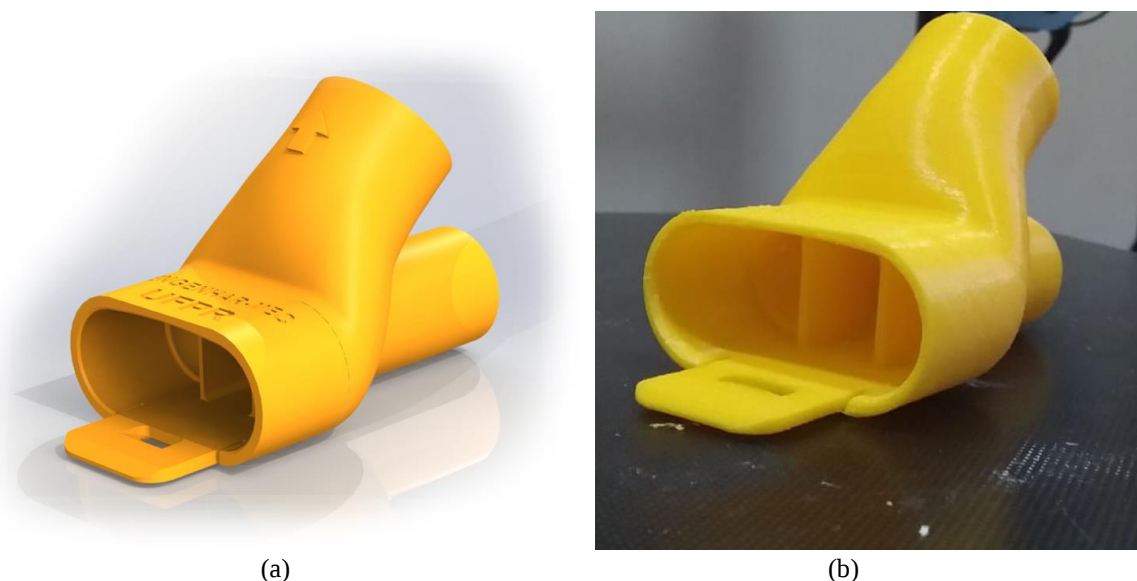


Figura 6. Conector para máscara para VNI, em (a) projeto CAD 3D, em (b) peça impressa em PETG. (Autor).

4. CONCLUSÃO

Graças as características da AM, ela é um processo de fabricação que abre novas possibilidades de projeto. Isso foi comprovado neste trabalho, onde foi possível adaptar uma máscara de mergulho comercial de baixo custo para uso como máscara de VNI em ambiente hospitalar, de modo a atender pacientes de COVID-19.

O modelo de máscara de mergulho *Snorkel Easybreath* e suas adaptações para máscara de VNI custaram R\$ 169,00, muito abaixo de qualquer modelo de máscara VNI comercial que custam acima de R\$ 1000,00.

O projeto do conector garantiu a montagem de duas mangueiras (entrada e saída) do respirador no plug da máscara de mergulho. Juntamente com modificações de fluxo interno na máscara e vedação externa, garantiu eficiência no uso como máscara de VNI. A segurança da vedação foi testada no respirador mecânico verificando perda de pressão, e a segurança na retirada em casos de emergência, foi melhorada com a inserção de velcros nas alças de fixação da máscara no paciente.

Os requisitos do projeto e os testes foram realizados por profissionais infectologistas e nas adaptações foram empregados conhecimentos de engenharia, mostrando que soluções emergenciais eficazes podem ser alcançadas pela multidisciplinaridade de conhecimentos.

5. REFERÊNCIAS

- Cremesp,2020. “Ventilação mecânica e COVID-19”. Acesso em: 18 Jan. 2021. Disponível em: <<http://covid-19.cremesp.org.br/?p=552>>
- ISO/ASTM 52900:2015 (ASTM F2792). Additive manufacturing - General principles -Terminology.
- Lana, R. M., Coelho, F. C., Gomes, M. F. C., Cruz, O. G., Bastos, L.S., Villela, D.A.M., Codeço, C.T., 2020. “Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva”. Cad. Saúde Pública 36 (3).

- Lins, A.R.B.S; Duarte, M.C.M.B; Andrade, L.B. “Ventilação não invasiva como primeira escolha de suporte ventilatório em crianças”. Rev Bras Ter Intensiva. 2019;31(3):333-339.
- Magazine Luiza, Plataforma de venda Online, Produtos: Máscara para Cpap Bipap Facial Total FitLife G - Philips Respironics - Phillips / Respironics; Máscara para CPAP BIPAP Oronasal Mirage Quattro FX Média Resmed. Acesso em: 06 Fev. 2021. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/>>
- Montemerli, R., “Os desafios da Itália na emergência do coronavírus”. Espaço e Economia, 172|020. Acesso em: 20 Dez. 2020. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/espacoeconomia/11312;>>
- Reis, M.A.S., “Ventilação Mecânica não invasiva com pressão positiva”. III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. J Bras Pneumol. 2007;33(Supl 2):S 92-S 105.
- Ribas, J.L.C., Adami, E.R., “COVID-19: contextualização e análise de relato de caso”. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 16, n. 44, p. 99-110, ed. esp. 2020. Acesso em: 20 Jan. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/12244>. >
- Sossou, G., Demoly, F., Montavon, G., Gomes, S., 2018, “An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies”. J. of Comp. Des. and Eng., Vol. 5, pp. 3–18.
- Thompson, M.K. Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R.I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B., Martina F., 2016, Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 65, pp. 737–760.
- Volpato, N., de Carvalho, J., 2017. Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Edgar Blücher.
- Wish, Plataforma de venda Online, Produto: Full Face Anti-fog Snorkeling Diving Mask Anti-skid Ring Snorkel Scuba Sport Camera Snorkel Masks Underwater. Acesso em: 07 Fev. 2021. Disponível em: <<https://www.wish.com/>>

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

ADDITIVE MANUFACTURE APPLIED IN MASK ADAPTATION FOR NON-INVASIVE VENTILATION IN COVID-19 PATIENTS

Ana Paula Reinert

Wesley Vinícius Domingues

Sérgio Fernando Lajarin

Universidade Federal do Paraná (UFPR), DE MEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 230 - Centro Politécnico, Bloco IV, Curitiba.
anareinert@ufpr.br, wesley.domingues@ufpr.br, espanhol@ufpr.br

Abstract. The emergence of the new Coronavirus (Covid-19) brought great challenges to society, which include the emergency development of the vaccine, combating the high rate of transmission and developing treatment for those infected. The large number of symptomatic infected people show respiratory symptoms and the demand for respirators has become much greater than health systems can handle. Non-Invasive Ventilation (NIV) is an important alternative that in many cases can avoid the need for intubation and ventilation. Invasive. NIV masks are expensive and become impractical for many hospitals. Therefore, this work aims to present an alternative NIV mask by adapting a diving mask. A low-cost model was selected, and some adaptations were planned. The main change was the design and manufacture of a connector to connect the mask to a mechanical hospital respirator. The connector was manufactured through Additive Manufacturing and the project was tested and approved for use in a COVID-19 patient treatment hospital in Curitiba.

keywords: Additive Manufacturing. 3D printing. Non-invasive ventilation. COVID-19.