



**FACULDADE UNIFAMETRO MARACANAÚ
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

BRUNO HENRIQUE RODRIGUES SANTOS

**ESTUDO DE CASO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS NO
DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE RESPIRAÇÃO ASSISTIDA NÃO
INVASIVA COM PRESSÃO POSITIVA CONTÍNUA NAS VIAS AÉREAS
(CAPACETE ELMO®)**

BRUNO HENRIQUE RODRIGUES SANTOS

ESTUDO DE CASO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS NO
DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE RESPIRAÇÃO ASSISTIDA NÃO
INVASIVA COM PRESSÃO POSITIVA CONTÍNUA NAS VIAS AÉREAS
(CAPACETE **ELMO®**)

Artigo TCC apresentado ao curso de Bacharel em Engenharia de Produção da Faculdade Unifametro Maracanaú como requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Me. Luiz Cláudio Magalhães Florêncio

BRUNO HENRIQUE RODRIGUES SANTOS

ESTUDO DE CASO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS NO
DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE RESPIRAÇÃO ASSISTIDA NÃO
INVASIVA COM PRESSÃO POSITIVA CONTÍNUA NAS VIAS AÉREAS
(CAPACETE ELMO®)

Artigo TCC apresentado no dia 15 de dezembro de 2022 como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Faculdade Unifametro Maracanaú, tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Luiz Cláudio Magalhães Florêncio
Orientador - Faculdade Unifametro Maracanaú

Prof. Me. Ilza Maria Granjeiro Xavier Lajes
Membro - Externo

Prof. Adriel Jesus de Souza
Membro – Interno

MARACANAÚ

2022

Ao professor Luiz Cláudio, que com dedicação e cuidado de mestre, orientou-me na produção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela ajuda e proteção, pela sua força e presença constante, e por me guiar à conclusão de mais uma preciosa etapa da minha vida.

À minha Esposa, Erika Lorena Ferreira Alves, que foi minha maior incentivadora, amiga e porto seguro, pela compreensão e apoio nos momentos de dificuldade.

À minha mãe, Jucileide Santos Mendes, pelo carinho e incentivo durante todos os momentos desta jornada.

Ao meu pai, Antônio de Pádua, pelas lições e apoio que ajudaram a moldar meu caráter.

Ao meu irmão, Rodolfo Rodrigues, pela amizade e parceria.

À minha filha, Maria Laura Rodrigues Ferreira, que é o grande amor da minha vida e fonte de incentivo.

Ao meu amigo, engenheiro clínico David Guabiraba, pela orientação e parceria.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para finalização deste trabalho de conclusão de curso.

O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano.

(Sir Isaac Newton)

ESTUDO DE CASO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS NO DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE RESPIRAÇÃO ASSISTIDA NÃO INVASIVA COM PRESSÃO POSITIVA CONTÍNUA NAS VIAS AÉREAS (CAPACETE ELMO®)

Bruno Henrique Rodrigues Santos ¹
Luiz Cláudio Magalhães Florêncio ²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar os principais processos de fabricação aplicados no desenvolvimento do capacete de respiração assistida por pressão positiva ELMO®, sendo o principal processo utilizado o da usinagem por CNC (Comando Numérico Computadorizado), que consiste no processo de fabricação de peças industriais de forma automatizada, utilizando máquinas precisas, que funcionam por meio de controle numérico computadorizado, obedecendo uma linguagem de programação permitindo a confecção de geometrias complexas com ótimos acabamentos e tempos reduzidos. Durante o desenvolvimento do trabalho pode se perceber através de testes práticos em polímero nylon e em aço carbono a otimização das estratégias de fabricação que ocorreram durante a prototipagem do produto e da confecção do molde de injeção plástica respectivamente, otimizações essas que permitiram a redução no tempo total de execução, possibilitando a conclusão do projeto em tempo recorde, ajudando a sociedade como um todo durante o período mais grave da pandemia do novo coronavírus.

Palavras-chave: Processos de Fabricação; CNC; ELMO®; Coronavírus.

ABSTRACT

This work aims to present the main manufacturing processes applied in the development of the positive pressure assisted breathing helmet ELMO®, being the main process used the CNC machining (Computer Numeric Control) which is the process of manufacturing industrial parts in an automated way, using precise machines, which work by means of computer numerical control obeying a programming language allowing the production of complex geometries with great finishes and reduced times. During the development of the work it was possible to notice through practical tests in nylon polymer and carbon steel the optimization of manufacturing strategies that occurred during the prototyping of the product and the confection of the plastic injection mold respectively, optimizations that allowed the reduction in the total time of execution, enabling the conclusion of the project in record time, helping society as a whole during the most serious period of the new coronavirus pandemic.

Keywords: Manufacturing Processes; CNC; ELMO®; Coronavirus.

¹Graduando do curso de Engenharia de Produção Unifametro Maracanaú. bhrsantos@gmail.com

² Mestre em Química. Coordenador do curso de Engenharia de Produção da Faculdade Unifametro Maracanaú. luiz.florencio@professor.unifametro.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O referido trabalho aborda os principais processos de fabricação utilizados para o desenvolvimento do capacete de respiração assistida ELMO®, seu princípio básico de funcionamento e a otimização dos processos de usinagem durante a fabricação, utilizando testes práticos em máquinas de usinagem.

No dia 26 de fevereiro de 2020, confirmava-se no Brasil a primeira contaminação pelo novo Coronavírus (COVID-19) ocorrido no Estado de São Paulo, enquanto no mundo o número de casos registrados já ultrapassava o número de 81.000 mil novos indivíduos infectados.

De acordo com Tomaz *et al.* (2021, p.21)

Em dezembro de 2019, na cidade chinesa de Wuhan, uma série de casos de pneumonia por causa desconhecida foi relatada. Um novo Coronavírus foi posteriormente identificado como o patógeno causador, inicialmente denominado nCoV-2019 (LU *et al.*, 2020). A doença se espalhou rapidamente pelo território chinês e, em 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) anunciou a epidemia de nCoV de 2019, ou seja, uma emergência de saúde pública de interesse internacional (QIAN *et al.*, 2020)

A Covid-19 é uma infecção respiratória aguda causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, potencialmente grave, de elevada transmissibilidade e de distribuição global. O SARS-CoV-2 é um betacoronavírus descoberto em amostras de lavado broncoalveolar obtidas de pacientes com pneumonia de causa desconhecida na cidade de *Wuhan*, província de *Hubei*, China, em dez/ 2019. Pertence ao subgênero *Sarbecovírus* da família *Coronaviridae* e é o sétimo coronavírus conhecido a infectar seres humanos. Os coronavírus são uma grande família de vírus comuns em muitas espécies diferentes de animais, incluindo o homem, camelos, gado, gatos e morcegos. Raramente os coronavírus de animais podem infectar pessoas e depois se espalhar entre seres humanos como já ocorreu com o MERS-CoV e o SARS-CoV-2. (CEARÁ, 2021)

Preocupados com o grande avanço da pandemia, inúmeros esforços foram realizados com o intuito de amenizar os efeitos causados por essa doença, no estado do Ceará uma força-tarefa que reuniu Governo do Ceará, por meio da Escola de Saúde Pública (ESP/CE), Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), Federação das Indústrias do Estado do Ceará

(FIEC), por meio do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI - CE), a Universidade Federal do Ceará (UFC) e Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Instituto de Saúde e Gestão Hospitalar (ISGH) e ESMALTEC, deram início ao projeto denominado ELMO®.

Em recente depoimento sobre a sua visão do momento inicial da pandemia no Brasil, o Dr. Marcelo Alcântara (CEARÁ, 2021) relatou

A COVID-19 representa a maior pandemia enfrentada pela humanidade nos últimos 100 anos. Ao tempo em que escrevo este texto, leia-se janeiro de 2022, registra-se aproximadamente 5 milhões e 670mil óbitos pela doença no mundo. No Brasil, pelo menos 627 mil pessoas perderam a vida, cerca de 25.239 no Estado do Ceará. Os primeiros casos foram confirmados em Fortaleza ainda em março de 2020. Nossa capital, hub aéreo internacional e com uma das mais altas densidades demográficas da nação, sofreu impacto mais precoce e intenso da pandemia do que outras capitais do Nordeste, segundo análises do Centro de Inteligência da Escola de Saúde Pública Paulo Marcelo Martins Rodrigues (CISEC, ESP). Àquela época vivíamos uma ameaça de catástrofe iminente. Faltavam leitos de UTI, ventiladores mecânicos e não se recomendava o uso de técnicas de ventilação não-invasiva (VNI) por meio de máscaras adaptadas à face dos pacientes ou cânulas nasais de alto fluxo, ante o risco elevado de contaminação de profissionais de saúde da linha de frente. No dia quatro de abril de 2020, uma reunião demandada pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP) envolveu instituições universitárias (Universidade de Fortaleza e Universidade Federal do Ceará), a Escola de Saúde Pública (ESP), Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC) e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI CE). Naquela tarde chuvosa, em ambiente remoto digital, discutiram-se soluções inovadoras que mitigassem a onda de casos graves que começavam a sobrecarregar o sistema de saúde. A primeira ideia foi de desenvolver um ventilador mecânico, partindo do zero. Argumentei fortemente contra. Como pneumologista e intensivista e estudante do tema desde a minha graduação médica em 1991, sabia perfeitamente que não conseguiríamos desenvolver um equipamento viável para uso num curtíssimo prazo de poucos meses. Propus outra inovação: um capacete para oferta de O₂ com pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP). Mostrei uma imagem de um dispositivo italiano sendo usado por um paciente em Chicago nos EUA do trabalho da Dra Patel e col..¹ Eles demonstraram que o uso do helmet, assim ele é conhecido em inglês, em pacientes com Síndrome da Angústia Respiratória Aguda (SARA), uma condição também associada à Covid-19, reduz a necessidade de intubação traqueal nessa grave condição clínica. Argumentei as possíveis vantagens de seguirmos no caminho do capacete considerando que: 1. Poderíamos evitar um grande número de intubações e todas as consequências do tratamento invasivo; 2. O capacete reduziria o risco de contaminação dos profissionais de saúde por ser vedado no pescoço, com nenhum ou mínimo vazamento e com filtro na exalação; 3. Poderia ser usado fora da UTI, em enfermarias, necessitando tão somente de fonte de gases medicinais, oxigênio e ar comprimido, reduzindo a necessidade de ventiladores mecânicos e mesmo leitos de UTI; 4. Seria mais confortável para o paciente, humanizando e aumentando a eficácia do tratamento; 5. Sendo bem mais simples que um ventilador mecânico, poderia ser factível desenvolvê-lo a tempo de apoiar o sistema de saúde; 6. e, seria de custo muito mais baixo e mais simples de usar por profissionais de saúde.

A união de especialistas da iniciativa público-privada transformou a idealização de um equipamento em um produto de menor custo que os respiradores e que pudesse ser produzido em larga escala no estado cearense.

O dispositivo foi inspirado na experiência de médicos italianos que usaram máscaras de mergulho no tratamento de pacientes com Covid-19 e no uso de 'helmet', capacetes hiperbáricos, utilizados em doenças de descompressão na Europa e nos Estados Unidos.

A união dos cientistas multidisciplinares, somados a estrutura de fabricação do SENAI do Ceará possibilitaram o desenvolvimento do que viria a ser o Capacete de respiração assistida não invasiva com pressão positiva contínua nas vias aéreas, denominado ELMO. Para o desenvolvimento do projeto ocorreram estudos de viabilidade técnica principalmente relacionadas aos processos de fabricação aplicados, com o intuito de encontrar as soluções mais assertivas, chegando ao consenso de que a fabricação de moldes de injeção plástica seria a mais viável.

Dessa forma, o artigo apresenta como justificativa **a investigação dos desafios e expectativas durante o processo de desenvolvimento de um produto inovador utilizando equipamentos de usinagem presentes em uma ferramentaria.**

Tendo como objetivo geral do artigo, apresentar os processos de fabricação aplicados durante o desenvolvimento do capacete de respiração assistida por pressão positiva ELMO®. Enquanto aos objetivos específicos:

- Apresentar os resultados obtidos com a otimização dos parâmetros de fabricação aplicados durante a prototipagem e durante a fabricação dos moldes de injeção plástica;
- Identificar quais foram as maiores dificuldades encontradas durante o processo de fabricação;
- Apresentar as soluções aplicadas para otimização dos tempos e processos de fabricação.

O trabalho está dividido em um referencial teórico, baseado nos processos mais comuns de usinagem, identificando possíveis agentes e suas consequências. Em seguida, foi realizada a captação de dados da pesquisa de estudo de caso, analisando e apresentando os resultados obtidos com base no referencial teórico.

Por fim, as considerações finais do artigo e as referências bibliográficas utilizadas na referida pesquisa.

1.1 Da pesquisa clínica, da validação dos resultados e do processo de fabricação

A equipe técnica foi formada pelo Dr. Marcelo Alcântara (ESP), as fisioterapeutas Dra. Betina Santos Tomaz (ESP), Dra. Gabriela Carvalho Gomes (ESP) e Dra. Juliana Arcanjo (ESP), o técnico de usinagem e graduando em engenharia de produção Bruno Henrique Rodrigues Santos (SENAI – CE), o engenheiro clínico David Guabiraba (SENAI – CE) e o designer industrial Herbert Rocha (professor da UNIFOR). Este grupo principiou os estudos, as modelagens, as simulações, o levantamento de sinais vitais e da fisiologia respiratória, a avaliação e pesquisas clínicas do novo dispositivo médico.

Os estudos da etapa de ensaios clínicos e avaliação de usabilidade foram realizados no laboratório do SENAI CE, unidade Jacareacanga, cuja estrutura foi aparelhada pela Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC) por intermédio do Presidente Ricardo Cavalcante juntamente com o Diretor Regional do SENAI CE Eng. Paulo André Holanda.

Grandes profissionais atuaram de forma significativa para o sucesso do ELMO[®], destaque: o vice-reitor da UFC e médico Glauco Lobo, o professor Dr. Vasco Furtado, Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da UNIFOR, o engenheiro mecânico Rendex Ribeiro da ESMALTEC, responsável pela comercialização dos capacetes no Brasil, o professor Dr. Jarbas Aryel, professor adjunto do Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) da UFC.

Tiveram ainda papel relevante para a garantia de tantas vidas salvas o apoio incondicional, da fisioterapeuta Débora Arnould que possibilitou a entrada da interface ELMO[®] no seu local de trabalho.

Atualmente o capacete ELMO[®], nome e marca registrada de autoria do idealizador do projeto Dr. Marcelo Alcântara, é fabricado pela empresa ESMALTEC S/A que investiu recursos na adequação de sala limpa submetida à inspeção técnica de adequação à norma da RDC-50 – 21 de fevereiro de 2002 – ANVISA.

O sucesso do ELMO[®], parafraseando o Dr. Marcelo Alcântara, se deve a

uma conjugação de esforços, sentimento de solidariedade e a vontade incontestável de salvar vidas, que só possível pela entrega dos pesquisadores, contribuindo com conhecimento e suas experiências, do SENAI-CE, que não poupou esforços para viabilizar a melhor equipe e infraestrutura de equipamentos, insumos e materiais da pesquisa, e da iniciativa privada, ESMALTEC, que acolheu e se preparou para sua fabricação em larga escala.

Vale registrar ainda que, mesmo não sendo atividade própria do SENAI CE, a produção, a instituição chegaram a produzir 1000 Elmos em caráter de urgência, para serem doados à Secretaria de Saúde do Estado do Ceará, aos Hospitais públicos e privados e à oito Federações da Indústria de outros Estados da Federação.

1.2 Princípio de funcionamento

O capacete ELMO® trata-se de um dispositivo de ventilação não invasiva (VNI) capaz de ofertar ao paciente suporte ventilatório sob condições de pressão positiva controlada e ajustável através de uma válvula PEEP (Pressão Positiva Expiratória Final). A pressão positiva no interior do capacete possibilita, na fase inspiratória do ciclo respiratório, reduzir o esforço de negativação da pressão dessa fase. Podemos afirmar que em condições em que a pressão no interior do capacete é propositadamente elevada em virtude da admissão dos fluxos de gases medicinais, o paciente investe menos esforço para iniciar sua respiração tornando dessa forma mais fácil e agradável esse momento.

Figura 01 – Capacete Elmo



Fonte: Autor (2021)

Para utilizar o ELMO® a cabeça do paciente deve encontrar-se completamente no interior da cúpula de PVC transparente que condiciona um ambiente estanque e isolado do meio externo.

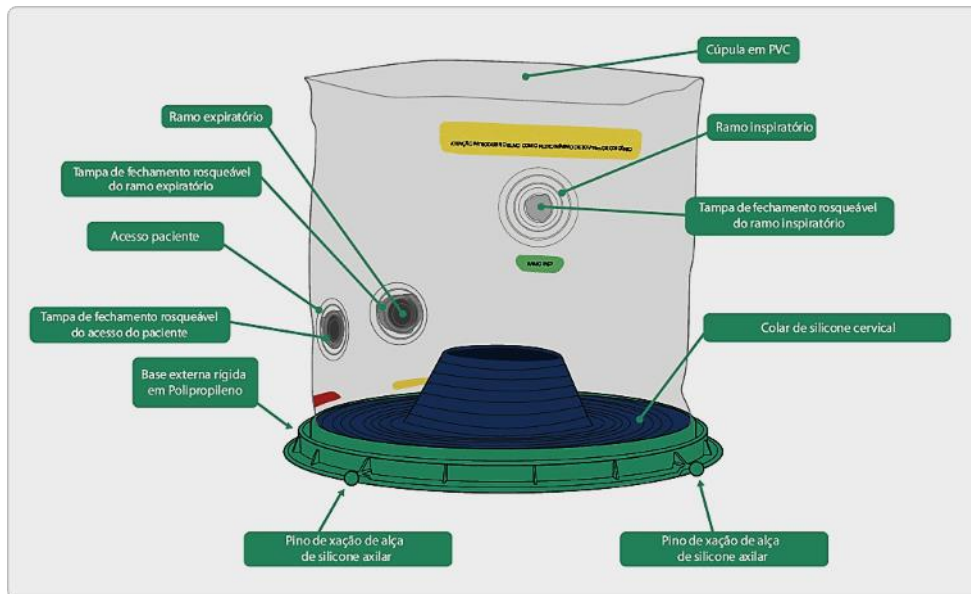
A pressão no interior do capacete origina-se da produção de fluxos de oxigênio medicinal (100% de saturação) e/ou ar medicinal (21 % de saturação) ajustados por dois fluxômetros de vazão de 30 l/min. Cada um dos fluxômetros é conectado à rede de gases medicinais que deve estar presente no local onde terapia é realizada. A fim de garantir a aplicação de uma resistência na fase expiratória, através do aumento da pressão dentro do ELMO® uma válvula chamada PEEP (Pressão Positiva Expiratória Final) é montada no ramo expiratório do dispositivo após o filtro HEPA. Essa válvula objetiva realizar abertura de unidades pulmonares mal ventiladas por mais tempo objetivando melhorar a oxigenação e consequentemente a hematose (troca gasosas na interface alvéolo – capilar).

De acordo com Tomaz *et al.* (2021, p.10)

Aproximadamente 15 a 20% dos casos de COVID-19 desenvolvem insuficiência respiratória hipoxêmica aguda (IRpA), necessitando de oxigenoterapia e de suporte ventilatório. Estratégias não invasivas para evitar a intubação nesses pacientes têm se tornado cada vez mais importantes. A pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP) com interface tipo capacete tem sido descrito como uma estratégia segura, com mínima contaminação do meio ambiente, melhorando a oxigenação do paciente e evitando a intubação em mais da metade dos casos. O objetivo desse estudo foi avaliar a eficácia do uso de um novo tipo de capacete, o ELMO®, para tratar a insuficiência respiratória hipoxêmica aguda secundária à COVID-19 fora da UTI.

A estrutura do capacete ELMO® foi idealizada e concebida com o uso de materiais comuns na área da saúde e sem restrições ou impedimentos por parte da ANVISA.

Figura 02 - Partes integrantes do capacete ELMO®



Fonte: Autor (2021)

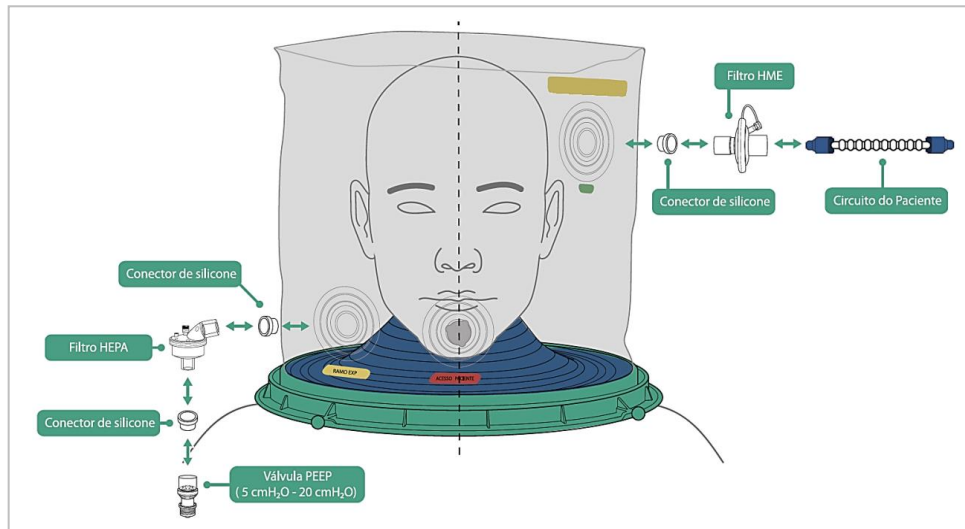
Podemos afirmar que três tipos de materiais distintos foram empregados no desenvolvimento do dispositivo:

1. Policloreto de Vinila (PVC), também conhecido como Vinil, utilizado para a construção da cúpula transparente do capacete. A escolha desse material deu-se em virtude da sua alta resistência, duração e mobilidade.
2. Polipropileno (PP), que trata-se de um polímero termoplástico pertencente ao grupo das Poliolefinas. Esse material foi utilizado para fazer a injeção das partes rígidas do dispositivo, a base interna e externa do capacete. Além de alta resistência mecânica esse material confere ao dispositivo leveza, alta qualidade de acabamento e textura de superfície extremamente lisa e sem rugosidades.
3. Borracha flexível atóxica a base de silicone que foi empregada na construção do colar cervical que envolve o pescoço do paciente. A escolha desse produto foi determinada baseada nas suas características químicas, de estabilidade física aliadas a alta resistência ao calor. Outros dois fatores importante que motivaram a escolha deu-se ao fato de se tratar de composto amplamente utilizado na área da saúde com baixo índice de reação alérgica em pessoas e por ser confortável ao contato.

O capacete deve ser utilizado em pacientes com todos os itens apresentados no manual do fabricante pois estes são os mesmos empregados durante os ensaios e testes clínicos validados pelo CONEP (Comissão Nacional de Ética e Pesquisa) que é a instância máxima de avaliação ética em protocolos de pesquisas envolvendo

seres humanos.

Figura 03 - Acessos de entrada fluxos de gases, saída e administração de medicação.



Fonte: Autor (2021)

Observando o capacete da forma como se apresenta na Figura 3 identifica-se, na região da cúpula de PVC transparente, três partes denominadas de acesso designados por ramo inspiratório, acesso paciente e ramo expiratório.

O primeiro, localizado na região superior direita da ilustração, marcado por uma tarja verde, é chamado ramo inspiratório. É através dele que a oferta de fluxo de gases oriundos dos fluxômetros de Oxigênio e Ar Medicinal entram no interior do capacete. Nesse acesso percebemos que há a interposição de um filtro (filtro HME) que foi utilizado com a finalidade de reduzir o ruído da propagação do fluxo na entrada desse acesso que fica nas imediações do ouvido esquerdo do paciente.

O segundo, localizado na linha do plano sagital mediano, marcado por uma tarja vermelha, chamado paciente, destina-se a entrada de medicação e hidratação que pode haver durante a terapia.

O terceiro, localizado na região inferior esquerda da ilustração, marcado por uma tarja amarela, é chamado de ramos expiratório. É através dele o volume expirado do paciente sai do capacete ao meio ambiente. Nesse acesso percebemos que há a interposição de dois elementos. O primeiro trata-se de um filtro HEPA que será responsável pela retenção de microrganismos viáveis e contaminantes e o segundo a válvula PEEP com função já referenciada anteriormente.

As demais partes e conexões apresentadas na ilustração são integradas ao circuito respiratório (mangueira do ramo inspiratório) do paciente que tem por finalidade garantir justaposição entre as partes intercambiáveis garantindo que estas estejam livres de vazamentos ou que possam se desprenderem durante a realização da terapia onde houver marcha do paciente ou nas ocasiões de mudança de decúbito.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente tópico auxilia no entendimento teórico sobre o estudo realizado, a partir do que já foi estudado por diversos autores e seus trabalhos científicos, onde abordam assuntos como: Processos de fabricação, Usinagem convencional e Usinagem em máquinas CNC.

2.1 Processos de Fabricação

Fabricar é transformar matérias-primas em produtos acabados, por uma variedade de processos. A ideia de fabricar teve início há milhares de anos, quando o homem pré-histórico percebeu que, para sobreviver, precisava de algo mais que pernas e braços para se defender e caçar. Sua inteligência logo o ensinou que se ele tivesse uma pedra nas mãos, seu golpe seria mais forte, e se a pedra tivesse um cabo esse golpe seria mais forte ainda. Se essa pedra fosse afiada poderia cortar a caça e ajudar a raspar a peles dos animais. Foi a partir da necessidade de se fabricar um machado que o homem desenvolveu as operações de desbastar, cortar e furar. Durante centenas de anos a pedra foi a matéria-prima, mas por volta de 4000 A.C. ele começou a trabalhar com metais, começando com o cobre, depois com o bronze e finalmente com o ferro para a fabricação de armas e ferramentas.

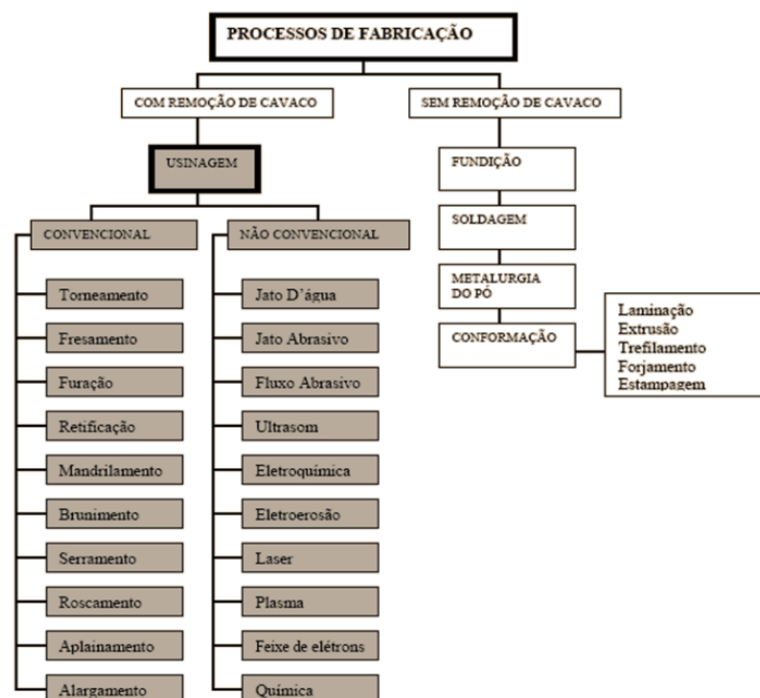
Os processos de transformação de metais e ligas metálicas em peças para a utilização em conjuntos mecânicos são inúmeros e variados: pode-se fundir; soldar; utilizar a metalurgia em pó; ou usinar o metal a fim de obter a peça desejada. Evidentemente, vários fatores devem ser considerados quando se escolhe um processo de fabricação. Pode-se definir usinagem como uma operação que confere a uma peça de metal (ou outro tipo de material) forma ou redução de dimensão ou

acabamento, podendo ser qualquer combinação entre estes três itens, produzindo cavaco. (MACHADO, 2004)

Podemos dividir os processos de fabricação de metais e ligas metálicas em: os com remoção de cavaco, e os sem remoção de cavaco. A Figura 04 mostra a classificação dos processos de fabricação, destacando as principais operações de usinagem. Processos de usinagem envolvem operações de corte que permitem remover excessos de um material bruto com auxílio de uma ferramenta até que este resulte em uma peça pronta que, posteriormente, irá compor algum engenho mecânico que, por sua vez, farão parte de bens duráveis. (MORAES, 2009)

Nestas operações de corte são geradas aparas que se costumam chamar de cavacos. Assim, processos de usinagem, invariavelmente, implicam na geração de cavacos. Um subgrupo da norma DIN 8580 sob o termo separar, compreende os processos de fabricação com remoção de cavaco com ferramenta de geometria definida, que se caracteriza pela aplicação de ferramentas com características geometricamente definidas. Já há aproximadamente 12 a 50 mil anos o homem estava em condições de produzir ferramentas de pedras com arestas de corte (gumes) afiadas por lascamento, como nos mostram achados arqueológicos da idade da pedra. (ROCHA, 1985)

Figura 04 - Os processos de fabricação



Fonte: Moraes (2009)

Para poder satisfazer as exigências crescentes feitas à qualidade das peças e a viabilidade econômica do processo de fabricação, as ferramentas de corte devem ser usadas de forma econômica, para que as variáveis envolvidas na usinagem (geometria da ferramenta, condições de corte, material da peça etc.) sejam consideradas quanto à sua influência e o seu efeito sobre o resultado do trabalho.

A história usinagem começou em tempos atrás com processos 100% manuais e hoje em dia evoluiu bastante, com o uso de máquinas de alta definição, como é o caso das chamadas CNC (com comando numérico computadorizado), com uma precisão que chega a ser tão pequena quanto a 1 *mícron*. (MACHADO, 2004)

Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento de maquinários cada vez mais eficientes, o setor de usinagem conseguiu obter uma série de vantagens na sua atuação, de modo que o trabalho se tornou melhor, e vem sendo constantemente aperfeiçoado. Entre os principais pontos positivos vistos com a evolução do segmento, é possível elencar o aceleração de processos, a redução de erros, o aumento da qualidade e precisão das peças usinadas. (MACHADO, 2004)

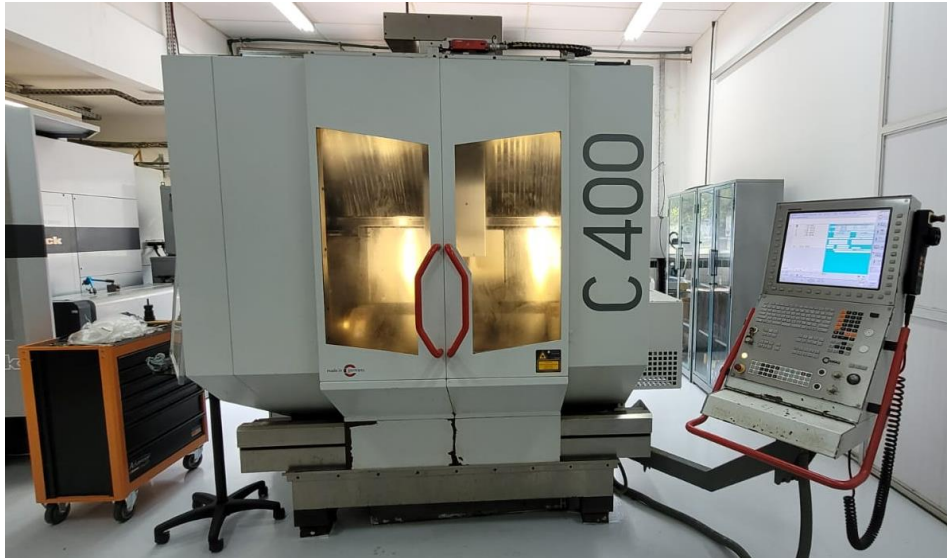
2.2 Centro de usinagem, eletroerosão a fio cnc e demais equipamentos utilizados na fabricação do ELMO®.

Centro de Usinagem é uma máquina industrial capaz de executar diversas funções, como Torneamento, Retificação, Fresamento, Furação, Mandrilamento, abertura de roscas, etc. Obedecendo a um Comando Numérico Computadorizado (CNC), o equipamento auxilia os processos da indústria, realizando diversas operações sem a necessidade de substituir peças ou ferramentas durante seu funcionamento. (ROCHA, 1985)

O Centro de usinagem foi responsável por executar os 10 protótipos em nylon e fabricar a maior parte dos moldes de injeção de aço carbono.

Na Figura 05 apresenta-se o equipamento utilizado nas instalações do SENAI IST.

Figura 05 - Centro de usinagem CNC, utilizado no desenvolvimento do ELMO®.



Fonte: Autor (2022)

Enquanto a Eletroerosão a Fio é um processo de usinagem não convencional, que utiliza um fio de latão ou molibdênio ionizado, esse fio atravessa a peça submersa em água não ionizada, em movimentos constantes, provocando descargas elétricas entre o fio e a peça, cortando material. Ele foi responsável por executar parte das atividades desenvolvidas durante a fabricação dos moldes.

Apresenta-se na Figura 06, o equipamento utilizado na fabricação dos moldes de injeção plástica o equipamento está localizado nas instalações do SENAI IST.

Figura 06 - Eletroerosão a fio CNC utilizada no desenvolvimento do ELMO®.



Fonte: Autor (2022)

Os dois equipamentos citados acima nas Figuras 05 e 06, corresponderam a aproximadamente 90% dos processos de fabricação utilizados no desenvolvimento do capacete ELMO®, os demais equipamentos utilizados foram:

- **Eletroerosão por penetração**, que consiste na usinagem por meio de descargas elétricas, essas descargas ocorrem em um meio dielétrico e se originam entre dois polos, o eletrodo ou ferramenta de trabalho e a peça a ser usinada. A usinagem por Eletroerosão foi utilizada durante a confecção dos moldes de injeção plástica do ELMO® para acabamentos e fabricações de detalhes que não puderam ser feitos durante a fabricação no centro de usinagem CNC.
- **Torno CNC**, é um equipamento industrial utilizado em usinagens precisas adequado para produção e acabamento de peças como eixos, cones, pinos, esferas, entre outras. Recebe esse nome pois seus movimentos e ações são orientados por Comando Numérico Computadorizado (CNC). O referido equipamento foi utilizado para a fabricação dos componentes cilíndricos dos protótipos de nylon e para as colunas, buchas e pilares dos moldes de injeção em aço carbono.
- **Furadeira radial**, é um tipo de furadeira que suporta grandes peças e possui um braço giratório que permite o alcance de grandes áreas. O equipamento foi utilizado nas furações de refrigerações dos dois moldes de injeção.
- **Retifica plana tangencial**, é uma máquina de acabamento superficial onde o atrito do rebole sobre a peça permite a retificação da peça que normalmente é fixada em uma mesa magnética. O equipamento foi utilizado para a realização dos acabamentos superficiais nas placas de aço carbono dos moldes de injeção.

3 METODOLOGIA

Essa pesquisa tem como objetivo geral, identificar os processos de fabricação utilizados para a obtenção do capacete de respiração assistida ELMO®, seus impactos no tempo total de execução e a otimização dos parâmetros de usinagem que possibilitaram a redução de tempo da produção total mantendo a qualidade de acabamento e funcionalidade tanto nos 10 protótipos em nylon quanto nos moldes de injeção e no produto injetado. O estudo ocorreu durante o processo de fabricação e testes de funcionalidade.

Partindo da concepção de que método é um procedimento ou caminho para alcançar determinado fim e que a finalidade da ciência é a busca do conhecimento, podemos dizer que o método científico é um conjunto de procedimentos adotados com o propósito de atingir o conhecimento. (PRODANOV; FREITAS 2013, p. 24)

3.1 O método

A presente pesquisa foi realizada através de um estudo de caso, de forma descritiva, pois, considerando Prodanov e Freitas (2013, p. 52):

Pesquisa descritiva: quando o pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles. Visa a descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento.

A abordagem para o comparativo foi de caráter qualitativo através da coleta e análise dos resultados dos processos aplicados. Todo questionário razoável produz, então, dados empíricos, seguindo-se a tarefa de arrumar tais dados, possivelmente em tabelas com devidas percentagens, para extrair regularidades e frequências. (DEMO, 2007, p. 130)

3.2 Amostra

O estudo foi realizado utilizando 10 amostras dos protótipos funcionais obtidos a partir do processo de fabricação em polímero nylon e através da usinagem de dois moldes de injeção plástica para a produção seriada do ELMO®, fabricados

em aço P20 no Instituto de tecnologia, utilizado máquinas de usinagem CNC (Comando Numérico Computadorizado) tais como Centro de usinagem, Eletroerosão por Penetração, Eletroerosão a fio, Torno CNC e máquinas de usinagem convencional, tais como Fresadora ferramenta, Retífica Plana Tangencial, Furadeira Radial e Torno Mecânico.

3.3 Coleta

As informações coletadas foram resultantes das otimizações das operações aplicadas durante a confecção dos protótipos e dos moldes de injeção plástica utilizados para a obtenção do produto final.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado principal foram especificados e listados os processos de fabricação aplicados no desenvolvimento do capacete de respiração assistida ELMO® e suas otimizações de parametrização, sendo que todas as estratégias e processos foram baseadas nas experiências da equipe multidisciplinar composta por técnicos de fabricação, engenheiros mecânicos e engenheiros de produção.

Foram produzidos 10 protótipos de nylon divididos em 03 grupos de fabricação, no primeiro grupo foram feitos os protótipos 01 e 02, no segundo grupo produziu-se os protótipos 03, 04 e 05, no terceiro grupo já com os processos mais próximos do ideal, produziu-se os protótipos 06, 07, 08, 09 e 10.

Ao iniciar esse projeto a estimativa de produção dos protótipos era de 190 horas, reduzida em um segundo teste com o grupo 02 para 138 horas e após mais testes com o terceiro grupo conseguiu-se realizar em 119,25, apenas com mudanças de parâmetros de usinagem, tais como rotação, avanço e incremento, o que representou uma redução de quase 40% no tempo total de produção dos 10 protótipos.

Chegando aos moldes de injeção que permitiria sair da etapa de prototipagem e iniciar a etapa de produção seriada em escala industrial do produto, a previsão inicial de conclusão dos dois moldes seria de 240 horas, durante o processo de fabricação do molde 01 com a otimização dos processos esse tempo foi reduzido em 25% ou seja, a conclusão ocorreu em 90 horas, no molde de número 02 já com os processos próximos do ideal a previsão de conclusão seria de 90 horas, o que representaria um total de 180 horas nos dois moldes, então buscou-se mais alternativas de parametrização para essa redução de tempo sem comprometer o acabamento superficial esperado e sem ocasionar quebras no ferramental utilizado, partindo dessas restrições, o limite alcançado foi uma redução de mais 16,66% do tempo, reduzindo para 75 horas o tempo de fabricação.

Portanto, os dois moldes que estavam previstos para serem executados em 240 horas e que em um primeiro teste conseguiu-se reduzir para 180 horas, foi totalmente produzido em 165 horas o que representa uma redução final de 31%.

O resultado desse trabalho também enlace que é a Inovação e as técnicas de usinagem aplicadas na obtenção do capacete ELMO®, que após 120 dias de estudo

e muito trabalho, com o uso de tecnologia e aplicação de técnicas de fabricação, o capacete de respiração assistida, que pode ser disponibilizado aos pacientes infectados com a COVID -19, acomodado ao pescoço do paciente, o ELMO® permite ofertar oxigênio a uma pressão definida ao redor da face, sem necessidade de intubação. Dessa forma, a pessoa consegue respirar com auxílio da pressurização e oferta de oxigênio, o sistema possibilita, portanto, a melhora na respiração e pode ser utilizado fora de leitos de UTI, reduzindo o risco de morte por tal doença.

Feito com silicone e PVC, o dispositivo foi desenvolvido para oferecer oxigênio em alto fluxo para o paciente internado. O equipamento envolve toda a cabeça do paciente e é fixado no pescoço em uma base que veda a passagem de ar. Com a aplicação de oxigênio e ar comprimido, o ELMO® gera uma pressão positiva (em relação à pressão atmosférica) que ajuda pacientes com dificuldade de oxigenação. Dessa forma, é indicado para o tratamento de pacientes com quadro clínico leve e moderado, mas também auxilia casos que começam a evoluir para gravidade, de modo a evitar também a intubação do paciente.

Um outro ponto de vantagem é que o equipamento pode ser desinfetado e reutilizado trazendo como benefício o custo inferior em relação aos respiradores mecânicos e a maior segurança para os profissionais de saúde, está ajudando ativamente o sistema de saúde, já que, por ser vedado, não permite a proliferação de partículas de vírus. Além de possuir todas as exigências de segurança e confiabilidade, o que garantiu o registro na ANVISA, está ajudando ativamente a população.

Após concluído e fabricado em larga escala, o ELMO® foi doado e comercializado, com a autorização da Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e até o início de 2022 já salvou mais de 60 mil vidas. Devido este feito, a invenção genuinamente cearense foi agraciada por seu caráter inovador, como a campeã do 9º Congresso Nacional de Inovação na Indústria, realizado no mês de março de 2022, em São Paulo. O case de sucesso concorreu com outros 25 projetos, alcançando 60% dos votos.

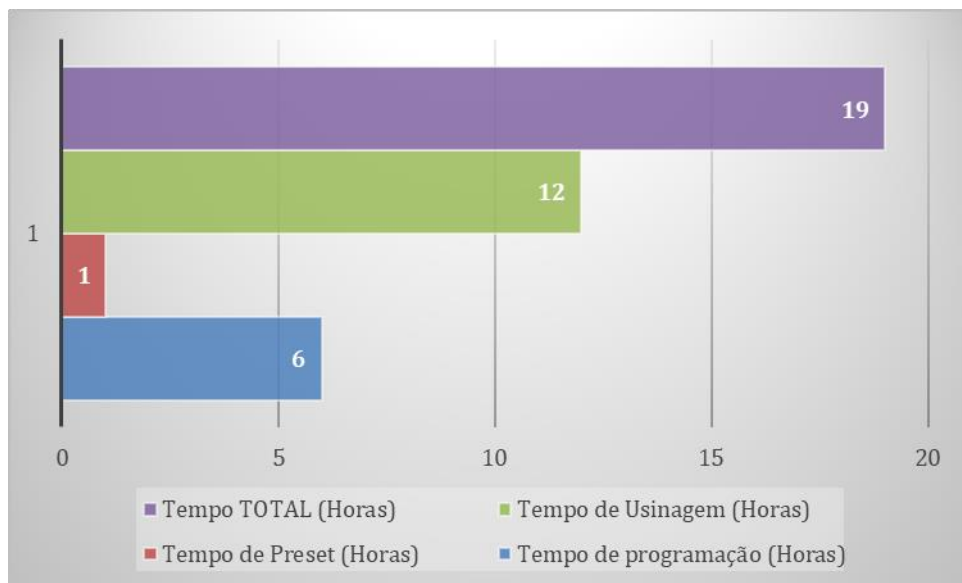
Os inventores do ELMO® foram também homenageados pelo Governo do Estado do Ceará com a Medalha da Abolição, considerada a principal honraria do Estado, a comenda foi entregue pelo então governador Camilo Santana.

4.1 Tempo de fabricação e parâmetros de usinagem aos protótipos

Neste tópico, apresenta-se os gráficos dos tempos de fabricação e parâmetros de usinagem distribuídos em 3 grupos, sendo o grupo 1 referente aos protótipos 01 e 02, grupo 2 referentes aos protótipos 03, 04 e 05 e grupo 3 referentes aos protótipos 06, 07, 08, 09 e 10.

De acordo com o Gráfico 01, para a fabricação dos dois primeiros protótipos em nylon foram utilizadas 19 horas, sendo 01 hora para *preset*, 06 horas para definição de estratégias, ferramentas e programação e 12 horas de usinagem em máquina CNC.

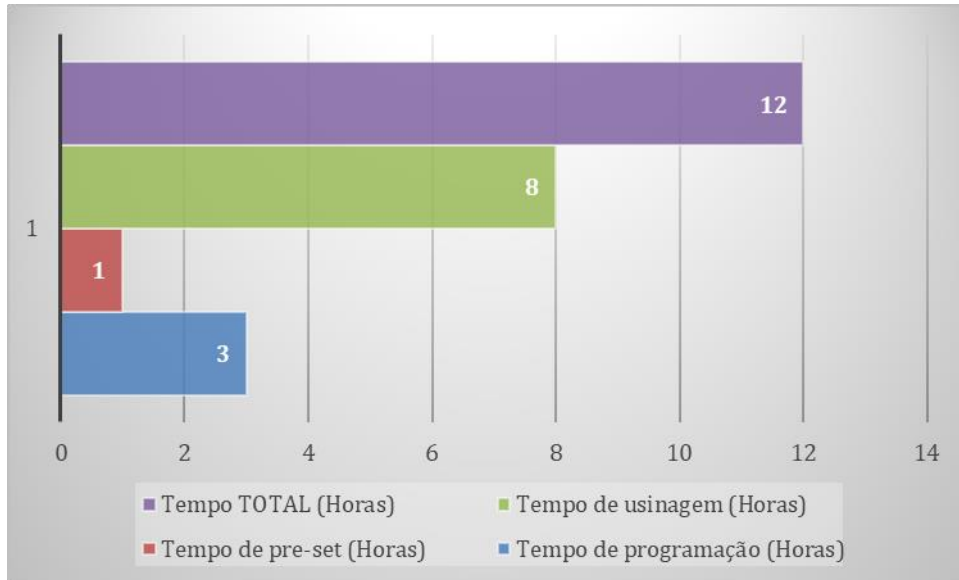
Gráfico 01 - **Fabricação** dos protótipos do grupo 01 - Tempos de usinagem necessários para realização do grupo de prototipagem 01 que corresponde aos protótipos em nylon 01 e 02.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Enquanto no Gráfico 02, observa-se que com a otimização do processo de usinagem CNC, houve uma redução nos tempos de fabricação, mantendo-se o tempo de *preset* em 01 hora e com redução nos tempos de programação para 08 horas e no tempo de usinagem CNC para 12 horas, totalizando 12 horas de fabricação para o grupo de protótipo 02 o que representou uma redução de 36,8 % em comparação com o grupo 01.

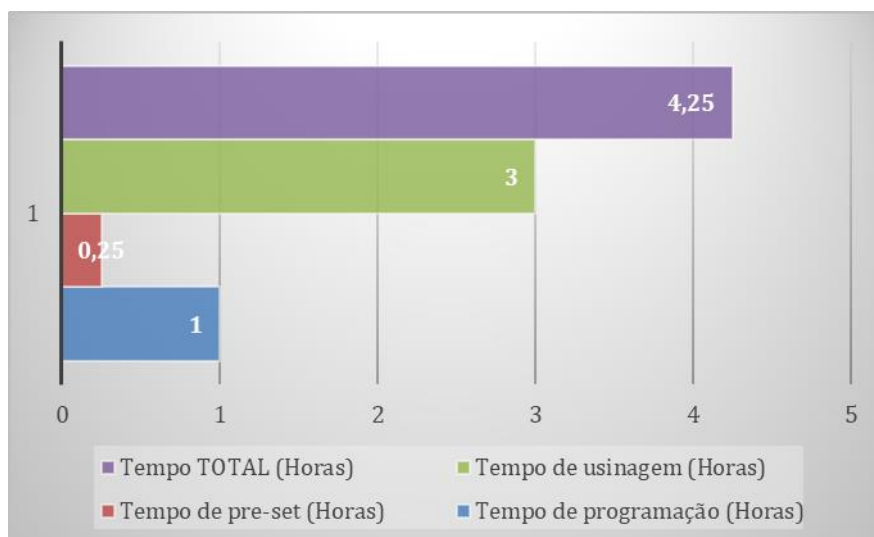
Gráfico 02 - Fabricação dos protótipos do grupo 02 - Tempos de usinagem necessários para realização do grupo de prototipagem 02 que corresponde aos protótipos em nylon 03, 04 e 05.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Verifica-se no Gráfico 03, após a última otimização dos processos de fabricação referentes a fabricação dos protótipos em nylon do grupo 03, observou-se uma redução de 65% em comparação ao grupo 02 e de aproximadamente 77% de redução ao tempo de fabricação quando comparado ao grupo 01, ou seja, o tempo total que era de 19 horas no primeiro grupo, reduziu a apenas 4,25 horas de tempo de usinagem total.

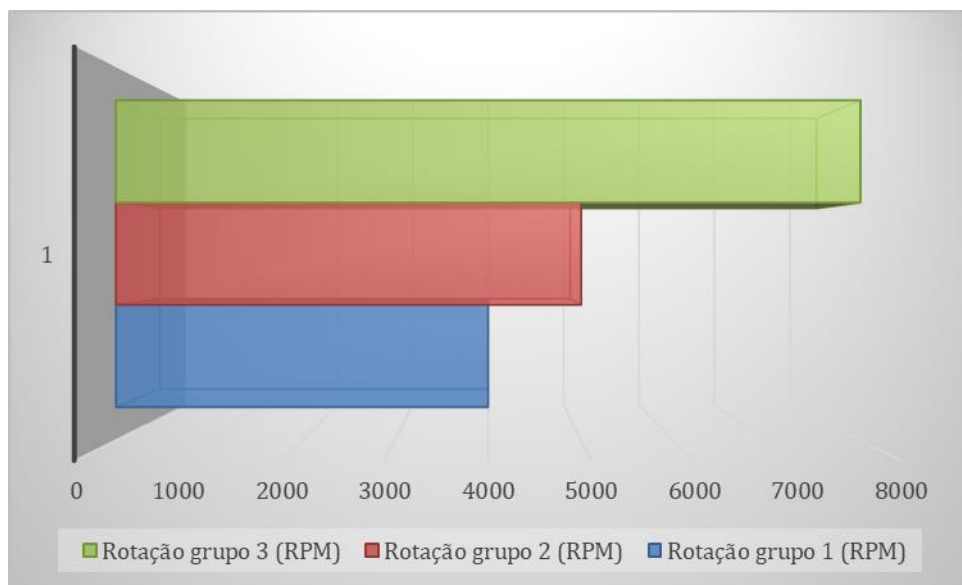
Gráfico 03 - Fabricação dos protótipos do grupo 03 - Tempos de usinagem necessários para realização do grupo de prototipagem 03 que corresponde aos protótipos em nylon 06, 07, 08, 09 e 10.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

No Gráfico 04 mostra-se a evolução das rotações nos grupos 01, 02 e 03, pode observar que as rotações do eixo árvore da máquina de usinagem CNC estão diretamente ligadas ao tempo de fabricação, ou seja, a rotação do grupo 01 foi de 4.000 rotações por minuto, enquanto do grupo 02 foi de 5.000 rotações por minuto e no grupo 03, 8.000 rotações por minuto.

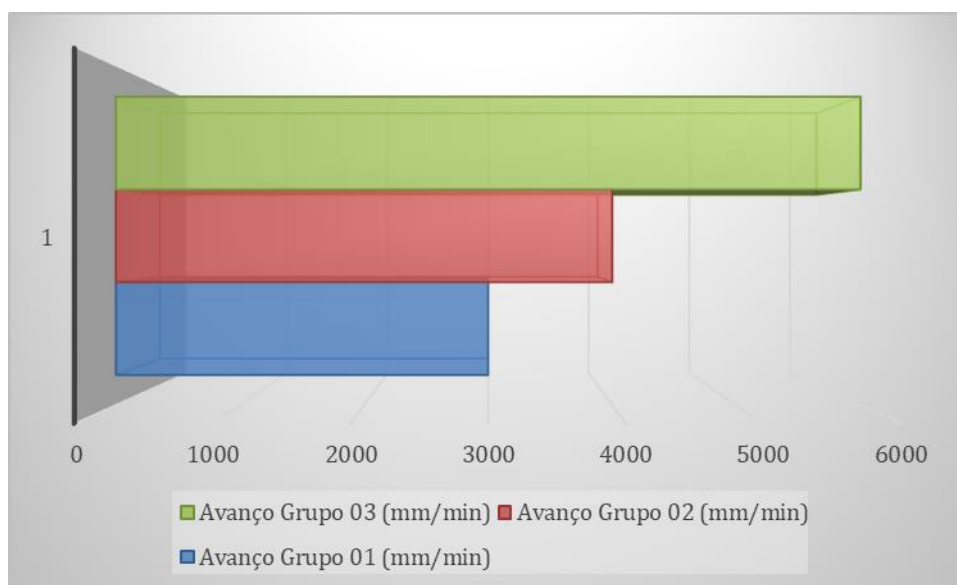
Gráfico 04 - Rotações do processo de usinagem CNC – Comparativo das rotações do eixo árvore do CNC utilizadas durante a prototipagem nos 03 grupos.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O Gráfico 05 demonstra-se a evolução nos avanços de usinagem programados para os grupos 01, 02 e 03, pode-se observar que os avanços programados contribuíram diretamente na redução dos tempos de usinagem CNC, ou seja, o avanço programado no grupo 01 foi de 3.000 milímetros por minuto, enquanto do grupo 02 foi de 4.000 milímetros por minuto e no grupo 03 6.000 milímetros por minuto.

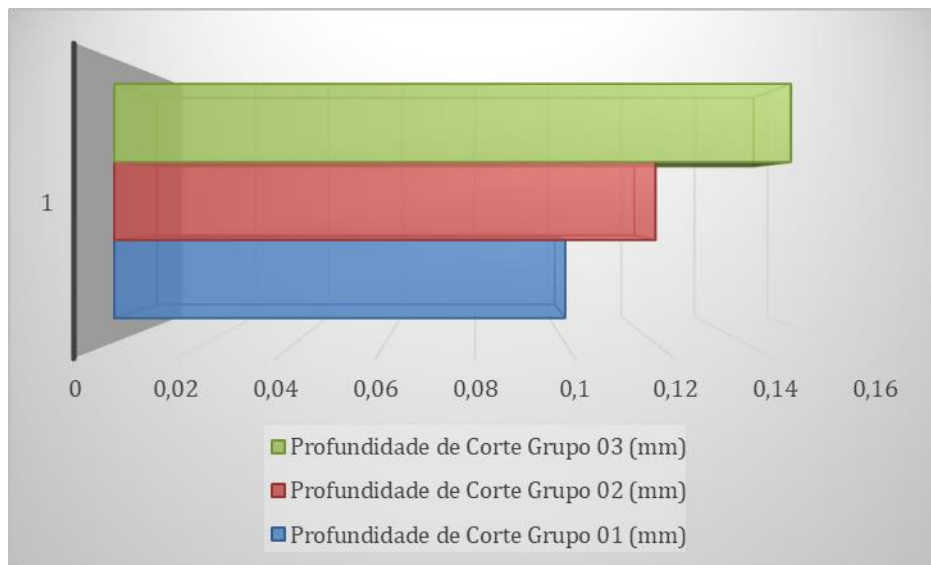
Gráfico 05 - Avanços do processo de usinagem CNC – Comparativo dos avanços programados da usinagem CNC, utilizadas durante a prototipagem nos 03 grupos.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Por fim, no Gráfico 06 mostra-se o aumento na profundidade de corte comparando os 03 grupos, observa-se que os incrementos programados contribuíram diretamente na redução dos tempos de usinagem CNC, ou seja, o incremento programado no grupo 01 foi de 0,1 milímetros, enquanto do grupo foi de 0,12 milímetros e no grupo 03 foi de 0,15 milímetros.

Gráfico 06 - Profundidade de corte durante o processo de usinagem CNC – Comparativo dos incrementos ou profundidades de corte programados durante a usinagem CNC, referente a prototipagem em nylon nos 03 grupos.



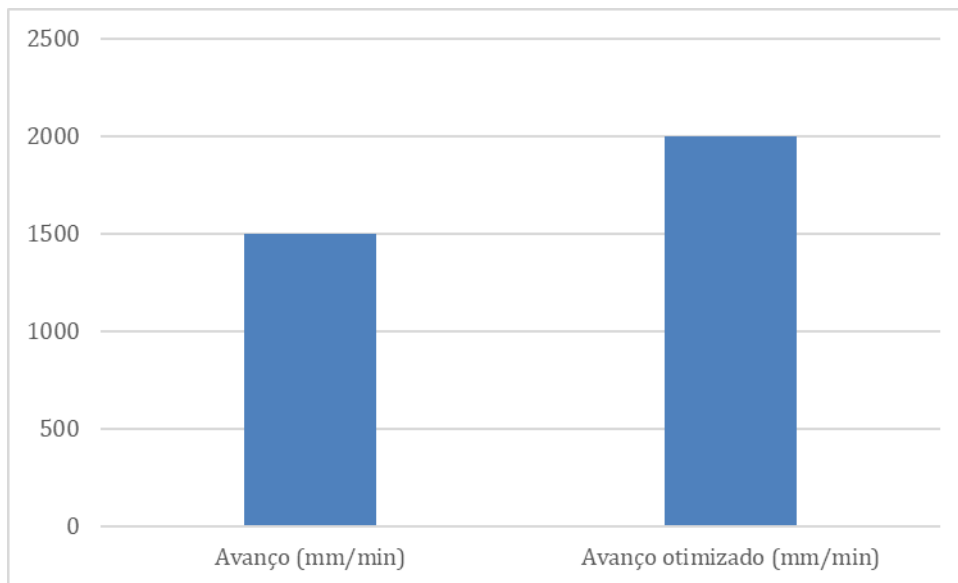
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2 Tempos de fabricação e parâmetros de usinagem referente aos moldes de injeção plástica definitivos 01 e 02.

Neste tópico apresenta-se os gráficos dos tempos de fabricação e parâmetros de usinagem referente aos moldes de injeção plástica definitivos 01 e 02.

De acordo com o Gráfico 07, o avanço inicialmente programado para a fabricação CNC seria de 1.500 milímetros por minuto, porém durante o processo com os testes de esforço no corte os parâmetros puderam ser otimizados chegando até 2.000 milímetros por minuto o que possibilitou um aumento de 33% no avanço programado.

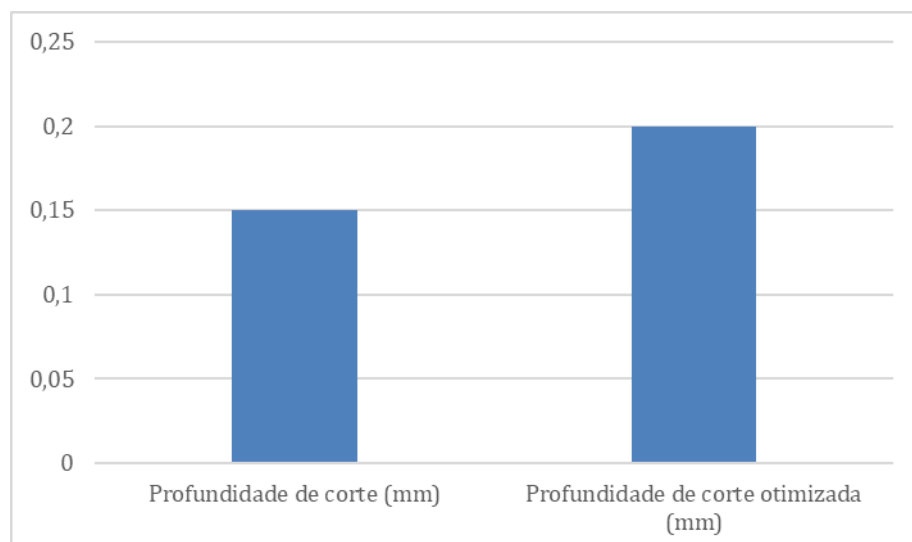
Gráfico 07 - Avanços aplicados na Fabricação dos moldes de injeção 01 e 02 - Comparativo de avanço no início do processo x otimização durante o processo, referente a fabricação dos moldes de injeção plástica 01 e 02.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

De acordo com o Gráfico 08, o avanço inicialmente programado para a fabricação CNC seria de 1500 milímetros por minuto, porém durante o processo com os testes de esforço no corte os parâmetros puderam ser otimizados, chegando até 2.000 milímetros por minuto o que possibilitou um aumento de 33% no avanço programado.

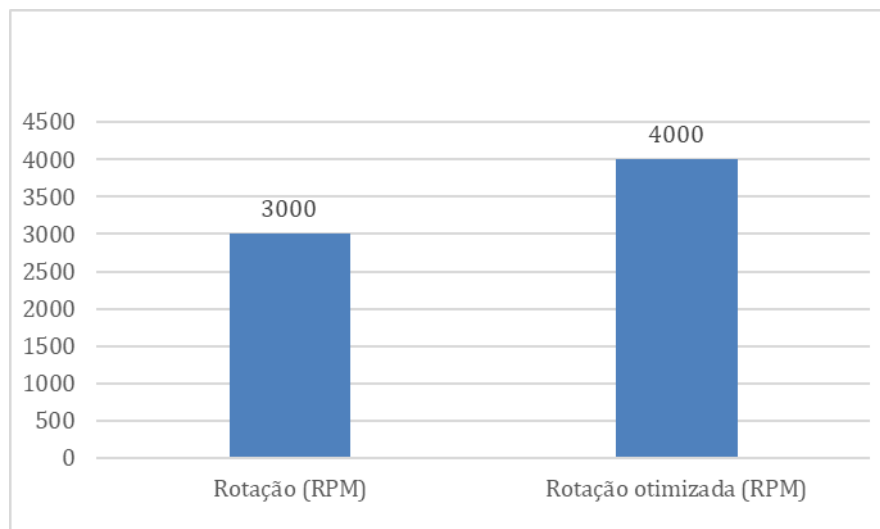
Gráfico 08 - Profundidades de corte aplicados na Fabricação dos moldes de injeção 01 e 02 - Comparativo da profundidade de corte aplicada no início do processo x otimização da profundidade de corte aplicada durante o processo, referente a fabricação dos moldes de injeção plástica 01 e 02.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Conforme o Gráfico 09, a rotação inicialmente programada para a fabricação CNC seria de 3.000 rotações do eixo árvore por minuto, porém durante o processo com os testes de fabricação os parâmetros puderam ser otimizados chegando até 4.000 rotações do eixo árvore por minuto o que representa um aumento de 33% na rotação programada.

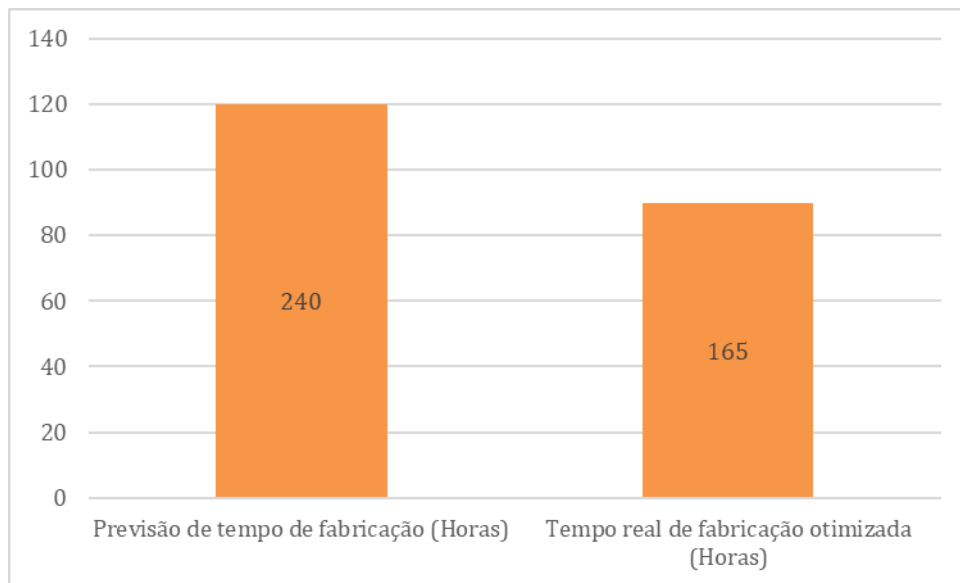
Gráfico 09 - Rotações aplicadas na Fabricação dos moldes de injeção 01 e 02 - Comparativo da rotação do eixo árvore aplicada no início do processo x otimização da rotação do eixo árvore aplicada durante o processo, referente a fabricação dos moldes de injeção plástica 01 e 02.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Enquanto ao Gráfico 10, ocorreu uma redução de 31% nos tempos de usinagem planejados com a otimização dos parâmetros de corte, ou seja, inicialmente a previsão para a conclusão da usinagem CNC nos moldes era de 240 horas, conforme o desenvolvimento foi ocorrendo otimizou-se os parâmetros reduzindo para apenas 165 horas de usinagem CNC.

Gráfico 10 - Fabricação dos moldes de injeção 01 e 02 - Tempos de usinagem planejado x tempo de usinagem realizado, referente a fabricação em CNC dos moldes de injeção plástica 01 e 02.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ciência permite a humanidade compreender um pouco mais sobre a natureza, a ciência é importante na nossa vida pois nos ajuda a ter uma qualidade de vida melhor, através da ciência muitas doenças foram eliminadas. A ciência possibilita avanços na saúde, alimentação, energia e outros. Cada vez mais, a busca pelo desenvolvimento econômico e social tem ensinado que este caminho tem como

pontos fundamentais a ciência, a tecnologia e a inovação. No paradigma da sociedade da informação e do conhecimento a ciência e tecnologia ganham cada vez mais importância.

Quando uma pandemia como a do novo coronavírus se alastra pelo mundo, uma das grandes necessidades é obviamente o desenvolvimento de uma vacina ou de outro adereço específico na tentativa de salvar vidas, eis que surgiu a ideia de se criar um produto autêntico e eficaz no tratamento desta doença, o ELMO®.

A partir da ideia selada entra as empresas parceiras, foi desenhado e desenvolvidos os vários processos até que esse produto ficasse pronto para os futuros usuários, dentre eles o objeto de estudo deste trabalho: Os processos de fabricação de um produto.

O conhecimento dos principais processos de fabricação utilizados na prototipagem e na fabricação dos moldes de injeção plástica, foram de extrema importância para a otimização dos parâmetros utilizados e conseqüentemente a redução dos tempos de produção dos 10 protótipos funcionais em nylon e dos dois moldes de injeção plástica confeccionados em aço carbono. Essas ações certamente ajudaram a salvar mais vidas.

O capacete proporciona que o gás carbônico não seja expelido no ambiente, o que é mais uma vantagem. Não havendo contaminação, o aparelho garante a maior segurança dos profissionais de saúde. Com sua produção firmada, dois anos foram reduzidos a três meses, período no qual o equipamento passou por concepção, desenvolvimento e consolidação do protótipo a partir dos testes de usabilidade para averiguar sua adequação e conforto em voluntários sadios.

Aplicar todos os conceitos de fabricação, em mais de 20 anos de profissão para uma causa tão nobre, tão válida, mudou a vida de um futuro Engenheiro de Produção.

REFERÊNCIAS

CEARÁ. Histórico, SUS, 2021. Escola de Saúde Pública do Ceará. Secretaria Estadual de Saúde Pul Disponível em <https://sus.ce.gov.br/elmo/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

DEMO, Pedro. **Desafios modernos da educação**. 14ed. Petrópolis, Rio de Janeiro, vozes, 2007.

MACHADO, Á. R.; SILVA, M. B. da. **Usinagem dos Metais**. 8. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004

MORAES, P. E. L. **Tecnologia Mecânica de Fabricação**. Centro Paula de Souza. São Paulo. 2009. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/comentada/apostila-usinagem>. Acesso em: 11 out. 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QIAN, Y., and W. Fan. 2020. Who Loses Income during the Covid-19 Outbreak? **Evidence** from China. *Research in Social Stratification and Mobility* 68:100522. <https://doi.org/10.1016/j.rssm.2020.100522>. Google Scholar

ROCHA, A. S. **Determinação de um Modelo de Força de Usinagem para a Furação, a partir do Modelo de Força de Usinagem do Torneamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), UFSC, 117 p., 1985. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/75255/177841.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 10 ago. 2022

SIMEI, L. C. **Processos de usinagem convencionais**. Curso de Manutenção Mecânica. 2013. Notas de aula. Faculdade SENAI Roberto Simonsen.

TOMAZ BS, Gomes GC, Lino JA, Menezes DGA, Soares JB, Furtado V, et al. ELMO, a new helmet interface for CPAP to treat COVID-19-related acute hypoxemic respiratory failure outside the ICU: a feasibility study. **J BrasPneumol**. 2022;48(1):e20210349