

TRANSFORMAÇÃO DE UM LABORATÓRIO EM UMA FÁBRICA DE PRODUÇÃO DE DIGITAL: A RESPOSTA DO LABORATÓRIO ABERTO DE BRASÍLIA A PANDEMIA DO COVID_19

Congresso Brasileiro De Manufatura Aditiva, 1ª edição, de 30/11/2020 a 01/12/2020
ISBN dos Anais: 978-65-86861-62-4

OLIVEIRA; Alexandre Crepory Abbot de ¹, ALVES; Tiago Camargo ², BORGES; João Vitor Quintiliano Silvério ³, SANTOS; Andrea Cristina dos ⁴

RESUMO

RESUMO

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) envolve etapas interativas. Este trabalho adapta a abordagem PDP clássica a um contexto de Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem Based Learning*), guiando o desenvolvimento e a produção temporária, em caráter emergencial, de um dispositivo médico durante a pandemia pelo COVID_19. O dispositivo médico foi produzido em um ambiente universitário, tendo como desafios a entrega com um nível de prontidão tecnológica (TRL) 9 e ampliação da escala de produção utilizando a fabricação digital, em um curto período de tempo.

Palavras-chave: impressão 3D; ensino de engenharia; manufatura aditiva; laboratório aberto.

1. INTRODUÇÃO

O enfoque para formação de um engenheiro com perfil empreendedor é colocado na literatura como fundamental para o desenvolvimento econômico e social de um país (Abdulwahed, 2017; Taks et al., 2017). Nessa perspectiva, existe uma mudança nas escolas de engenharia no mundo que seguem a estrutura de disciplinas tradicionais com currículos focados, principalmente, em ciências e teorias da engenharia para um foco na direção da engenharia aplicada (Taks Et Al., 2014; Abdulwahed, 2017; Grecu, Denis, 2017).

O conceito de Laboratórios Abertos (LA) se tornou conhecido a partir do surgimento dos laboratórios de fabricação digital - *FabLabs*. Trazendo o conceito para uma abordagem mais centrada na educação superior, Gershenfeld (2008) define os *FabLabs* como ambientes pedagógicos que permitem indivíduos comuns resolverem seus próprios problemas por meio da fabricação digital.

Uma das principais tecnologias utilizadas neste ambiente é a tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*), a partir de materiais poliméricos, as denominadas Impressoras 3D - I3D. O baixo custo de aquisição e manutenção das I3D tem oferecido uma oportunidade para aplicação da manufatura aditiva, além da prototipagem rápida (Gonzales, 2016). Ford e Minshall (2018) argumentam que a tecnologia I3D tem oferecido oportunidades para implementação de novas práticas de ensino, proporcionando a integração da resolução de problemas reais com o conteúdo apresentado em sala de aula.

Neste cenário, no final do ano de 2017, a Universidade de Brasília implementou o Laboratório Aberto de Brasília (LAB). Em virtude da Pandemia instalada pelo COVID_19 foi requisitado a produção de protetores faciais. Este artigo relata a experiência de alunos de graduação para atender uma demanda urgente da sociedade.

Este artigo está dividido em 4 seções. A seção 1 apresenta o contexto da pesquisa e o objetivo geral do estudo. A seção 2 apresenta referenciais teóricos utilizados no trabalho. A seção 3 a metodologia emprega, a seção 4 discute a experiência e a seção 5 apresenta as considerações

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com

² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com

⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Processo de Desenvolvimento de Produtos

O processo de desenvolvimento de produto consiste em um conjunto de atividades que, com base nas necessidades do mercado, restrições tecnológicas e estratégias da empresa, buscam atingir as especificações de projeto de um produto e seu processo de produção (Ulrich & Eppinger, 2004; Rozenfeld et al, 2006).

Muitos problemas na área de produção decorrem da falta de estudos teóricos baseados em um método sistemático de integração entre o projeto do produto e o projeto do processo (Conforto, Amaral, & Silva, 2011). Neste sentido, o conceito de processo de desenvolvimento de produto integrado (IPDP) em um ambiente de engenharia simultânea alinhado à tecnologia da saúde tem como desafio de desenvolver produtos que atendam condições específicas, integrando áreas multidisciplinares nas fases de desenvolvimento (Canciglieri et al., 2015).

O desenvolvimento de equipamentos dispositivos/médicos deve ser orientado para o planejamento do projeto durante as fases do PDP, por meio da utilização de métodos sistemáticos de engenharia com abordagens interdisciplinares. Suas principais características são: (a) ênfase na satisfação do usuário; (b) atividades de grupos multidisciplinares; (c) autonomia de grupos; (d) desenvolvimento simultâneo; (e) coordenação do processo de desenvolvimento do produto; (f) padronização do projeto; (g) compartilhamento de informação; (h) o uso de ferramentas computadorizadas para simplificar o processo; e (i) gerenciamento das práticas e instrumentos para garantia de qualidade (Canciglieri et al., 2015).

O processo de desenvolvimento de dispositivos médicos tem o envolvimento de áreas de multidisciplinaridade, incorporando fatores econômicos, operacionais e clínicos que garante a evolução do produto. Consiste em três estágios: (a) pré-desenvolvimento; (b) desenvolvimento; e (c) pós-desenvolvimento. Nos estágios iniciais do processo, o campo médico é mais predominante, diminuindo-se gradualmente e atribuindo competência para as áreas de engenharia.

A elaboração do projeto é constituída de uma macrofase do desenvolvimento do produto que consiste nas fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Essas fases focam na tarefa definida que é caracterizada pelo escopo, tempo de execução, recursos e riscos. Os resultados dessas fases fornecem respectivamente: especificações de projeto, concepção do produto, viabilidade técnica e econômica, e documentação para o projeto, informações para a preparação para a produção.

2.2 Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL - Problem-based learning)

O método *problem-based learning* (PBL) considera que a aprendizagem é aperfeiçoada pela interação social e que é melhorada quando os estudantes são expostos a situações reais (Araújo et al., 2016). No PBL, o professor tem o papel de facilitador no processo de aprendizagem e o estudante tem um papel ativo na realização de tarefas para resolver problemas do mundo real (Sirotiak; Sharma, 2019). Deste modo, o método é focado na experiência que ocorre por meio de uma investigação, explicação e resolução de um problema real, a fim de que os estudantes possam se transformar em aprendizes ativos, uma vez que o fato de aprender por meio de um problema real faz dos estudantes os maiores responsáveis por seu próprio aprendizado (Helmi; Mohd-Yusof; Phang, 2016).

As vantagens do método PBL consistem na capacidade de tornar a aprendizagem mais dinâmica e envolvente, compartilhada tanto pelos estudantes quanto pelos docentes, dando aos mesmos, mais motivação para o trabalho e desenvolvendo nos alunos a capacidade de aprendizagem contínua, ou seja, aprendizagem autônoma pelo resto da vida, uma vez que identificado o apreço pelo estudo (Araújo et al., 2016).

2.3 O Nível de Prontidão Tecnológica (TRL)

O TRL tem sua origem na NASA quando projeta e testa novas tecnologias (Mankins, 1995). O método foi criado para avaliar o nível de maturidade das novas tecnologias desenvolvidas nas agências para prever o tempo e a prontidão para aplicação em cenários reais. O TRL é baseado em

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com

² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com

⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

nove níveis de desenvolvimento com descrições específicas de cada nível para avaliar o desenvolvimento de projetos e tecnologias.

Embora a abordagem TRL determine a maturidade das tecnologias. O processo de desenvolvimento do produto não é um processo linear. O sistema TRL reconhece o tempo e o grau de risco técnico do desenvolvimento de tecnologia.

Neste artigo, o conceito de TRL é nível 9, nível desejável para o exercício de PBL proposto do problema, ou seja, a entrega de um dispositivo médico (protetor facial) operando e comprovado em todos os aspectos no ambiente hospitalar.

2.4 Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva (MA) é definida pela norma ISO/ASTM 52900:2015 como o processo de unir materiais para fabricar peças a partir de um modelo 3D, usualmente camada sobre camada, com um processo antagônico quando comparado com métodos subtrativos e formativos. É uma técnica de manufatura avançada que substitui as operações de manufatura baseadas em processos por operações baseadas em modelos (Paritala et al., 2016).

A classificação das tecnologias de manufatura aditiva é realizada na literatura em função do processo de transformação de material como extrusão, fusão e polimerização (Thompson et al, 2016) ou em função da forma da matéria prima utilizada, como pó, filamento e resinas fotossensíveis (Rodrigues et al, 2016).

A Tabela 1 - apresenta a classificação em função da matéria prima, com indicação dos princípios físicos de fabricação e aplicações.

Tabela 1 - Classificação de tecnologias de MA.

Matéria-prima	Processo	Material	Princípio	Aplicações
Líquido	Stereolithography (SLA)	Polímeros fotossensíveis	Produção de peças de polímero a partir da solidificação destes com um laser	Protótipos, moldes
	Multi-jet Modeling (MJM)	Acrílico fotossensível, plástico e cera	Produção de peças a partir da solidificação do material depositado por flash de uma iluminação ultravioleta (UV)	Protótipos, moldes
	Rapid Freezing Prototyping (RFP)	Água	Produção de peças a partir do congelamento das gotículas de água depositadas	Protótipos, moldes
Filamento/Pasta	Modelação por extrusão de plástico (FDM)	Termoplásticos	Produção de peças por extrusão do plástico por bico extrusor em uma base	Protótipos, moldes
	Robocasting	Pasta cerâmica	Produção de peças com a extrusão de pasta cerâmica	Objetos cerâmicos
Pó	Freeze-form Extrusion Fabrication (FEF)	Pasta cerâmica e água	Produção de peças com a extrusão de pasta cerâmica aquosa	Objetos cerâmicos
	Sinterização seletiva a laser (SLS)	Alumina; Carbon Fibre; PA 1101; PA2200/2201; PA 2221; PA2202; PA 2210; PA3200; PAK; Polystyrene	Produção de peças por meio do processo de sinterização de camadas de pó	Protótipos; partes aeronáuticas; partes motores automotivos; peças especiais para indústria; moldes
Pó	Selective Laser Melting (SLM)	Stainless steel 316L e 17-4PH; H13 tool steel; Aluminium Al-Si-12 e Al-Si-10; Titanium CP, Ti-6Al-4V e Ti-4Al-7Nb; Cobalt-chrome ASTM75; Inconel 718 e 625	Produção de peças de metal por meio da fusão de camadas de pó de metal por um laser	Implantes médicos; partes aeronáuticas; partes motores automotivos; trocadores calor; moldes; peças especiais para indústria
	Electron Beam Melting (EBM)	Cobalt-chrome ASTM F75; Titanium Ti-6Al-4V, Grade 2;	Produção de peças de metal por meio da fusão de camadas de pó de metal por um arco elétrico	Implantes médicos; partes aeronáuticas; partes automotivas
	Laser Metal Deposition (LMD)/ Laser Engineered Net Shaping (LENS)/ Direct Metal Deposition (DMD)	Alumínio; Al-Si-10Mg; Cobalt-chrome MP1 e SP2; Maraging Steel; Inconel 718 e 625; Stainless steel 17-4PH e 15-5PH; Titanium Ti-6Al-4V	Produção de peças através da fusão completa de pó de metal	Implantes médicos; partes aeronáuticas; partes motores automotivos; trocadores calor; moldes; peças especiais para indústria
	Impressão Tridimensional (3DP)	Polímeros, metais, cerâmica e outros pós	Produção de peças pela deposição de pó sobre uma base, que é unido seletivamente pela injeção de aglutinante	Protótipos, moldes, ferramental para indústria
Placa sólida	Manufatura de objeto em lâminas (LOM)	Papel, plástico, metal	Produção de peças pela união de uma camada de material laminado a uma série de outras lâminas conformadas	Protótipos e moldes

Fonte: Fonte: Rodrigues et al (2016)

Os processos de manufatura aditiva têm um fluxo de dados digital, o processo ilustrado apresenta 4 etapas da cadeia digital: (1) projeto e análise; (2) Fabricação e monitoramento; (3) Testes e validações; e (4) entrega e registro. A etapa de projeto e análise consiste na cadeia de desenvolvimento virtual do componente. As peças MA devem começar a partir de um modelo de software que descreva totalmente a geometria externa. Isso pode envolver o uso de quase qualquer software profissional de modelagem de sólidos CAD, mas a saída deve ser um sólido 3D

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com
⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

ou representação de superfície (Gibson et al, 2014). Em seguida, o modelo deve ser convertido para formatos possíveis de serem operados por softwares de fatiamento que realizam a divisão da geometria em camadas e permite a programação das máquinas da MA, por sua vez, realizam operações de movimentação e ativamentos baseados no padrão da ISO 1056 (código G).

3. METODOLOGIA

Por ser um projeto de pesquisa e extensão, a metodologia utilizada foi a da pesquisa-ação. A pesquisa-ação é uma pesquisa de caráter social que é realizada com fundamentos empíricos e está fortemente atrelada a uma ação ou até mesmo com a solução de um problema coletivo em que os participantes e pesquisadores envolvidos contribuem de forma participativa e cooperativa (Thiolent, 2005).

No final de 2017, a Universidade de Brasília - UnB em parceria com a FINATEC e com o SENAI juntamente com o MCTIC implementaram o Laboratório Aberto de Brasília - LAB.

O laboratório foi idealizado afim de atender aos setes princípios comuns às metodologias ativas de ensino descritas por Diesel et al. (2017): o aluno é o centro do processo de aprendizagem, autonomia (o estudante é o protagonista do seu aprendizado), o pensamento crítico é estimulado a sala de aula com o mundo real, o trabalho em equipe é visto como elemento de mobilização para a construção de conhecimento, inovação (é necessário ousadia para inovar para âmbito educacional) e o papel do professor é de facilitador.

As principais partes envolvidas no ecossistema do LAB são os clientes, os parceiros, os órgãos reguladores e os fornecedores.

O plano estratégico do LAB está apoiado em 3 pilares: ensino e aprendizagem; gestão econômica e financeira; e tecnológica.

O pilar de gestão de econômica e financeira é composto pelo plano de negócio, governança, rede de cooperação e operação. Em dezembro de 2018 iniciou-se prestação de serviços externos à comunidade acadêmica. Esse fato propicia uma ampliação das vias de captação de recursos e maior sustentabilidade do espaço. O modelo de negócios foi adaptado para que o LAB se enquadrasse nas normas específicas da universidade e garantir a sua sustentabilidade financeira. Por esses motivos o LAB é tratado como uma pequena empresa.

O pilar de tecnologia é composto pelas máquinas e equipamentos, manufatura aditiva, eletrônica e corte. Para garantir as premissas de segurança, foi criado nível de acesso as máquinas: acesso livre, monitorado e restrito. Além disso, é necessário realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica para promover a tomada de decisão entre comprar ou fazer algum equipamento.

A equipe do LAB que é multidisciplinar e composta por alunos diferentes cursos de engenharia (mecânica, produção, mecatrônica, elétrica, automotiva - atualmente a equipe conta com 20 integrantes). A abordagem de aprendizado da equipe é uma combinação das metodologias ativas de ensino e de PBL. Neste contexto, os serviços relacionados a manufatura aditiva são classificados em 3 tipos:

- ü Projeto: desenvolve-se uma solução para um cliente.
- ü Modelagem: desenvolve-se um modelo em 3D, podendo fazer uma análise técnica da peça e entregando o arquivo com correções e melhorias para o cenário em que será utilizada.
- ü Impressão 3D: a equipe imprime-se o modelo em 3D apresentado pelo cliente, este pode ser um protótipo ou um produto final.

Além da prestação de serviços, a equipe interna atua na montagem e manutenção das impressoras 3D, preparação e realização de workshops e oficinas. A Tabela 2 sintetiza as atividades envolvidas pelo LAB envolvendo a I3D.

Tabela 2 - Atividades e habilidades desenvolvidas no LAB envolvendo M.A.

Conteúdo Técnico	Habilidades desenvolvidas	Interno UnB	Externo
Processo de Manufatura Aditiva – I3D. Aplicações I3D Projeto para Manufatura Aditiva (tipos de materiais e processos de fabricação) Modelagem em softwares CAD e outros Técnicas de criatividade Manutenção de I3D	Resolução de problemas Pensamento crítico Pensamento criativo Formação de equipes multidisciplinares Colaboração Responsabilidade Pro-atividade Curiosidade Cumprimento dos procedimentos operacionais Regras de convívio espaço compartilhado Regras de segurança Flexibilidade – atividades rotativas	Suporte às disciplinas para prototipagem em I3D Workshops de I3D Oficinas de I3D Montagem de impressora 3D Manutenção de das impressoras 3D Realização de desafios de prototipagem	Serviços de prototipagem em I3D para terceiros Projetos, modelagem e I3D Workshops de I3D Montagem de impressora 3D Oficinas I3D

Fonte: Jorge, Fermino e Santos (2019)

De acordo com o modelo de negócio do LAB observa-se que a experiência de atuação do LAB referente ao nível de prontidão tecnológica está entre 3 e 6, ou seja, no desenvolvimento experimental. Neste cenário tem-se um contexto de entrega de protótipos únicos (engenharia sob encomenda), baixo estoque de materiais, compra de materiais com base na demanda e o cliente disposto a esperar pelo serviço prestado.

Sendo que o desafio para atender os profissionais de saúde envolve ter um nível de prontidão TRL 9, a entrega de um protetor facial para uso em ambiente hospitalar, no qual, o cliente não estava disposto a esperar pelo produto (em virtude da pandemia do Covid_19) necessidade de atendimento aspectos legais (Anvisa e Inmetro), necessidade de padrão no processo produtivo - produção de lotes de produto, ou seja, garantir a qualidade do produto.

Este problema foi apresentado e discutido com os integrantes do LAB, no qual foi elaborada a metodologia para atingir um nível de prontidão TRL9, a metodologia proposta foi baseada nas abordagens clássicas e de PDP, utilizando o PBL como um caminho para execução das atividades. A Figura 1 apresenta as principais atividades para transformação do LAB em uma fábrica de Produção Digital.

Figura 1 - Metodologia empregada para transformação do LAB em um Fábrica Digital



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

4. RESULTADOS

A partir da identificação das partes interessadas foi definido os parceiros chaves, entre eles, destaca-se o contato com egressos que se voluntariaram para apoiar a execução das atividades.

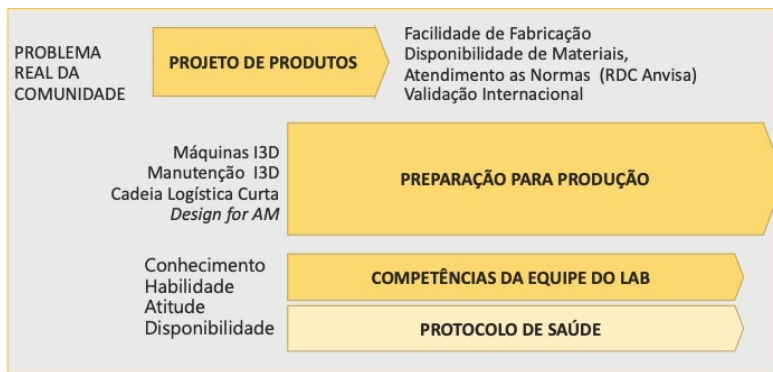
Com a identificação dos parceiros chaves foi iniciado o contato com os principais clientes do projeto na primeira quinzena de março de 2019, os hospitais referências do Covid_19 no Distrito Federal. Foram realizadas reuniões presenciais e via telefone com a equipe de qualidade e segurança dos pacientes, responsável pela distribuição do EPI nos hospitais, médicos infectologistas e outros profissionais. Por meio da criação de um grupo envolvendo os hospitais e a equipe do LAB, todo o projeto seguiu um trabalho de codesenvolvimento durante todo o período do projeto.

Os critérios para seleção de quais seriam os projetos a serem desenvolvidos que foram o tipo de

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com
⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

projeto de produto; capacidade de produção e conhecimentos e habilidades da equipe de projeto. A Figura 2 apresenta os critérios utilizados para seleção do projeto do Produto.

Figura 2 – Critérios utilizados para seleção do projeto do produto



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

Com base nestes critérios foi selecionada solução do protetor facial (Barreira Física) proposto pela empresa Prusa (PRUSA, 2020). A empresa disponibilizou os projetos na forma *open-source*. A partir do contato com este projeto, iniciou-se a produção dos primeiros protótipos no LAB. Chegou-se a uma solução, com poucas modificações referente ao projeto original, sendo ampliado o tamanho da viseira original. A tabela 3 apresenta a descrição do produto repassado para Agência Local de Vigilância Sanitária (Divisa-DF).

Tabela 3 – Descrição do produto repassado para Divisa - DF

<p>Função do produto: O protetor facial é uma barreira física dos outros respiradores semifaciais (PPF2 ou N95- barreira microbiológica) aumentando seu tempo de uso.</p> <p>O produto é composto por três parte o apoio da testa (headband), o visor (shield) e o elástico (rubberband). o apoio da testa (headband) é fabricado em manufatura aditiva, ou seja, impressão 3d do tipo deposição de material fundido (fdm). o visor (shield) é fabricado, a partir de uma folha de petg e cortado a laser. o elástico para presilha (rubberband) é fabricado industrialmente e incorporado na solução. uma vez prontas, as peças são montadas e embaladas em material cirúrgico e armazenadas em caixas de papelão. sendo estes, entregues higienizadas para as unidades de saúde.</p>
--

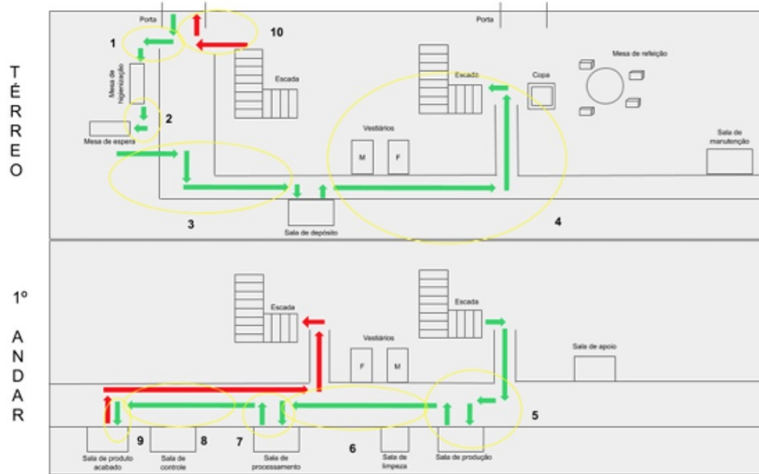
Fonte: Fonte: Arquivo do LAB (2020)

Por ser um equipamento para o setor de saúde, a produção necessita atender as boas práticas de fabricação, no caso, a Norma RDC n.356 de 23 de março de 2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). O atendimento a esta norma exige a implementação de sistema de rastreabilidade no processo de fabricação que foi montado pela equipe do Laboratório Aberto de Brasília. Adicionalmente instruções de uso: paramentação, desparamentação e desinfecção devem acompanhar os protetores faciais, assim como rotulagem de produtos para doação.

Para atendimento das Norma RDC n.356 de 23 de março de 2020, os discentes receberam treinamento de boas práticas de fabricação, além disso foi necessário sair da sala do espaço do LAB e ocupar uma área maior. Em virtude da Unidade de Ensino de Graduação da Faculdade de Tecnologia estar fechada para outras atividades presenciais, permitiu o uso de quantas áreas fossem necessárias para a correta produção do protetor facial. A Figura 3 e 4 ilustram o fluxograma de produção.

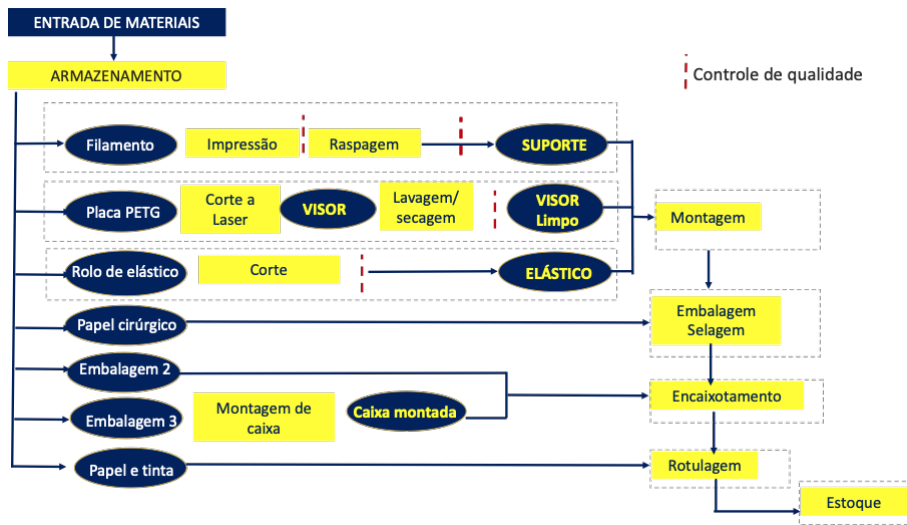
Figura 3 - Fluxograma de produção no ULEG

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com
⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

Figura 4 - Ilustra as etapas do processo de produção do protetor facial



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

A produção dos protetores iniciou no mês de abril com 11 máquinas de impressoras 3D do tipo FDM, sendo que 8 foram emprestadas. Ao longo do projeto foram adquiridas 45 impressoras sendo que 35 impressoras da marca Prusa. A seleção destas máquinas foi realizada após um estudo feito pela equipe do desempenho de diferentes marcas. No qual foram avaliadas produtividade da máquina e índice de falha, estes dados foram realizados durante 3 meses. A Figura 5 ilustra as salas de impressão no ULEG.

Figura 5 - Salas de impressão no ULEG.

1 Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
 2 Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
 3 Universidade de Brasília (UnB), jqintiliano@gmail.com
 4 Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

A Figura 6 a esquerda ilustra a etapa de raspagem e a direita etapa de montagem dos protetores faciais.

Figura 6 - Etapa de raspagem a esquerda e a etapa de montagem a direita.



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

Um dos maiores desafios para a equipe de operação foi a implementação do sistema de qualidade. Para isso, foi necessário definir o que cada etapa do processo seria avaliada ao requisito o produto e como este seria medido. Desta forma as equipes atuaram tanto na qualidade do produto como no processo. Implementando, sistemas de medição para o produto e para o processo de produção. O monitoramento do processo de impressão e os controles de produção físico.

Figura 7 - Acompanhamento do processo de produção.

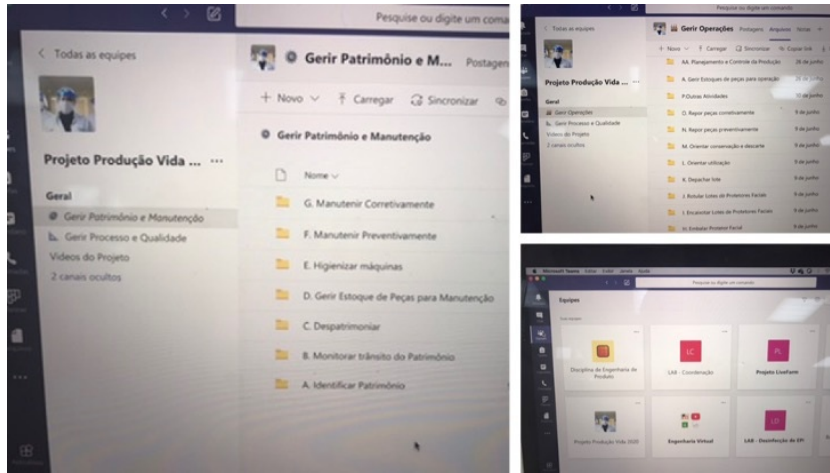


Fonte: Arquivo do LAB (2020)

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
³ Universidade de Brasília (UnB), jqintiliano@gmail.com
⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

A gestão da operação foi realizada por meio do uso da plataforma Microsoft Teams, no qual foram disponibilizados todos os procedimentos operacionais para consulta. A Figura 8 ilustra os procedimentos operacionais de Gerir Patrimônio e Manutenção.

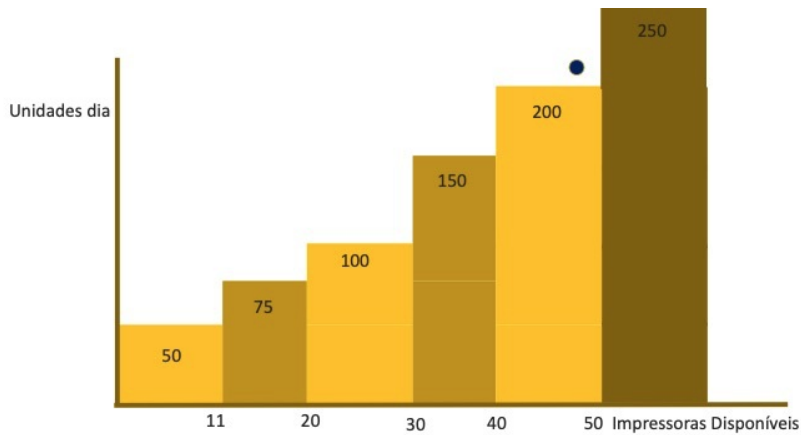
Figura 8 - Gestão da operação usando a plataforma do Teams.



Fonte: Arquivo LAB (2020)

Outro grande desafio foi o aumento de escala de produção, a Figura 9 ilustra o planejamento da produção com base no número de impressoras disponíveis.

Figura 9 - Planejamento do aumento da escala de produção

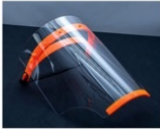



Fonte: Arquivo LAB (2020)

Foi atingido este planejamento, no qual a equipe chegou a produzir 1500 unidades produzidas em uma semana, trabalhando em dois turnos de 6 horas.

As Tabelas 4 e 5 ilustram as atividades executadas para o lançamento de melhoria do protetor facial. A Tabela 6 ilustra os impactos na produção.

Tabela 4 - Apresentação da equipe para mudança de projeto de produto.

Justificativa para mudança: PRODUÇÃO <ul style="list-style-type: none"> • Meta atual: Produzir 250 suportes por dia • Redução do tempo de produção: 15h -> 12h • Aumento da produtividade • Diminuição do consumo de material na impressão 	Premissas: <ul style="list-style-type: none"> • Diminuir tempo de impressão por suporte • Diminuir consumo de filamento por suporte • Melhorar a proteção contra aerossol • Melhorar a mobilidade da cabeça • Manter ou melhorar a resistência mecânica do suporte • Seguir a RDC nº 379 da ANVISA • Ter compatibilidade com o modelo anterior
Análise de produtos existentes: PRUSA Pro Face Shield  <ul style="list-style-type: none"> Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none"> • Proteção lateral do rosto • Recorte para ombros • Proteção da testa • Compatibilidade Pontos Fracos <ul style="list-style-type: none"> • Instável na cabeça • Produtividade semelhante do suporte • Menor produtividade de visor (32 -> 21) • Peça inferior impressa 	Novo modelo proposto:  <ul style="list-style-type: none"> • Proteção lateral • Recorte para ombros • Fixação do elástico modificada • Compatibilidade com modelos anteriores (suporte e visor) • Menor tempo de impressão • Maior produtividade do visor que o modelo Pro

Fonte: Arquivo do LAB (2020).

Tabela 5 – Apresentação da equipe do LAB etapa de testes do produto.

Análises de Elementos Finitos 	Resistência Mecânica  <p>Comparação entre modelos</p> <p>Aumento da força de cisalhamento máxima suportada: 26,7%</p>
Testes de Mobilidade 	Pesquisa com os usuários  <p>Feedback - Conforto</p> <ul style="list-style-type: none"> Muito Melhor: 5% Melhor: 36% Igual: 59% Pior: 0% Muito Pior: 0%

Fonte: Arquivo do LAB (2020)

Tabela 6 – Análise de Impactos na Produção

Critério	Modelo Padrão	Novo Modelo	Diferença
Tempo de impressão [min]	125	100	- 20%
Filamento consumido [g]	40	31	- 22,5%
Produção por dia [unid]	238	330	+ 38,7%
Visores p/ placa [unid]	32	24	- 25%
Custo por Suporte [R\$]	4,64	3,60	- R\$1,04
Custo por Visor [R\$]	1,45	1,93	+ R\$0,48

Fonte: arquivo do LAB (2020)

A equipe do LAB é composta por 28 integrantes distribuídos em 2 turnos de produção. No período de abril a outubro de 2020 foram produzidos e doados 12.000 protetores faciais para o DF. A Figura 10 ilustra o exemplo de uma entrega para u hospital.

Figura 10 - Entrega para os hospital do produto embalado para transporte



Fonte: Arquivo do LAB (2020)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto envolveu grandes desafios para a equipe - tanto para os professores quanto para os alunos de graduação -, como empregar os conhecimentos técnico-científicos em um cenário da pandemia no qual tinha-se uma carência de dispositivos de proteção individual no mundo.

Um dos desafios foi gerenciar as expectativas referente às entregas, este foi minimizado com o envolvimento dos profissionais de saúde. Por ser um dispositivo para o setor de saúde a produção necessitou atender as boas práticas de fabricação da ANVISA.

A partir do conhecimento prévio da equipe sobre a abordagem clássica do PDP, do processo de I3D e a familiaridade da equipe com o emprego do PBL houve maior segurança da na aplicação dos seus conhecimentos para resolução de um problema real. A definição TRL (9) contribui melhor comunicação entre as partes.

A literatura apresenta a I3D com baixa produtividade quando comparada aos processos de fabricação convencionais. Contudo, a tecnologia de FDM empregada apresentou baixo custo de manutenção, sendo que esta é foi realizada pela equipe.

O Brasil é um país continental, apresenta características regionais de produção industrial bastante distintas. Contudo, com base no tempo de resposta dado a sociedade, em regiões como centro oeste, norte do país e outras remotas do país pode ser considerado como uma pronta respostas as demandas emergências.

Neste projeto a academia demonstra de forma efetiva como pode ajudar no enfrentamento das grandes questões nacionais, mostrou para a sociedade a importância desta relação, por meio de um processo de extensão efetivo, saindo da dicotomia ensino e pesquisa.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Secretaria de Inovação e Tecnologia do Distrito Federal, por meio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF).

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com
⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

Agradecemos a todas as instituições, empresas privadas, voluntários, colaboradores e egressos da UnB que apoiaram a execução deste projeto.

6. REFERÊNCIAS

- ABDULWAHED, M. Technology Innovation and Engineering Education and Entrepreneurship (TIEE) in Engineering Schools: Novel Model for Elevating National Knowledge Based Economy and Socio-Economic Sustainable Development. *Sustainability* v. 9, n. 171, 2017.
- BACK, N. et al. (2008) Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri – SP, Manole.
- CANCIGLIERI, O. et al. The Application of an Integrated Product Development Process to the Design of Medical Equipment. Springer International Publishing Switzerland, *Concurrent Engineering the 21st Century*, 2015.
- DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S.; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica Active teaching methodologies principles: a theoretical approach. *Revista Thema*, v. 14, n. 268, p. 268-288, 2017.
- FAB LAB site, <http://www.fabfoundation.org/index.php/fab-labs/index.html>. Acesso em 15 de setembro de 2017. LABORATÓRIOS ABERTOS. SENAI. 2015. site: <http://www.portaldaindustria.com.br/senai/canais/inovacao-e-tecnologia/laboratorios-abertos-senai/laboratorios-abertos-senai-quem-somos/>
- FORD, S., MINISHALL, T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, v. 19 n. 1, p. 131-150, 2019.
- GERSHENFELD, N. Fab: the coming revolution on your desktop -from personal computers to personal fabrication. Basic Books, 2008.
- GIBSON, I. et al. *Additive manufacturing technologies*. New York: Springer, 2014.
- GONZALES, M. A. C. Ferramenta para concepção, projeto e operação de espaços para ensino de engenharia que incentivem a criatividade e a inovação. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016. 225p.
- GRECU, V.; DENIS, C. Benefits of entrepreneurship education and training for engineering students. In: MATEC Web of Conference 121, 12, 2017.
- JORGE, J. M.; FIRMINO, A. T.; SANTOS, A. C. . Análise da Impressão 3D no Ensino de Engenharia: Um Estudo De Caso No Laboratório Aberto De Brasília. In: 12º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento de Produto, 2019, São Paulo. Blucher Engineering Proceedings. São Paulo: Editora Blucher, 2019. p. 946.
- Mankins, J. C. (1995) Technology Readiness Levels. A White Paper. April 6. Advanced Concepts Office. Office of Space Access and Technology. NASA. Disponível em: < http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf>.
- OGRODNIK, P. *Medical Device Design: Innovation from Concept to Market*. 1st ed. London: Elsevier, 2013.
- PARITALA, P. K.; MANCHIKATLA, S.; YARLAGADDA, P. KDV. Digital manufacturing-applications past, current, and future trends. *Procedia engineering*, v. 174, p. 982-991, 2017.
- RODRIGUES, V. et al. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, v. 12, n. 3, p. 1, 2017.
- ROZENFELD, H. et al. *Gestão do desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.
- TAKS, M.; TYNJALA, P.; TODING, M. Engineering Students' Experiences in Studying Entrepreneurship. *Journal of Engineering Education*, v. 103, n. 4, p. 573-598, 2014.
- THIOLLENT, M.. *Metodologia da Pesquisa-Ação*. 14ª Ed. São Paulo: Editora Cortez, 2005.
- THOMPSON, M. et al. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP annals*, v. 65, n. 2, p. 737-760, 2016.
- ULRICH, K. T., EPPINGER, S. D. *Product design and development*. New York. McGrawHill (2004).
- ZIMMERMANN, A. C. Proposição de ambiente de aprendizagem ativa: Laboratório Aberto de Brasília. 2018. 155 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepor@gmail.com

² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com

³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com

⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br

PALAVRAS-CHAVE: impressão 3D, ensino de engenharia, manufatura aditiva, laboratório aberto.

¹ Laboratório Aberto de Brasília, alex.crepory@gmail.com
² Faculdade de Tecnologia, tiago.camargoalves@gmail.com
³ Universidade de Brasília (UnB), jquintiliano@gmail.com
⁴ Laboratório Aberto de Brasília, andreasantos@unb.br