

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

GUILHERME CESAR DO AMARAL DIAS

**RETROFITTING DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM DE MASSA DE TORTAS
DO MANUAL POR UM DE ACIONAMENTO PNEUMÁTICO**

**LONDRINA
2021**

GUILHERME CESAR DO AMARAL DIAS

**RETROFITTING DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM DE MASSA DE TORTAS
DO MANUAL POR UM DE ACIONAMENTO PNEUMÁTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Cláudia Santos Fiuza Lima

**LONDRINA
2021**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Departamento de Engenharia Mecânica
Coordenação de Engenharia Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

RETROFITTING DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM DE MASSA DE TORTAS DO MANUAL POR UM DE ACIONAMENTO PNEUMÁTICO

por

GUILHERME CESAR DO AMARAL DIAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 17 de maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.^a Dr.^a Claudia Santos Fiuza Lima
Prof.^a Orientadora

Prof.^a Dr.^a Janaina F. de S. Gonçalves
Membro titular

Prof. Dr. Roger Nabeyama Michels
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo sustento nas horas de desespero.

Agradeço também aos meus pais pelo apoio constante e incondicional nas minhas decisões, ainda que por vezes equivocadas.

À minha irmã, por me mostrar aonde posso chegar, e ao meu irmão, por me mostrar como chegar lá.

À minha namorada, por me guiar nos momentos de confusão e me motivar nos momentos de calma.

A todos os meus amigos, que de alguma forma estiveram comigo durante essa jornada, em especial: Gabriel e Leonardo, pelo exemplo e inspiração.

Agradeço a todos os meus professores, que de alguma forma me instruíram para chegar até aqui, em especial à minha orientadora, professora Claudia, que com sua calma, paciência e orientação, tornou este trabalho possível.

Obrigado.

“Portanto, não se preocupem com o dia de amanhã, pois o amanhã trará as suas próprias preocupações. Basta a cada dia o seu próprio mal.”

Mateus 6:34

RESUMO

DIAS, Guilherme Cesar do Amaral. **Retrofitting do processo de estampagem de massa de tortas do manual por um de acionamento pneumático**. 2021 40 fl. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

O presente trabalho teve por objetivo a elaboração de um projeto de *retrofitting* em uma prensa manual para fabricação de tortas, e agregou etapas para automatização do processo como um todo por meio da aplicação de elementos pneumáticos. Atualmente, a estampagem e o molde da massa, na empresa em questão, são realizados manualmente por um operador, através de um movimento de prensa que exige a aplicação de uma força sobre a massa a ser moldada - o que ocasiona doenças ocupacionais por esforços repetitivos. Outro agravante do processo manual é a diferença no formato final das tortas moldadas e lentidão na produção. Assim, foi verificada a oportunidade de realizar um estudo para adaptação do processo, de modo a melhorar as condições de produção, de trabalho, e saúde dos operadores. Desse modo, o trabalho foi desenvolvido buscando um dispositivo que reduzisse a exposição do operador ao risco e agregasse qualidade, padronização e eficiência ao processo.

Palavras chave: *Retrofitting*; Automação pneumática; Prensa Manual.

ABSTRACT

DIAS, Guilherme Cesar do Amaral. **Retrofitting of a manual lever press system to a pneumatic driven one.** 2021 40 fl. Completion of the Course work of Mechanical Engineering – Federal Technology University - Parana. Londrina, 2021

The present work had as objective the elaboration of a retrofitting project in a manual press for the manufacture of pies, and added steps to automate the process as a whole through the application of pneumatic elements. Currently, the process of stamping and molding the dough is carried out by an operator who must manually perform the press movement and apply a force on the dough to be molded, due to this, there is a recurrence of occupations diseases by repetitive efforts. Thus, the opportunity to carry out a study to adapt the process was evidenced, thereby improving the working conditions and health of the operators. Another aggravating factor in the manual process is the difference in the final shape of the molded pies and the slowness of the process. Having evidenced these facts, this work was developed looking for a device that would reduce the operator's exposure to risk and add quality, standardization and efficiency to the process.

Keywords: Retrofitting; Pneumatic automation; Manual Press.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de alavanca adaptada para a abertura de tortas.....	15
Figura 2 - Modelo de torta fabricada na empresa.....	15
Figura 3 - Classificação dos compressores.....	17
Figura 4 - Válvula fim de curso.....	18
Figura 5 - Atuador pneumático linear	18
Figura 6 - Detalhamento do mecanismo adaptado para estampagem de massas	21
Figura 7 - Tabela de forças para atuadores	24
Figura 8 – Ilustração do elemento responsável pela estampagem da massa	25
Figura 9 - Componentes de estampagem no protótipo desenvolvido	26
Figura 10 – Conexão reguladora de fluxo	26
Figura 11 – Ilustração de peça idealizada para posicionamento de formas	27
Figura 12 - Ilustração dos elementos de movimento de formas	28
Figura 13 - Componentes da etapa de remoção das formas estampadas	28
Figura 14 - Diagrama trajeto-passo do sistema proposto.....	29
Figura 15 - Ilustração do projeto, identificando os atuadores A e B	29
Figura 16 - Circuito pneumático adotado para o projeto.....	29
Figura 17 – Válvula 3/2 vias de acionamento dos atuadores	30
Figura 18 - Válvula pilotada de retorno por mola 5/2 vias	31
Figura 19 - Conexões reguladoras de fluxo acopladas ao atuador de posicionamento de formas	31
Figura 20 - Desenho CAD do projeto utilizado para levantamento de materiais e análise de movimento.....	32
Figura 21 - Protótipo desenvolvido para o projeto.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de custos agregados ao projeto	33
---	----

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

LER	Lesão por esforços repetitivos
DORT	Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho
PR	Paraná
IHM	Interface homem-máquina
CAD	<i>Computer Assisted Drawing</i> (Desenho assistido por computador)

LISTA DE SIMBOLOS

F_n	Força efetiva do êmbolo (N);
A	Superfície útil do êmbolo (cm ²);
P	Pressão de trabalho (KPa, 105 N/m ² , bar);
F	Força aplicada;
F_f	Força de mola de retorno;
V	Velocidade de deslocamento (dm/s);
t	Tempo para realizar o curso (avanço ou retorno);
L	curso do atuador em dm;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
3. JUSTIFICATIVA	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	16
4.1.1 Automação pneumática	16
4.2 RETROFITTING	19
4.3 METODOLOGIA DE PROJETOS.....	19
5. METODOLOGIA	21
5.1 ESTUDO DE READEQUAÇÃO.....	21
5.2 REQUISITOS DO PROJETO	22
5.3 ETAPAS A SEREM ADAPTADAS.....	22
5.3.1 Etapa de estampagem da massa	23
5.3.2 Etapa de extração das formas estampadas	26
5.4 INVESTIMENTO E CUSTO AGREGADOS.....	33
5.5 EXPANSÃO FUTURA	34
6. RESULTADOS	34
7. CONCLUSÕES	35
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
APENDICE A – DESENHOS TÉCNICOS DO PROJETO	38

1. INTRODUÇÃO

No mercado atual, a melhora de eficiência e a padronização na fabricação de um produto se tornaram essenciais, para tanto é necessária a automação de diferentes tipos de processos.

Buscando alcançar esse quadro de melhora de eficiência, novos dispositivos e equipamentos são desenvolvidos modernizando assim as etapas de um processo.

Por vezes já existem equipamentos destinados à fabricação do item com certo grau de repetibilidade e eficiência, entretanto outros danos podem ocorrer, tais como LER (Lesões por esforço repetitivo), DORT (Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho), tendinite, entre outros, decorrentes do uso constante desses equipamentos.

A automação de processos buscada pela maioria das empresas aos poucos deixa de ser um diferencial e passa a ser essencial para a prosperidade das empresas. Entretanto, a inclusão do processo de automação é complexa e com o mercado exigente a adequação dos processos passa a ter caráter de urgência.

Tendo em vista esse cenário, equipamentos que tem por função a automação dos processos industriais, possuem a finalidade de melhorar a produção e a qualidade do produto, de forma eficiente e eficaz, assim auxiliando as indústrias na busca pelos seus objetivos.

Por fim, o uso de automação pneumática pode ser utilizado em diversas ocasiões para a melhora de um processo como um todo. Esse trabalho analisa a possibilidade da adequação de um sistema mecânico em pneumático a fim de sanar os diversos problemas apresentados anteriormente e aumentar a produtividade da empresa.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Projetar um equipamento automatizado para abertura e modelagem de massas de tortas e avaliar outras possibilidades de construção do equipamento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evidenciada a possibilidade de melhoria da qualidade do processo de uma etapa de fabricação de massas de tortas, buscou-se:

- Apresentar e detalhar um projeto para substituir a alavanca de acionamento manual por um atuador pneumático a fim de reduzir o esforço aplicado na mão e braço do operador durante a fabricação de tortas;
- Desenvolver desenhos técnicos apresentando o projeto a ser desenvolvido;
- Apresentar métodos para diminuir as intervenções do operador no processo, fazendo com que o produto final fique padronizado.

3. JUSTIFICATIVA

O projeto proposto visa a melhoria do processo de abertura de massas da loja ATELIÊ DA TORTA, estabelecida na Rua São João, em LONDRINA – PR.

Pretendeu-se automatizar parte do processo realizado por meio de uma alavanca ligada à uma prensa manual que utiliza de um mecanismo adaptado de um fatiador de legumes (Figura 1) sendo assim realizando a fabricação das tortas (Figura 2). Essa prensa apesar de funcionar para pequenas demandas, possui baixa eficiência e aumenta o índice de lesões por repetibilidade de esforço. Aproveitando essa melhoria, pretende-se substituir o equipamento hoje utilizado por um com sistema pneumático, sendo assim possível aumentar a produção e diminuir os riscos à saúde. Proporcionando assim maiores benefícios para o processo e para o setor, tais como:

- Operação - com o desenvolvimento de um sistema pneumático, o operador terá maior agilidade e eficácia na fabricação das tortas além de prevenir danos à saúde do operador.
- Qualidade - o sistema será provido de condições e procedimentos de operação, o qual permitirá um modo de operação mais padronizada contribuindo assim para as normas de qualidade, ISO 9001, e para melhorar a padronização do produto.



Figura 1 - Exemplo de alavanca adaptada para a abertura de tortas.
Fonte: Aatoria própria (2021)



Figura 2 - Modelo de torta fabricada na empresa
Fonte: IG. Ateliê da torta. (2021)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A palavra *automation* teve como origem a invenção pelo *marketing* da indústria de equipamentos na década de 1960. Essa palavra buscava destacar a participação do computador no processo automático industrial (MORAES; CASTRUCCI, 2001). Automação por si, significa a “dinâmica organizada dos automatismos”, sendo os automatismos os meios, instrumentos ou máquinas e ferramentas responsáveis por potencializar, reduzir e, em certos casos, eliminar a ação humana dentro de um processo produtivo (FIALHO, 2005). Com isso em mente pode-se entender automação por um meio de aplicação de ferramentas destinadas a garantir alta produtividade, eficiência e padrão de qualidade a um processo. A automação industrial vai em busca da necessidade desses maiores níveis de qualidade, menores custos de trabalho e maior planejamento e controle da produção.

Segundo Moraes e Castrucci (2001), na automação está implicada a implantação de sistemas interligados por redes de comunicação, nos quais são compreendidos interface homem-máquina (IHM) e sistemas de supervisão, esses auxiliando os operadores no controle e supervisão do processo.

4.1.1 Automação pneumática

Automação pneumática prevê o uso do ar comprimido como meio de garantir as melhorias antes descritas. O ar tem a característica de ser compressível e o fato de estar disponível no ambiente em grandes quantidades é uma grande vantagem para o seu uso na automação (FIALHO, 2015).

A automação pneumática ganhou um espaço significativo na automação industrial nos últimos anos. Diversos motivos foram responsáveis para esse avanço, em destaque podemos citar a natureza do próprio ar. Essa tecnologia possui caráter de simplicidade, baixo custo e eficiência (BONACORSO; NOLL, 2018).

A alimentação do sistema pneumático é feita utilizando compressores e reservatórios anexos aos mesmos, devido a presença dos reservatórios, não é

necessário o uso contínuo dos compressores como se dá no caso de sistemas hidráulicos, o acionamento de um compressor só se faz necessário caso a pressão no reservatório que alimenta o sistema seja insuficiente (FIALHO, 2015).

Os compressores de ar, segundo Fialho (2015), podem ser classificados pela forma com que cada equipamento realiza a compressão, a Figura 3 esquematiza as diversas classificações existentes para os compressores.

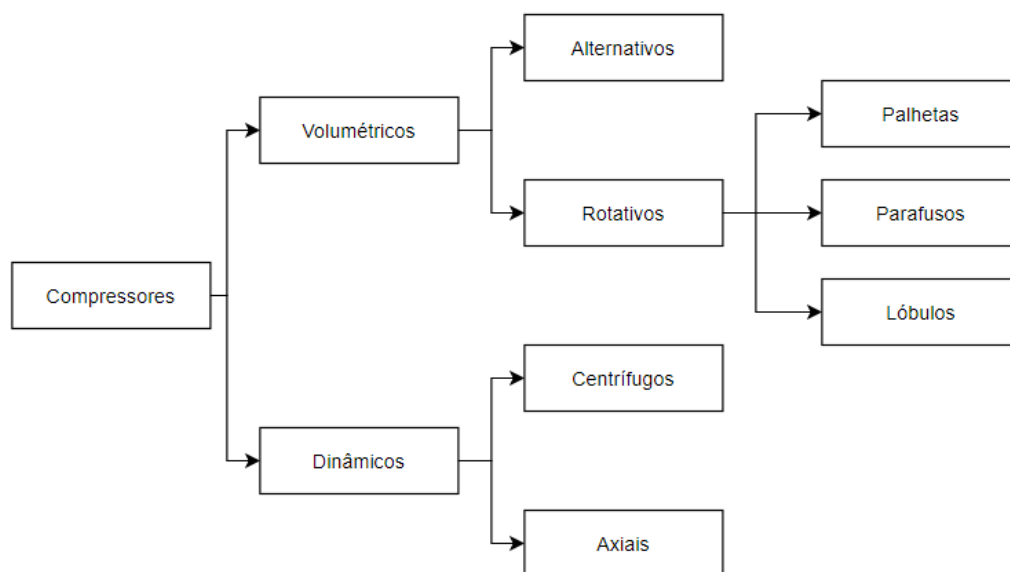


Figura 3 - Classificação dos compressores.
Fonte: Fialho (2011) (Adaptado).

Como vantagens da implementação de automações pneumáticas em projetos podemos citar o incremento sensível na produção utilizando de baixo investimento, relacionado com os baixos custos de implementação, existe também a redução de custos operacionais oriundos da rapidez dos movimentos pneumáticos e a liberação do operário de operações repetitivas, isso possibilita o aumento do ritmo de trabalho. A relativa facilidade de introdução também é uma grande vantagem da automatização pneumática, podendo ser realizada mediante à pequenas modificações nas máquinas convencionais aliadas à disponibilidade de ar comprimido. Ademais sistemas pneumáticos possuem grande simplicidade de manipulação, sendo assim não necessitam de muita especialização para sua utilização (BONACORSO; NOLL, 2018)

Entretanto, para que tenhamos um sistema pneumático com excelente rendimento, e com elevada vida útil, o ar comprimido necessita de uma

preparação antes que seja utilizado no sistema. O ar comprimido deve ser isento de impurezas e umidade, para isso são utilizados filtros e purgadores (FIALHO, 2015). Ainda conforme Fialho (2015), o ar atmosférico é uma mistura de gases constituído principalmente de nitrogênio e oxigênio, além desses, contém contaminantes de três tipos básicos: água, óleo e poeira. As partículas de poeira, em geral abrasivas, e o óleo queimado no ambiente de lubrificação do compressor, são responsáveis por manchas nos produtos e a água (umidade), por sua vez, pode gerar oxidação de componentes pneumáticos, reduz a vida útil das peças (válvulas, atuadores, etc) devido à remoção da película lubrificante existente entre as duas superfícies em contato.

Fialho (2005) ressalta que o processo pneumático tem início com a disponibilidade do ar comprimido em condições apropriadas utilizando compressores, como visto anteriormente, seguido de linhas de distribuição, sendo essas divididas em linhas tronco, linhas secundárias e de alimentação. O bom dimensionamento dessas linhas é imprescindível para que os elementos de trabalho sejam supridos com eficiência.

Com a conclusão das linhas de alimentação, o circuito engloba também elementos de grupos de válvulas, essas podendo ser representadas por botões de acionamento, válvulas de fim de curso, direcionadoras de fluxo etc. Responsáveis pelo controle do acionamento dos atuadores no sistema, são exemplificadas por uma válvula fim de curso na Figura 4 (FIALHO, 2015)

Os atuadores pneumáticos são dispositivos responsáveis pela conversão de energia proveniente do ar comprimido em deslocamento e trabalho podem ser divididos entre lineares e rotativos, dependendo da forma de atuação (REIS, 2004). A seguir na Figura 5 um exemplo de um atuador linear.



Figura 4 - Válvula fim de curso
Fonte: Fjtruck (2018)



Figura 5 - Atuador pneumático linear
Fonte: Alfamatec (2016)

Por fim, a larga flexibilidade das operações de automação pneumática permite montar projetos únicos e inovadores para elevar a produtividade das operações industriais e garantir a segurança e eficiência do negócio (FIALHO, 2015).

4.2 RETROFITTING

Atualmente as indústrias fabricantes de máquinas e equipamentos têm investido cada vez mais em novas tecnologias de manufatura, buscando melhorias na produtividade e redução de custos (RIBEIRO et al., 2007)

Segundo Marcondes (2008) o termo *retrofitting* significa modernizar ou atualizar e vem sendo aplicado cada vez mais no mercado brasileiro. O *retrofitting* em máquinas e equipamentos ou sistemas é um procedimento efetivo e muitas vezes de custo inferior ao de aquisição de novos equipamentos (CERNA, 2013). Muitas vezes o *retrofitting* é visto como uma opção para empresas que buscam uma sobrevida para máquinas ou equipamentos antigos, ainda que mantendo suas características periféricas (CERNA, 2013). Assim, é possível entender que no *retrofitting*, existe uma troca ou adaptação de elementos obsoletos, que podem causar danos ao operador e ao produto, por outros de última geração padronizados, com o objetivo de obter melhora na produção, qualidade do produto e saúde do operador (BARBOSA et al., 2009).

De acordo com Barrientos e Qualharini (2004), termo *retrofitting* passou a existir nos Estados Unidos e na Europa, por volta do final da década de 90, introduzido inicialmente pelas indústrias aeronáuticas que utilizavam este termo quando se referiam a atualização de aeronaves antigas utilizando dos novos e modernos equipamentos do mercado da época.

4.3 METODOLOGIA DE PROJETOS

A palavra “projeto” provém da palavra latina *projectus* que significa “algo lançado a frente”. Na engenharia, projeto pode ser definido como o processo de aplicação das diversas técnicas e princípios científicos afim de construir um dispositivo, um método ou um sistema (NORTON, 2013). Assim engenheiro passa a ter a função de definir e calcular, as forças e mudanças de energia de modo a

determinar as dimensões, as formas e os materiais que podem ser utilizados para cada componente a fim de garantir o funcionamento dos dispositivos e sistemas definidos em projeto (NORTON, 2013).

Ainda o mesmo autor afirma que o desenvolvimento de um projeto pode ser sinterizado em 10 etapas, são elas:

1. Identificação de necessidade
2. Pesquisa de suporte
3. Definição dos objetivos
4. Especificação de tarefas
5. Síntese
6. Análise
7. Seleção
8. Projeto detalhado
9. Protótipo e teste
10. Produção

Sendo a etapa inicial, identificação de necessidade, consiste basicamente de uma exposição do problema, entender qual necessidade deve ser suprida com o projeto a ser desenvolvido. As etapas dois e três poderiam ser entendidas como os capítulos dois, três e quatro do presente trabalho. A etapa 4 consiste em um conjunto detalhado das tarefas a serem realizadas, por exemplo, o desenho de um circuito pneumático e cada etapa de execução do mesmo. Em síntese, entende-se em buscar qualquer alternativa possível para a realização do projeto, é visto que, nessa etapa leva-se em consideração valores ou quantidades, logo em seguida, na etapa 6 (análise), as soluções levantadas na etapa anterior são analisadas e aceitas ou rejeitadas. Tendo sido selecionada a melhor opção na etapa 7 (Seleção) a etapa 8, identificada por projeto detalhado, pode ser iniciada, essa sendo a etapa mais substancial, na qual todos os croquis de engenharia são feitos e fornecedores identificados além de especificações de fabricação definidas, assim, na etapa 9 o protótipo finalmente é feito, podendo entender que na etapa 10 se realize a produção.

Vale ressaltar que, segundo Norton (2013) as etapas antes descritas nem sempre podem ser realizadas de maneira linear, sendo que iterações são

previstas e devem ser realizadas ao longo do projeto podendo retornar ou pular etapas de acordo com as necessidades.

5. METODOLOGIA

5.1 ESTUDO DE READEQUAÇÃO

O projeto proposto foi implementado na empresa Ateliê da Torta, a massa é estampada utilizando um equipamento adaptado de um cortador de legumes comercial (Figura 6), sendo esse utilizado como base para o *retrofitting*. O equipamento foi desenvolvido internamente e além de possuir materiais não próprios para manuseio de alimentos, não apresenta características ergonômicas próprias para produção em grande escala, gerando assim desconforto, baixo índice de produção e doenças ocupacionais no operador.

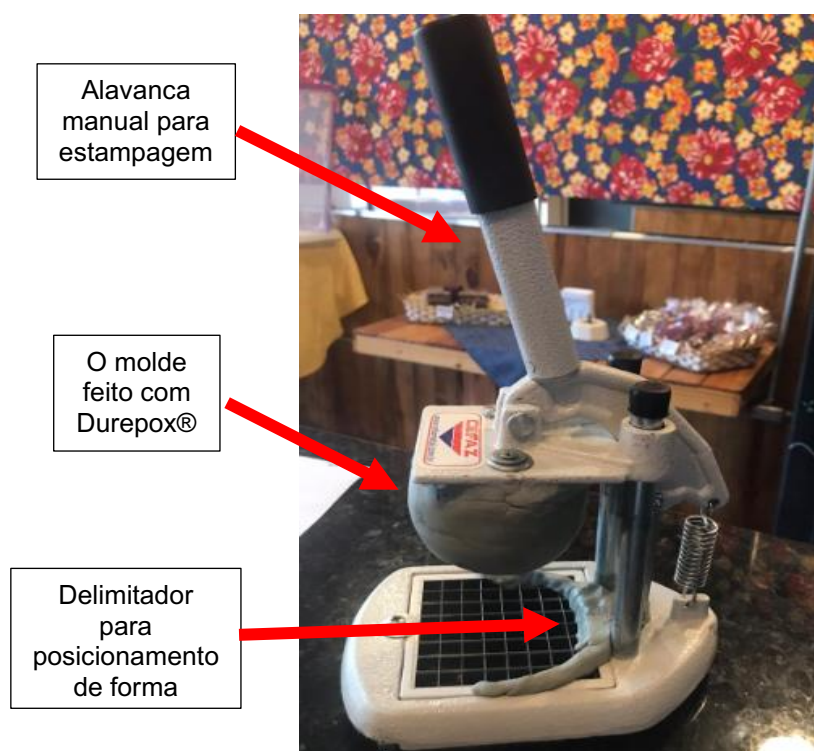


Figura 6 - Detalhamento do mecanismo adaptado para estampagem de massas

Fonte: Autoria própria (2021)

Assim, foram realizados estudos, afim de verificar uma adaptação do mecanismo de estampagem das massas para garantir qualidade e eficiência ao processo, mantendo baixo custo de fabricação e operação. Por se tratar de um equipamento moderno, é necessário também o projeto e dimensionamento

adequado para que haja segurança de operação. Com isso em mente, optou-se por um sistema pneumático, visto que essa opção apresenta baixo custo de operação, fácil manuseio, além de simplicidade de fabricação e manutenção.

5.2 REQUISITOS DO PROJETO

O destino do projeto será a aplicação comercial, tendo isso em vista, foram implementados certos requisitos do local destino para o produto a ser projetado.

São eles:

- Segurança de operação;
- Possibilidade de expansão futura;
- Baixo custo de implementação;
- Ocupar pouco espaço.

5.3 ETAPAS A SEREM ADAPTADAS

O processo de estampagem da massa é constituído por duas etapas base a serem adaptadas:

1. Estampagem (molde) da massa;
2. Extração da forma já moldada.

A primeira etapa constitui a operação fundamental do processo, a adaptação dessa etapa levará a ganhos em eficiência, qualidade, padronização além de evitar riscos ao operador do equipamento.

A segunda etapa se torna essencial quando discorresse sobre a segurança do operador, uma vez que o mesmo não deve ter acesso ao curso do pistão com as mãos. Também é possível utilizar da automação da extração de formas para aumentar a eficiência do processo.

5.3.1 Etapa de estampagem da massa

O processo hoje é realizado manualmente e em horários de pico pode atingir 500 repetições a cada hora, gerando esforço repetitivo ao operador além de não garantir um padrão no produto final.

De início visa-se encontrar a relação entre a força ideal de aplicação do atuador pneumático e a área de avanço, a fim de obter a melhor abertura da massa. Para tanto, a Equação 1 será utilizada para encontrar a relação de força empregada sobre o conjunto massa-estrutura.

$$F = \frac{P * A}{10} \quad (1)$$

Onde, “F” representa a força efetiva do êmbolo em Newtons, “A” a superfície útil do êmbolo em centímetros quadrados, “P” por sua vez, representa a Pressão de trabalho (KPa, 10^5 N/m², bar). É possível também a utilização de uma tabela para forças de atuadores, conforme apresentado na Figura 7, extraída da Apostila de Técnicas e comandos Pneumáticos. Sabe-se que a força a ser desempenhada no processo de estampagem é de 20kgf, assim, unido com o valor de pressão de trabalho de 6 bar, pode-se determinar a área efetiva de avanço do atuador, após isso é possível fazer a seleção do atuador utilizando de catálogos disponíveis online e de vendedores.

$$20 * 9,82 = \frac{6 * A}{10}$$

$$A = 3,27 \text{ cm}^2$$

Esse valor está em concordância com o encontrado na Figura 7.

Vale lembrar que para o projeto é necessário considerar também o valor de deslocamento do atuador, o mesmo deve possuir um deslocamento mínimo de 82mm e não ultrapassar 100mm.

TABELA DE FORÇAS PARA ATUADORES ISO/VDMA (kgf)

Diâmetros/Força	20		25		32		40		50		63		80		100		125		160	
Pressão (bar)	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT	AV	RT
2	6	5	9	8	16	14	25	21	39	34	62	57	100	80	157	143	245	231	402	377
3	9	7	14	12	24	20	37	31	59	51	93	86	151	136	235	214	368	347	603	565
4	12	10	19	16	32	27	50	42	78	68	125	114	201	181	314	286	491	462	804	754
5	15	13	24	20	40	34	63	52	98	85	156	143	251	227	393	357	613	578	1005	942
6	18	15	29	24	48	41	75	63	118	102	187	171	301	272	471	429	736	694	1206	1131
7	21	18	34	28	56	48	88	73	137	119	218	200	352	317	550	500	859	809	1407	1319
8	25	21	39	32	64	55	100	84	157	136	249	229	402	363	628	572	981	925	1608	1508
9	28	23	44	37	72	62	113	94	177	153	280	257	452	408	707	643	1104	1041	1809	1696
10	31	26	49	41	80	69	125	105	196	170	312	286	502	453	785	715	1227	1156	2010	1885
12	37	31	58	49	96	83	150	126	235	204	374	343	603	544	942	858	1472	1388	2412	2262

Área de Avanço	cm ²	3,14	4,9	8,04	12,56	19,63	31,17	50,26	78,54	122,71	201,06
Área de Retorno	cm ²	2,63	4,12	6,91	10,55	17,08	28,62	45,35	71,47	115,64	188,56

Figura 7 - Tabela de forças para atuadores

Fonte: Apostila de Técnicas de Comandos Pneumáticos (SMC) (2010).

Ademais, o cálculo do fluxo de ar utilizado deve ser realizado, para tanto o primeiro passo é calcular a velocidade utilizando a Equação (2),

$$V = L/t \quad (2)$$

Onde, “V” representa a velocidade de deslocamento (dm/s), “t” o tempo para realizar o curso (avanço ou retorno), sendo considerado o que for menor e “L” o curso do atuador em dm.

Calculada a velocidade de acionamento, podemos calcular o consumo de ar seguindo a Equação (3),

$$Q = V * A * T_c \quad (3)$$

Para “Q” sendo o consumo de ar (N dm³/s ou NI/s), “N” representando a normal, “V” representando a velocidade de deslocamento (dm/s), vale ressaltar que deve ser utilizado o maior valor obtido; “A” é atribuído para representar a área do atuador (dm²) e “T_c” equivalente à taxa de compressão.

Sendo “T_c” obtido utilizando a Equação (4), como segue,

$$T_c = \frac{1,1013 + \text{pressão de trabalho}}{1,013} \quad (4)$$

Para o acionamento, visa-se a utilização de uma botoeira, esse acionado pelo operador, fazendo-se assim necessária a ocupação da mão do operador enquanto o mesmo estampa a massa, essa medida foi adotada visando a

segurança do operador. Ainda pensando na segurança do operador, considerou-se a adoção de chapas de acrílico, posicionadas de forma a evitar o manuseio da forma com a massa a ser estampada, enquanto as mesmas estiverem em posição de estampagem.

Para a matriz de estampagem, utilizou-se uma forma de inox, próprio para uso culinário. Já para o punção, foi elaborada uma peça à ser produzida via usinagem em alumínio ou inox, também foi dimensionada para fabricação em impressora 3D prevendo a facilidade de fabricação por esse método, essa última característica também foi pensada para estar alinhada com o pré-requisito de custo baixo de fabricação do projeto.

Na Figura 8 é mostrado o desenho de idealização do equipamento responsável pela estampagem da massa. Já a Figura 9 apresenta os componentes para estampagem no protótipo desenvolvido.

Para essa etapa do projeto foram utilizados os seguintes itens:

- Atuador pneumático;
- Punção para a estampagem das formas;
- Suporte;
- Válvulas de controle de fluxo;
- Botoeira;
- Chapas de acrílico.

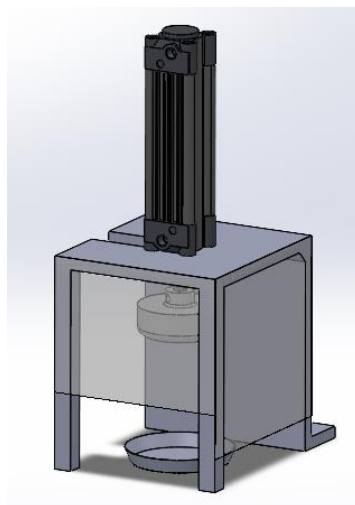


Figura 8 – Ilustração do elemento responsável pela estampagem da massa
Fonte: Autoria própria (2020)

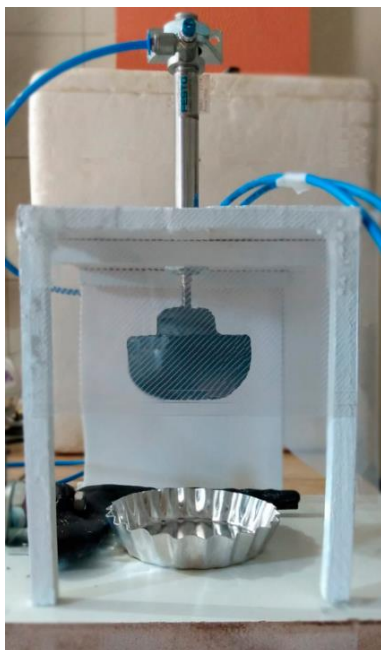


Figura 9 - Componentes de estampagem no protótipo desenvolvido
Fonte: Autoria própria (2021)

5.3.2 Etapa de extração das formas estampadas

A outra etapa apresentada para o projeto é a retirada das formas com a massa já estampada. Essa etapa se mostra necessária principalmente devido a segurança do operador, utilizando de um atuador responsável pela retirada da forma após estampagem.

Para essa etapa, a força desempenhada pelo atuador não se mostra tão crítica, entretanto deve-se considerar o deslocamento final do atuador. Para tanto é possível utilizar o mesmo modelo de atuador antes visto na etapa de estampagem. Tendo em vista que a velocidade e força podem ser controlados utilizando uma conexão reguladora de fluxo, conforme apresentado na Figura 10.



Figura 10 – Conexão reguladora de fluxo
Fonte: Festo (2019)

Para auxiliar na colocação e remoção das formas um componente foi desenhado (Figura 11) com um formato específico para que, no momento do

posicionamento da forma para estampagem, a mesma estivesse apoiada nas paredes do componente, assim garantindo que a forma estivesse na posição centralizada com o punção de estampagem. Esse componente, também foi otimizado para fabricação em impressoras 3D, entretanto mantendo as dimensões apresentadas, também é possível sua fabricação utilizando técnicas de usinagem.

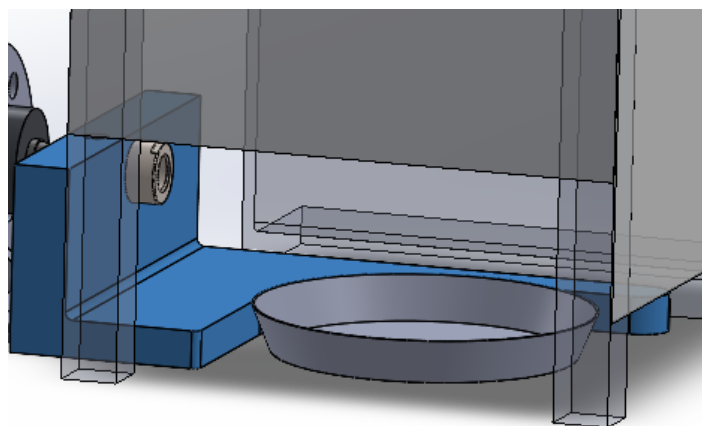


Figura 11 – Ilustração de peça idealizada para posicionamento de formas
Fonte: Autoria própria (2021)

O atuador utilizado foi do mesmo modelo selecionado para o processo de estampagem, essa seleção foi realizada tomando por base o deslocamento máximo do atuador.

Para essa etapa do projeto foram utilizados os seguintes itens:

- Atuador pneumático;
- Peça fabricada para posicionamento de formas (Figura 11);
- Conexão reguladora de fluxo;
- Botoeira;
- Válvulas de controle de fluxo.

A Figura 12, apresenta uma visualização do modelo em CAD desenvolvido, enquanto a Figura 13 apresenta a elaboração dessa etapa fabricada no protótipo.

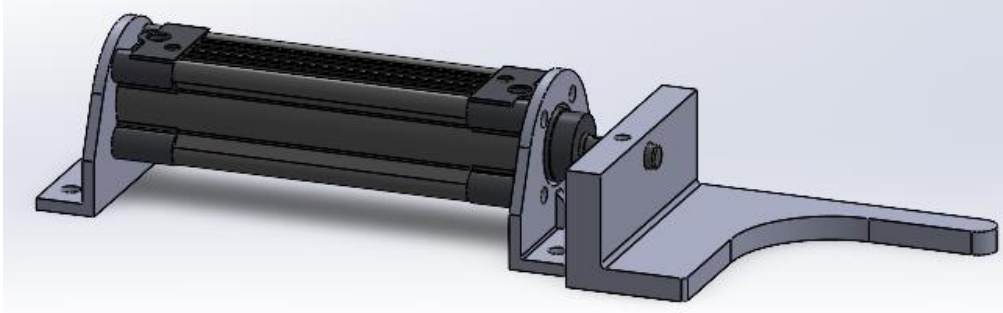


Figura 12 - Ilustração dos elementos de movimento de formas
Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 13 - Componentes da etapa de remoção das formas estampadas
Fonte: Autoria própria (2021)

5.4 Funcionamento do equipamento

A Figura 16 ilustra a representação do circuito pneumático desenvolvido, para a estampagem e retirada das formas no processo. Vale notar que o atuador responsável pela estampagem da massa possui denominação “A”, enquanto o atuador responsável pela extração da forma já estampada possui denominação “B”. Um diagrama de trajeto-passo é ilustrado na Figura 14, esse apresentando graficamente a ordem de atuação dos atuadores. A Figura 15 apresenta o equipamento com a denominação dos pistões indicada.

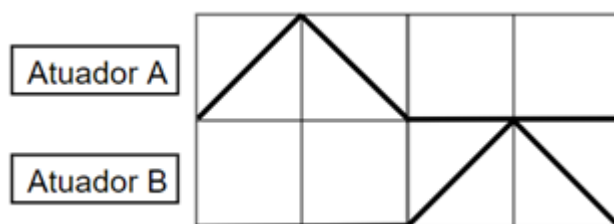


Figura 14 - Diagrama trajeto-passo do sistema proposto
Fonte: Autoria própria (2021)

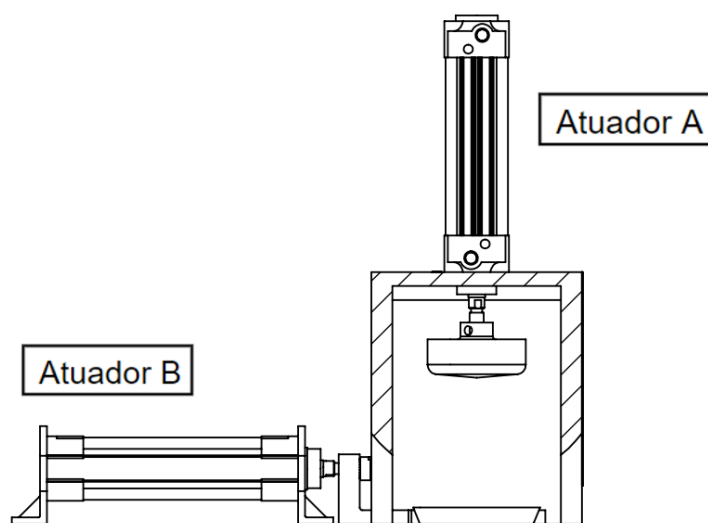


Figura 15 - Ilustração do projeto, identificando os atuadores A e B
Fonte: Autoria própria (2021)

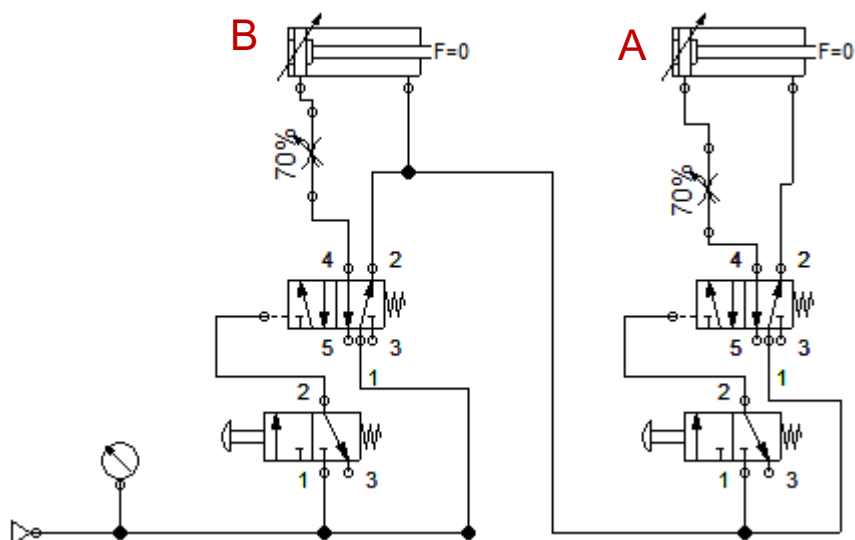


Figura 16 - Circuito pneumático adotado para o projeto
Fonte: Autoria própria (2021)

De forma análoga, a ordem de movimentação dos atuadores deve atender inicialmente a etapa de estampagem da massa, seguida de extração da forma já estampada. É possível representar esse movimento por meio da sequência: (A+A-/B+B-).

Com isso em mente, é possível explicar passo a passo os movimentos e componentes responsáveis pelo funcionamento do sistema proposto.

Inicialmente a forma é alimentada manualmente com a massa em um formato redondo com diâmetro aproximado de 5 cm, em seguida o operador posiciona a forma na peça referenciada na seção 5.3 (Figura 11). A operação de prensa, é realizada utilizando uma válvula 3/2 vias acionada por botão e de retorno por mola (Figura 17).



Figura 17 – Válvula 3/2 vias de acionamento dos atuadores
Fonte: Autoria própria (2021)

O ar comprimido se mantém na linha de ação de ambos, o avanço do atuador A e do retorno do atuador B, por meio do uso de uma válvula 5/2 vias pilotada de retorno por mola (Figura 18).



Figura 18 - Válvula pilotada de retorno por mola 5/2 vias
Fonte: Autoria própria (2021)

Uma segunda válvula acionada por botão, similar a representada na Figura 17, é utilizada para o acionamento do avanço do atuador B, vale lembrar que, como medida de segurança, enquanto o atuador de posicionamento (Atuador “B”) está acionado, não é possível acionar o avanço do atuador de estampagem (Atuador “A”).

Por padrão as conexões reguladoras de fluxo dos atuadores (Figura 19), estão configuradas para 70% do fluxo, esse baseado em simulações, entretanto é possível alterar essa configuração facilmente afim de adaptar a velocidade de deslocamento para uma que se adapte melhor ao processo.



Figura 19 - Conexões reguladoras de fluxo acopladas ao atuador de posicionamento de formas
Fonte: Autoria própria (2021)

Previamente à construção do protótipo um desenho em CAD foi elaborado (Figura 20) afim de verificar os componentes da estrutura, bem como uma análise de movimento realizada em um *software* de simulação. Os desenhos técnicos, conforme anexo A, foram fornecidos para a empresa como forma de verificar e entender o funcionamento do sistema.

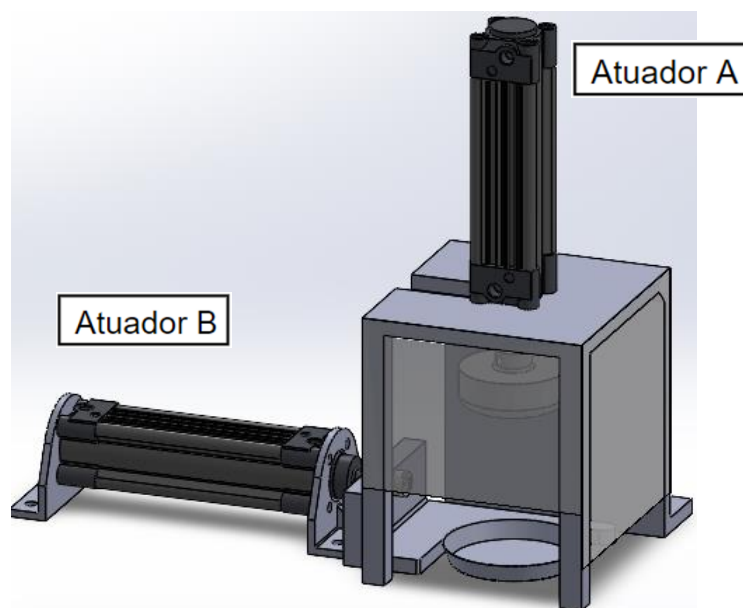


Figura 20 - Desenho CAD do projeto utilizado para levantamento de materiais e análise de movimento

Fonte: Autoria própria (2021)

Em cima dos desenhos elaborados, o protótipo foi construído, utilizando madeira e massa cerâmica (Figura 21), com o intuito de apresentar para a empresa o funcionamento do equipamento e para realização dos primeiros testes utilizando o protótipo.

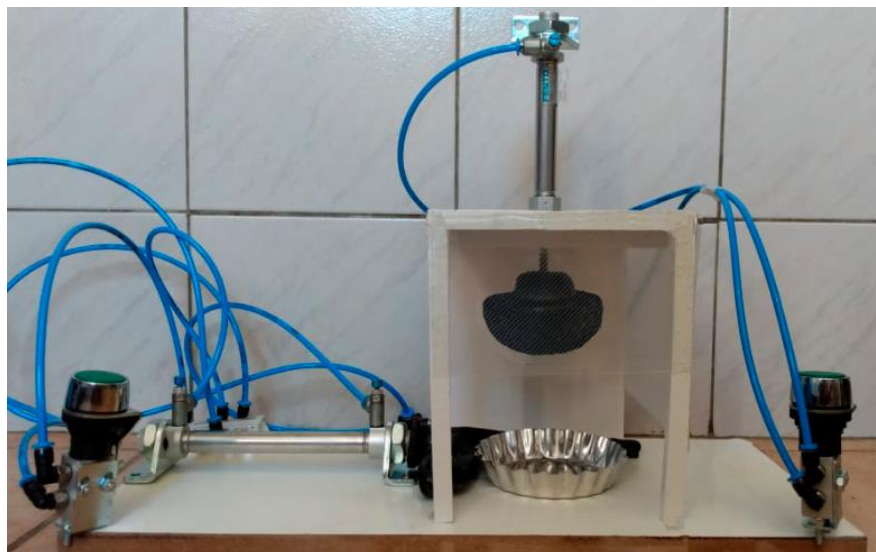


Figura 21 - Protótipo desenvolvido para o projeto
Fonte: Autoria própria (2021)

5.4 INVESTIMENTO E CUSTO AGREGADOS

Para que fosse concretizada a melhoria no processo de estampagem da massa, foi estudada a melhor forma de investimento que pudesse proporcionar um retorno financeiro rápido, possibilitando assim, em um curto prazo, o crescimento da capacidade produtiva. Na Tabela 1, estão descritos os principais equipamentos utilizados para a montagem do comando pneumático e algumas peças que foram confeccionadas para a estrutura suporte dos pistões.

Tabela 1 - Relação de custos agregados ao projeto

ITENS	VALOR
Compressor de Ar 12v 250psi - AU601	R\$ 50,90
(2x) Cilindro Pneumático 6432 Dupla Aço Ø32 X 80mm Curso	R\$ 209,56
(2x) Válvula Pneumática Botão Mola Mini 3/2 Vias Rosca M5	R\$ 89,80
Válvula Pneumática 5/2 Vias Retorno Mola 1/4	R\$ 58,90
Suporte (Impressão 3D)	R\$ 210,00
Total:	R\$ 619,16

Fonte: Autoria própria (2021)

O custo benefício do equipamento mostra-se viável, uma vez que o retorno do preço bruto de fabricação do equipamento pode ser obtido em dois dias de operação. Esse dado foi calculado utilizando uma relação do preço de venda e

demanda atual atendida. Vale lembrar que com a implementação do equipamento pneumático, a eficiência do processo aumentaria, podendo assim o prazo para o retorno do custo de fabricação do equipamento ser ainda mais curto.

5.5 EXPANSÃO FUTURA

Parte da proposta apresentada requisitava a possibilidade de uma expansão futura para o projeto, essa prevendo a não necessidade de substituição do equipamento no caso da demanda e da produção aumentarem.

Para tanto uma nova etapa deveria ser adicionada ao sistema, essa sendo a de alimentação automatizada da massa, assim é possível entender que as etapas de estampagem e remoção das formas estampadas seriam aproveitadas, somente adicionando uma terceira etapa para a alimentação de massas.

A adoção de sensores de posicionamento e acionadores fim-de-curso passaria a ser necessária, uma vez que o processo passaria a funcionar de maneira inteiramente autônoma, tais sensores seriam colocados de forma a detectar a presença da forma para acionar a liberação de massa e subsequentemente, detectar a presença de massa para o início da etapa de estampagem.

Assim, é possível notar que o projeto inicial de *retrofitting*, apresentado nesse trabalho, poderia ser mantido, sendo necessárias somente novas adições ao processo, esse fato está em concordância com a proposta vista na seção 5.1 de requisitos do projeto.

6. RESULTADOS

O equipamento foi testado, atendendo as expectativas de movimento e automação das tarefas propostas, entretanto, tendo sido apresentado para a empresa, o protótipo teve respostas positivas. O projeto atendeu aos pré-requisitos propostos pela empresa e percebeu-se a possibilidade de uma expectativa da melhoria de condição de trabalho ao longo do expediente.

A escolha por um sistema pneumático para a realização da automação se mostrou de grande valia, uma vez que os custos de fabricação foram baixos ainda que o sistema tenha apresentado alta funcionalidade.

A instalação do equipamento automatizado de forma permanente reduzirá o risco de doenças ocupacionais no local, pois reduz a presença de operações manuais para manusear a prensa de tortas.

É digno de nota que o retrofitting do processo foi considerado um sucesso, uma vez que, por meio da fabricação de um protótipo, a viabilidade técnica do equipamento foi comprovada.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado retrofitting do processo de estampagem de massas para a fabricação de tortas. Com a estampagem automatizada, a fabricação apresenta maior padronização e qualidade, além de segurança na operação, devido à liberação do colaborador de tarefas manuais repetitivas que poderiam vir a causar danos a sua saúde.

O desenvolvimento do trabalho, os procedimentos e estudos realizados permitiram utilizar os meios e conhecimentos adquiridos no curso de forma real e prática, tornando a operação mais segura e eficaz.

O *retrofitting* do processo foi obtido com êxito, tanto em se tratando da parte operacional quanto em custos para a fabricação do projeto. Observou-se também um retorno rápido do custo bruto de fabricação. O projeto se mostrou robusto e de fácil manutenção e manuseio, assim agregando valor ao processo.

Os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação foram adequados para realização do trabalho proposto, e proporcionou a aplicação dos conhecimentos em um produto real e aplicável, de aplicação direta.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JFTRUCK. **Catálogo de Atuadores Pneumáticos**. 2018. Disponível em: <<https://www.alfamatec.com.br/linha-nacional-cilindros/>>. Acessado em: 02/02/2021.

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010

BARBOSA, Daniel Alves; DAMASCENO, Márcio Daniel Santos; MOREIRA, André Pimentel. **Simulação de um retrofitting em um torno convencional**. IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém, 2009.

BARRIENTOS, M. I. G. G.; QUALHARINI, E. L. **Retrofit de construções: metodologia de avaliação**. I Conferência latino-americana de construção sustentável x Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, p. 11, 2004.

BONACORSO, N. G.; NOLL, V **Automação Eletropneumática**. 9ª ed. São Paulo: Érica, 2018.

CERNA, Paulo Cesar Flores. **Retrofitting de uma prensa mecânica excêntrica de acionamento por engate de chaveta**. 2013. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2013.

FESTO. **Catálogo de Produtos (online)**. 2019. Disponível em: <https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_021003>. Acessado em: 13/09/2020.

FIALHO. A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 3ª. ed. São Paulo: Érica, 2005.

FIALHO. A. B. **Automatismos Pneumáticos: Princípios Básicos, Dimensionamentos de Componentes e Aplicações Práticas**. Editora Saraiva, 2015.

FluidSim - Pneumática. Software de simulação de circuitos pneumáticos e eletropneumáticos. FESTO, 2003

JFTRUCK. **Catálogo de Válvulas Pneumáticas**. 2018. Disponível em: <<https://jftruck.com.br/produto/atuadors-hidraulicos/valvula-fim-de-curso-pneumatica/>>. Acessado em: 02/02/2021.

KLEIN AUTOMAÇÃO. **Catálogo de produtos de pneumática**. 2016 <http://www.kleinautomacao.com.br/br/produtos/pneumatica/>. Acessado em: 23/09/2020

MARCONDES, Francisco. Retrofitting pode ser um bom negócio? **Revista mensal: O mundo da Usinagem**, São Paulo, Vera natale, v.2, n.44, fev./2008.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 1ª. ed. São Paulo: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2001.

MORAES, Marcelo Oliveira de; OLIVEIRA, Livia da Silva; DO NASCIMENTO, Denise A.; ANDRADE, D.; NASCIMENTO, Denise. Automação aplicada ao datador pneumático de uma fábrica de snacks no polo industrial de Manaus-AM. **Revista Científica Semana Acadêmica**. n. 000163, Fortaleza, 2019. Disponível em: <<https://semanaacademica.com.br/artigo/automatizacao-aplicada-ao-datador-pneumatico-de-uma-fabrica-de-snacks-no-polo-industrial-de>>. Acessado em: 18/04/2021

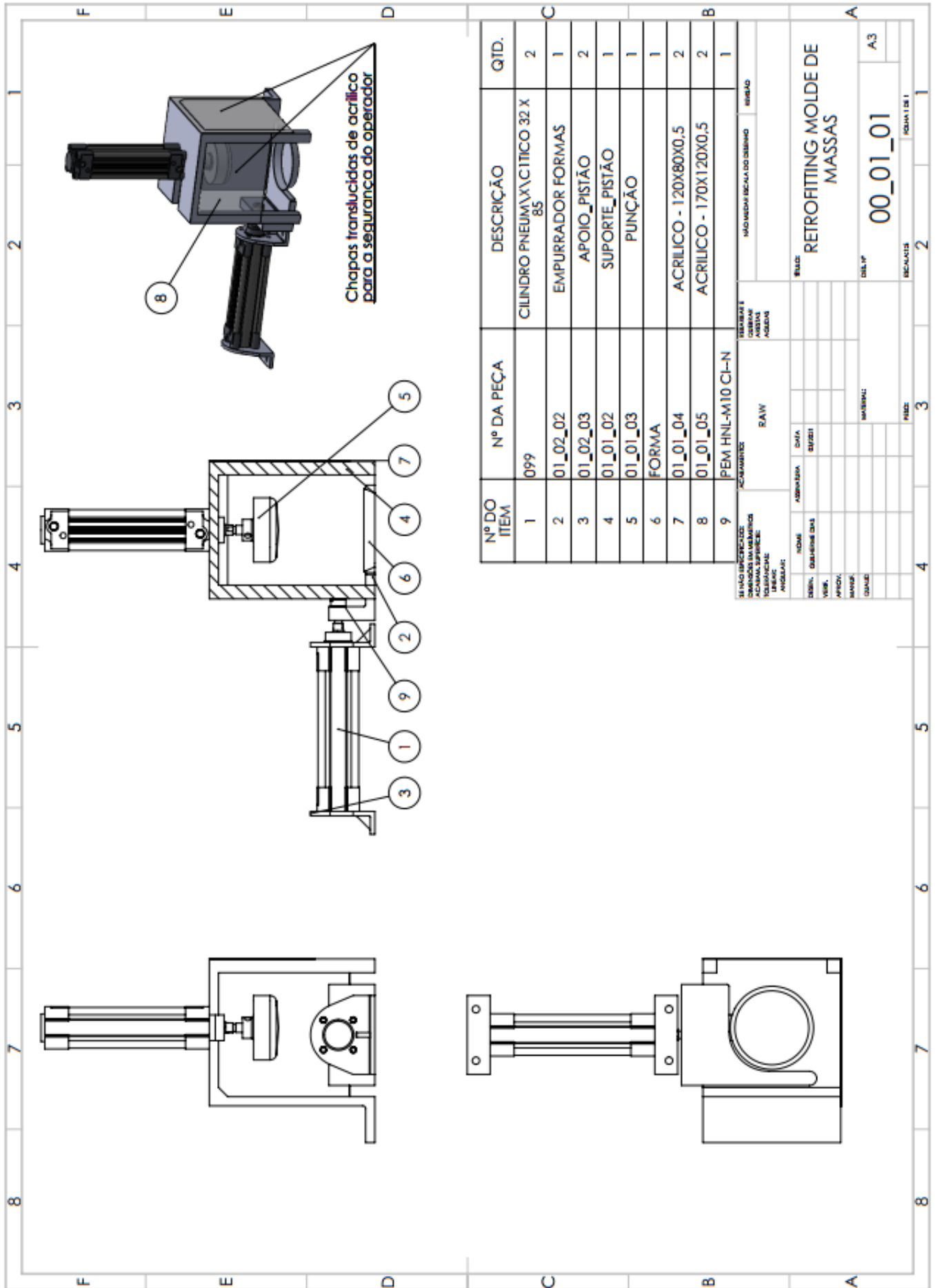
NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

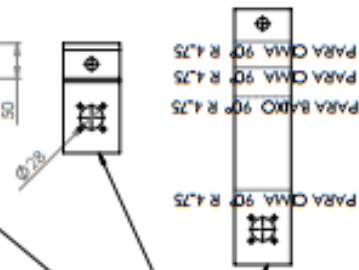
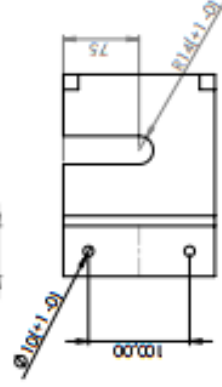
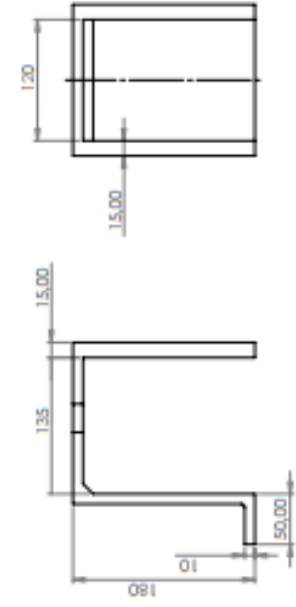
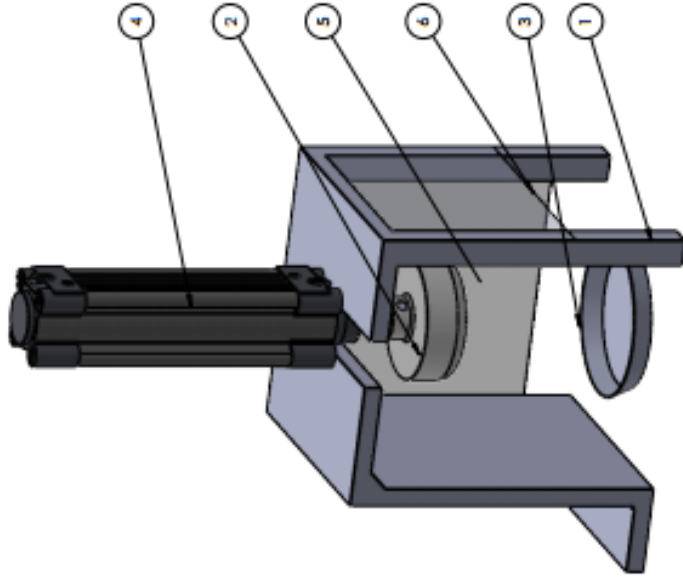
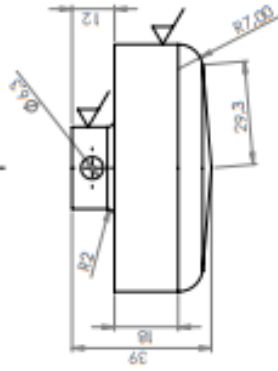
PARKER AUTOMATION. **Tecnologia eletropneumática industrial**. Apostila M1002-2 BR. São Paulo, 2001.

REIS, M. N. E. **Comandos hidráulicos e pneumáticos**. Apostila PUC-MG. Belo Horizonte, 2004.

RIBEIRO, Alexandre da S.; ALMEIDA, Antônio Gabriel S.; SOUZA, Milton B.; LIMA, Eduardo J. **Metodologia para implementação de retrofitting de controladores de equipamentos de automação de processos**. 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, 2007, Cusco. Cusco: Federação Obero americana de Engenharia Mecânica, 2007, p. 1-8. SMC, Apostila Técnicas de comando pneumáticos, 2010.

APENDICE A – DESENHOS TÉCNICOS DO PROJETO





ALTERNATIVA DE (1) EM
(ACAO/AMENSO)

Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	01_01_02		1
2	01_01_03		1
3	FORMA		1
4	Cilindro pneumático 32 x 52 x 85	CILINDRO PNEUMÁTICO 32 X 52 X 85	1
5	01_01_04		1
6	01_01_05		1

ETAPA 1 - RETROFITING MOLDE DE MASSAS

01_01_01

A2

