

Desenvolvimento de uma prensa eletropneumática para o desmanche de espulas com foco em produtividade, ergonomia e conformidade com a NR-12

Development of an electropneumatic press for pulp dismantling with a focus on productivity, ergonomics, and NR-12 compliance

Hudson Pires de Arruda¹

Robert Dias Ximenes²

Resumo: A indústria têxtil apresenta elevado ritmo de produção e demanda contínua por processos eficientes e seguros. No filatório de anel, responsável por transformar a mecha em fio, é comum a ocorrência de espulas defeituosas, que precisam ser desmanchadas para reaproveitamento das canilhas no processo produtivo. Tradicionalmente, essa atividade é realizada manualmente, com o auxílio de ferramentas simples ou até mesmo com as mãos, o que resulta em baixa produtividade, desperdício de tempo e elevado risco ergonômico e de acidentes. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma prensa eletropneumática destinada à retirada de fios de espulas da máquina têxtil filatório de anel, realizando a extrusão das canilhas de forma automatizada e segura. O projeto visa aumentar a produtividade do processo de desmanche de espula, garantir a ergonomia do operador e atender integralmente à Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12) e nº 17 (NR-17), reduzindo os riscos de acidentes e lesões por esforço repetitivo. A estrutura da prensa foi desenvolvida de modo a facilitar a operação em uma altura adequada, com botoeiras em posição acessível e proteções fixas para evitar o contato com partes móveis. O sistema permite a extração rápida das canilhas com menor fadiga do operador e segurança, conseguindo uma maior padronização do processo.

Palavras-chave: Prensa eletropneumática, Canilha, Espula, Ergonomia, NR-12, Produtividade.

Abstract: The textile industry is characterized by a high production rate and a constant demand for efficient and safe processes. In the ring spinning frame, responsible for transforming the roving into yarn, defective bobbins frequently occur and must be dismantled to reuse the spools in the production process. Traditionally, this task is performed manually, using simple tools or even bare hands, which results in low productivity, wasted time, and high ergonomic and accident risks. This work presents the development of an electropneumatic press designed for the automated removal of yarn from bobbins used in ring spinning machines, performing the extrusion of spools in a safe and efficient manner. The project aims to increase the productivity of the bobbin dismantling process, ensure operator ergonomics, and fully comply with Regulatory Standards No. 12 (NR-12) and no. 17 (NR-17), thereby reducing the risk of accidents and repetitive strain injuries. The press structure was designed to facilitate operation, with an appropriate working height, accessible control buttons, and fixed guards to prevent contact with moving parts. The system enables quick spool extraction with less operator fatigue and greater process standardization and safety.

Keywords: Textile industry. Electropneumatic press. Ring spinning frame. Ergonomics. Safety.

Submetido 13/03/2026

Aceito 21/07/2026

Publicado 04/08/2026

¹ Graduado em Engenharia Mecânica. IFSP Campus Itapetininga. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3787-165X>. E-mail: hudson.pires@aluno.ifsp.edu.br

² Doutor em Engenharia Mecânica, Professor. IFSP Campus Itapetininga. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9018-4322>. E-mail: robert.ximenes@ifsp.edu.br

Introdução

A indústria têxtil caracteriza-se por seu elevado ritmo de produção e pela necessidade constante de aprimorar processos para aumentar a eficiência e a segurança dos operadores. No filatório de anel, responsável pela transformação da mecha em fio, é comum a ocorrência de espulas defeituosas que precisam ser desmanchadas para reaproveitamento das canilhas no processo produtivo (Pereira, 2008).

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), a aplicação de metodologias de projeto estruturadas é essencial para o desenvolvimento de produtos industriais seguros e eficientes. Assim, o presente trabalho propõe o projeto de uma prensa eletropneumática automatizada, compacta e ergonômica, com acionamento bimanual e proteções fixas, a fim de eliminar o contato direto com partes móveis e proporcionar um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.

A relevância do estudo justifica-se pela necessidade de integrar conceitos de automação, ergonomia e segurança do trabalho no processo de reaproveitamento das canilhas, contribuindo tanto para a produtividade quanto para a preservação da saúde ocupacional dos operadores (Iida; Guimarães, 2016; ABNT, 2022)

Filatório de anel

Na fiação anel, cada fuso é alimentado por uma mecha, ou pavio (fita constituída de fibras com uma ligeira torção, produzida em uma máquina conhecida como maçaroqueira), que é posicionada na parte superior do filatório (Pereira, 2008), conforme Figura 1 e 2.

Figura 1: Filatório anel



Fonte: Ampa (2018)

Figura 2: Maçaroca utilizada na parte superior do filatório anel

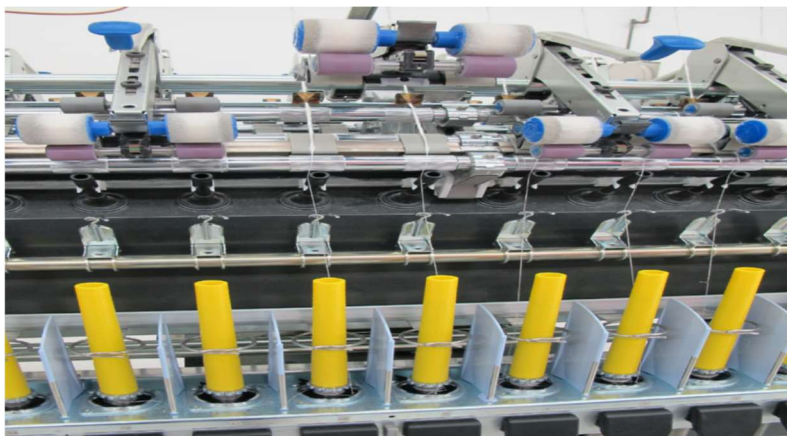


Fonte: pulsar imagens (2025)

Conforme Souza (2015), as espulas defeituosas resultam do rompimento do fio ou da falha no enrolamento, exigindo a remoção manual da canilha, operação que expõe o operador a riscos ergonômicos e mecânicos.

A mecha passa primeiramente pelo sistema, ou trem de estiragem (conjunto de cilindros e manchões emborrachados que promovem, através da diferença de suas velocidades periféricas, o estiramento da massa fibrosa (Pereira, 2008), conforme Figura 3.

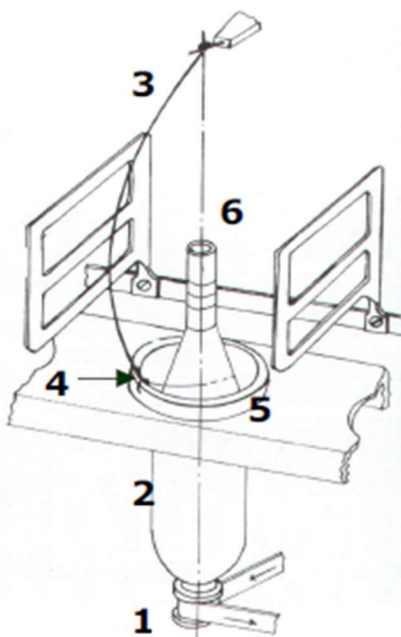
Figura 3: Trem de estiragem de um filatório de anel



Fonte: Ampa (2018)

Na Figura 4 é possível observar o mecanismo de formação do fio em um filatório anel, onde o fuso (1), em rotação, e a espula (2) a ele fixada solicitam e enrolam, respectivamente, o fio. Este, por sua vez, movimenta um pequeno dispositivo chamado viajante (3), através do qual a mecha estirada foi previamente inserida. Quando o fio (4) é fornecido pelo sistema de estiragem, o viajante, que desloca sobre a periferia de um anel metálico (5), é animado de uma velocidade periférica, inferior à da canela (6) (é o atrito que faz com que a rotação do viajante seja menor que a da espula, permitindo a torção da mecha e o enrolamento do fio na espula. Finalmente, o movimento constante de subida e descida comunicado ao anel, onde gira o viajante, permite que o fio seja enrolado ao longo de toda a espula. Abaixo, Figura 4, um filatório a anel, com as maçarocas posicionadas na parte superior da máquina e as espulas sendo formadas na parte inferior (Fonseca e Santana, 2003).

Figura 4: Mecanismo de enrolamento do fio em um filatório de anel.



Fonte: Fonseca e Santana (2003).

Objetivo

Objetivo Geral

Desenvolver uma prensa eletropneumática para automatizar o desmanche de espulas do filatório de anel, aumentando a produtividade do processo, garantindo a segurança do operador conforme a NR-12 e melhorando as condições ergonômicas conforme a NR-17.

Objetivos Específicos

- Automatizar o processo de extração das canilhas, reduzindo o tempo médio de desmanche por espula de aprox. 14 segundos (método manual) para menos de 7 segundos com o sistema eletropneumático (redução $\geq 50\%$).
- Reduzir esforços físicos e prevenir lesões por posturas inadequadas, diminuindo a força aplicada manualmente (hoje estimada entre 25 e 35 kgf) para 0 kgf, garantindo operação 100% sem contato manual com a área de risco.
- Atender integralmente aos requisitos de segurança da NR-12, implementando botoeiras bimanuais, proteção fixa, microchave de intertravamento, comando elétrico em tensão extra-baixa tensão de 24 vcc
- Garantir conformidade ergonômica com a NR-17, definindo altura da bancada entre 1,00 m e 1,10 m, posicionamento das botoeiras dentro dos limites estabelecidos por norma.
- Dimensionar e validar o atuador pneumático, selecionando cilindro ISO 15552 com força útil ≥ 120 kgf e aplicando fator de segurança $\geq 1,25$ sobre a carga real do processo.
- Projetar e modelar o equipamento em CAD 3D, realizando análise dimensional, estudo de interferência mecânica e validação preliminar da montagem no software Autodesk Fusion 360.
- Gerar documentação técnica completa, fluxograma do ciclo de operação, diagrama pneumático, diagrama elétrico, memorial de cálculo, lista de matérias com estimativa de custo.

Referencial teórico

Pneumática Industrial

O sistema pneumático é composto, em sua forma básica, por compressores, reservatórios, válvulas de controle e atuadores (cilindros ou motores pneumáticos). Sua aplicação abrange desde setores automotivos e de transporte até indústrias químicas, petroquímicas e de manufatura em geral (Shigley; Mischke, 2011).

Entre as principais vantagens da pneumática destacam-se o baixo custo de implantação, a segurança em comparação a sistemas hidráulicos de alta pressão, a simplicidade de manutenção e a elevada velocidade de resposta. No entanto, o ar comprimido é um fluido altamente compressível, o que limita a obtenção de movimentos uniformes e a aplicação em processos que demandam grandes forças ou velocidades muito baixas (Pavani, 2005).

Eletropneumática e Automação Industrial

A eletropneumática é a integração do sistema pneumático com o controle elétrico onde ar comprimido fornece a energia mecânica, a eletricidade atua no comando das válvulas e na coordenação dos movimentos a combinação desses dois sistemas proporciona maior precisão, confiabilidade e flexibilidade nos processos industriais (Bolton, 2006).

Um circuito eletropneumático típico é composto por válvulas solenoides, botoeiras, sensores de fim de curso, temporizadores e relés de segurança (Festo, 2023). Esses componentes permitem controlar de forma automática a atuação dos cilindros pneumáticos, executar sequências lógicas e aplicar intertravamentos que aumentam a segurança e a confiabilidade do processo (Bolton, 2021). De acordo com a Norma Regulamentadora NR-12, a adoção de sistemas de comando automatizados com dispositivos de segurança é essencial para evitar acionamentos involuntários e proteger o operador contra riscos mecânicos (Brasil, 2025).

- As principais vantagens da eletropneumática incluem:
- Automação do ciclo: execução de operações repetitivas com maior confiabilidade.
- Precisão: controle de tempos e posições por meio de sensores e temporizadores.
- Segurança: possibilidade de integrar dispositivos de proteção como barreiras e acionamentos bimanuais.

- Flexibilidade: facilidade de adaptação a novos layouts industriais e integração com Controladores Lógicos Programáveis (clps).

Normas Regulamentadoras NR-12 e NR-17

O projeto de qualquer equipamento industrial deve estar em conformidade com as exigências legais de segurança e ergonomia (Brasil, 2025).

A Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17), por sua vez, trata da ergonomia no ambiente de trabalho. Determina que fatores como altura da bancada, posicionamento de comandos e tempo de exposição sejam adequados às características físicas e cognitivas dos operadores, prevenindo esforços desnecessários e lesões osteomusculares (Brasil, 2025).

O comando bimanual utilizado no projeto é controlado por relé temporizador, com intervalo máximo de 0,5 segundo entre os acionamentos, garantindo que o operador mantenha ambas as mãos fora da área de prensagem durante o ciclo. Essa medida atende ao parágrafo 12.26 da NR-12 e evita o risco de acidentes graves (Brasil, 2025).

Ergonomia Aplicada à Prensas

A ergonomia não se limita à postura, mas também envolve a análise de movimentos, forças aplicadas, alcance, iluminação e disposição dos controles, buscando sempre a harmonia entre o homem e a máquina, de modo a reduzir o esforço físico e mental e aumentar a eficiência operacional (Iida; Guimarães, 2016).

A ABNT NBR ISO 6385:2022 – Princípios Ergonômicos na Concepção de Sistemas de Trabalho estabelece que o projeto de um sistema produtivo deve considerar as capacidades e limitações humanas, as características do ambiente e os requisitos organizacionais, de modo a prevenir acidentes e fadiga, além de promover a segurança, a saúde e a eficiência operacional (ABNT, 2022). Esses princípios serviram como base para o desenvolvimento da prensa eletropneumática apresentada neste trabalho, garantindo uma concepção voltada à ergonomia, à segurança do operador e à eficiência produtiva.

Produtividade no Processo de Extração

A automação industrial tem como um de seus principais objetivos o aumento da produtividade, reduzindo tempos de ciclo, eliminando desperdícios e garantindo maior aproveitamento de recursos Grover (2015). Dornelas (2008) afirma que a padronização de processos por meio de sistemas automatizados contribui para o aumento da competitividade empresarial.

No caso da prensa eletropneumática, a automação poderá reduzir o tempo médio de extração de canilhas, garantindo maior disponibilidade para a produção e evitando paradas de máquina por falta de canilhas. Além disso, a confiabilidade do sistema reduz falhas humanas, assegurando maior qualidade e continuidade operacional.

Assim, a eletropneumática representará não apenas uma solução técnica viável, mas também uma estratégia de otimização econômica e de preservação da saúde ocupacional, alinhando produtividade, segurança e ergonomia.

Metodologia de Projeto

O desenvolvimento do projeto da prensa eletropneumática foi desenvolvido segundo os princípios da metodologia de projeto de engenharia proposta por Pahl e Beitz (2004) e adaptada conforme o modelo sistemático descrito por Ximenes (2011), que enfatiza a aplicação estruturada de métodos de concepção e análise voltados à solução de problemas técnicos e inventivos. Essa metodologia busca integrar criatividade, rigor técnico e conformidade normativa ao longo de todas as fases do desenvolvimento do produto (Rozenfeld et. al., 2006).

Estrutura geral da metodologia

Conforme Pahl e Beitz (2004), o processo de projeto técnico pode ser dividido em quatro macro etapas principais, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Etapas da metodologia de projeto

Etapas	Descrição	Resultados obtidos
Planejamento do produto	Definição do problema, escopo e requisitos	Requisitos técnicos, ergonômicos e normativos

Projeto informacional	Análise do processo atual e riscos	Diagnóstico ergonômico e funcional
Projeto conceitual	Geração e seleção de soluções	Conceito da prensa eletropneumática
Projeto detalhado	Dimensionamento e modelagem	Protótipo CAD, cálculos e documentação

Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz (2004) e Rozenfeld et al. (2006)

Essa sequência permite que o desenvolvimento ocorra de maneira progressiva, com realimentações contínuas entre as etapas, garantindo a evolução coerente da ideia inicial até a solução técnica final, conforme Figura 5.

Figura 5: Fluxo resumido da metodologia aplicada



Fonte: próprio autor (2025)

Planejamento do produto

Nesta etapa inicial, foi definido o escopo do projeto e delimitado o problema central: automatizar o processo de desmanche de espulas no filatório de anel, aumentando a produtividade e reduzindo os riscos ergonômicos e mecânicos. Foram estabelecidos os requisitos de projeto considerando:

- Normas regulamentadoras NR-12 e NR-17 (Brasil, 2025);
- Princípios ergonômicos da ABNT NBR ISO 6385:2022;
- Necessidades do operador e do processo produtivo;
- Condições de segurança, produtividade e custo.

A definição desses requisitos seguiu as recomendações de Rozenfeld et al. (2006) e Ximenes (2011), que destacam a importância de compreender as necessidades do usuário e as restrições técnicas e legais antes da concepção do produto.

Projeto informacional

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), a etapa informacional consiste na identificação, análise e organização das necessidades do cliente, requisitos do produto e restrições do projeto, estabelecendo uma base sólida para as fases subsequentes do desenvolvimento.

A fase informacional compreendeu a análise do processo manual existente, identificação dos riscos ergonômicos e operacionais, e levantamento de dados técnicos sobre sistemas pneumáticos e eletropneumáticos (Rozenfeld et al., 2006). Foram observadas as condições reais de operação, posturas adotadas e esforços físicos requeridos, a fim de estabelecer parâmetros ergonômicos e de segurança.

Projeto conceitual

Rozenfeld et al. (2006) definem o projeto conceitual como a etapa na qual são geradas, avaliadas e selecionadas alternativas de solução para o produto, considerando critérios técnicos, funcionais, econômicos e de segurança, até a escolha do conceito mais viável.

A etapa conceitual teve como objetivo gerar e selecionar a melhor solução técnica para atender às necessidades levantadas. Inspirando-se na abordagem sistemática da metodologia TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas), utilizada por Ximenes (2011), adotou-se um processo de raciocínio criativo orientado pela eliminação de contradições técnicas, buscando conciliar segurança, ergonomia e eficiência produtiva.

Foram avaliadas alternativas de sistemas de acionamento (mecânico, pneumático e eletropneumático), de posicionamento da espula e de mecanismos de proteção. O conceito final escolhido, prensa eletropneumática com acionamento bimanual e proteções fixas, foi o que melhor atendeu aos critérios de segurança, confiabilidade, facilidade de operação e conformidade normativa.

Projeto detalhado

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o projeto detalhado consiste na especificação completa do produto, incluindo dimensionamento, materiais, processos, componentes, interfaces, análises funcionais e de segurança, preparando o projeto para fabricação.

O projeto detalhado consistiu na modelagem tridimensional do equipamento no software Autodesk Fusion 360, incluindo todos os componentes estruturais e funcionais. Nessa etapa, foram definidos:

Dimensões e materiais dos elementos estruturais;

- Componentes eletropneumáticos conforme a norma ISO 15552;
- Sistema de comando elétrico em 24 Vcc, em conformidade com o item 12.36 da NR-12;
- Dispositivos de segurança, como tampa de acrílico com intertravamento e microchave de bloqueio.

As decisões de projeto foram guiadas pelos critérios de desempenho, resistência mecânica, manutenção e segurança operacional. Após o detalhamento, o modelo foi avaliado quanto à ergonomia, alcance dos comandos, e visibilidade da área de trabalho, em conformidade com a ABNT NBR ISO 6385:2022.

Validação conceitual

Rozenfeld et al. (2006) definem a validação como o processo de comparar a solução desenvolvida com os requisitos iniciais, verificando se o produto atende às necessidades do usuário, às normas e aos critérios estabelecidos na fase informacional.

Por fim, realizou-se a validação conceitual do projeto, comparando o desempenho previsto com os requisitos iniciais. A solução desenvolvida demonstrou atender integralmente às exigências da NR-12 e da NR-17, proporcionando redução do esforço físico, eliminação do contato direto com partes móveis e melhoria significativa da produtividade.

Metodologia e Materiais

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da necessidade de automatizar o processo de desmanche de espulas do filatório de anel em indústrias têxteis, visando aumentar a

produtividade, reduzir o esforço físico do operador e garantir segurança conforme a NR-12 e a NR-17 (Brasil, 2025).

Segundo Groover (2020), a automação industrial permite substituir atividades manuais repetitivas e desgastantes por sistemas controlados, garantindo maior precisão, padronização e segurança operacional. Além disso, conforme Iida e Guimarães (2016), a adequação ergonômica do posto de trabalho é essencial para prevenir lesões musculoesqueléticas e melhorar o desempenho produtivo dos operadores.

O processo metodológico do projeto envolveu as seguintes etapas principais, de acordo com os princípios de desenvolvimento de produto propostos por Rozenfeld et al. (2006) e Pahl e Beitz (2004):

- O processo metodológico envolveu as seguintes etapas principais:
- Observação e análise do processo manual existente;
- Identificação dos riscos ergonômicos e mecânicos;
- Desenvolvimento do protótipo em software CAD
- Seleção dos materiais e componentes técnicos;
- Verificação da conformidade com as normas regulamentadoras.

Observação do processo e análise ergonômica

Inicialmente, foram realizadas visitas técnicas e observações diretas no setor de desmanche manual de espulas, o que permitiu identificar esforço físico excessivo, posturas inadequadas, riscos de acidentes e baixa eficiência operacional. De acordo com Iida (2005), a análise ergonômica do trabalho deve considerar as condições físicas e cognitivas do operador, o esforço repetitivo e a frequência das tarefas, de modo a propor melhorias que reduzam o desgaste e aumentem a produtividade.

As Figuras 6 mostra a vista frontal do equipamento manual atualmente utilizado no processo e a Figura 7 mostra a vista lateral. O equipamento manual exige força significativa do operador e não dispõe de proteções adequadas, representando riscos de esmagamento e impacto — condições que contrariam os requisitos mínimos de segurança estabelecidos pela NR-12 (Brasil, 2025).

Figura 6: Prensa manual utilizada no desmanche de espula (frontal)



Fonte: Próprio autor (2025).

Figura 7: Prensa manual utilizada no desmanche de espula (lateral)

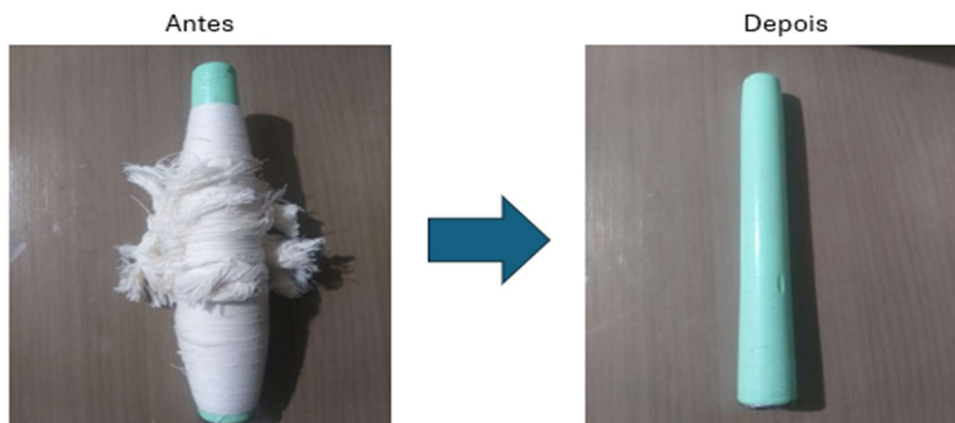


Fonte: Próprio autor (2025).

A partir da análise ergonômica, identificaram-se diversos pontos críticos, como a altura inadequada da bancada, a ausência de acionamento bimanual e o contato direto do operador com partes móveis. Esses fatores representavam riscos de lesões osteomusculares e acidentes por esmagamento.

Na Figura 8 pode-se observar a espula cheia de fio com defeito pronta para ser desmanchada, sobrando somente a canilha para voltar ao processo de produção.

Figura 8: Espula com defeito antes do desmanche e depois



Fonte: Próprio autor (2025).

Com base nas observações realizadas no processo de extrusão das espulas, foi projetado um protótipo de prensa eletropneumática com estrutura metálica compacta, pistão central e acionamento bimanual, seguindo princípios de segurança, ergonomia e eficiência operacional. Segundo Shigley e Mischke (2011), a fase de concepção de um equipamento mecânico deve integrar critérios de funcionalidade, resistência estrutural e segurança, buscando a otimização do desempenho e a redução de falhas operacionais.

O principal objetivo do projeto foi eliminar o risco de esmagamento acidental das mãos do operador e garantir a conformidade com a Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), que estabelece os requisitos mínimos para segurança no trabalho em máquinas e equipamentos (Brasil, 2025).

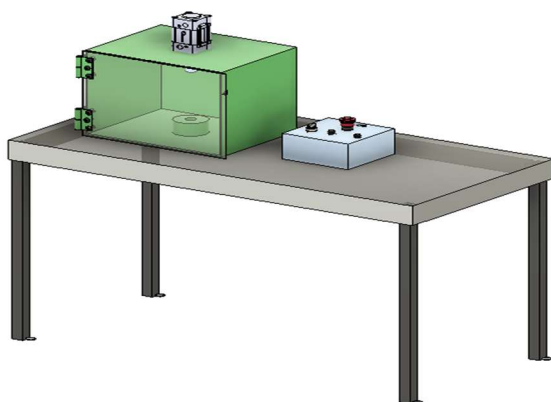
O protótipo inclui:

- Tampa frontal em acrílico transparente, permitindo a visibilidade do processo e evitando a projeção de partículas, conforme recomendações de proteção física e visual descritas na NR-12, item 12.38 (Brasil, 2025);
- Microchave de segurança, que interrompe o circuito elétrico de acionamento quando a tampa está aberta, em conformidade com os princípios de intertravamento eletromecânico definidos pela ABNT NBR IEC 60947-5-1:2021 (ABNT, 2021);

- Altura ajustada ergonomicamente, respeitando as recomendações da NR-17, que define parâmetros de postura, alcance e conforto para atividades manuais (BRASIL, 2025; Iida; Guimarães, 2016);
- Acionamento elétrico em 24 Vcc, atendendo ao item 12.36 da NR-12, que exige o uso de tensão extrabaixa de segurança em dispositivos de comando (Brasil, 2025; Bolton, 2021);
- Proteções fixas e intertravamento na zona de prensagem, conforme boas práticas de segurança descritas por Groover (2020) e reforçadas pela ABNT NBR IEC 60204-1:2018, que trata da segurança elétrica de máquinas (ABNT, 2018).

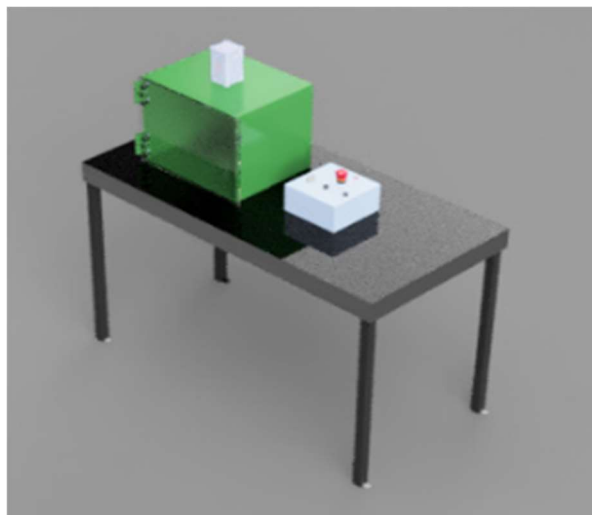
O modelo tridimensional foi desenvolvido no software Autodesk Fusion 360, ferramenta amplamente utilizada no processo de projeto e modelagem 3D de sistemas mecânicos, que permite a simulação de montagem e a validação de interferências entre componentes, conforme ilustrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9: Protótipo desenvolvido CAD (Vista isométrica)



Fonte: Próprio autor (2025).

Figura 10: Protótipo desenvolvido CAD (vista realista)



Fonte: Próprio autor (2025).

Material utilizado

Segundo Shigley e Mischke (2011), a seleção de materiais é um dos aspectos mais críticos no projeto de máquinas, visto que impacta diretamente na resistência à fadiga, rigidez, peso estrutural e confiabilidade do equipamento. A escolha incorreta pode resultar em falhas prematuras, aumento de manutenção e redução da vida útil do sistema.

No caso da prensa eletropneumática desenvolvida, a escolha dos materiais foi baseada em critérios de resistência mecânica, durabilidade e compatibilidade com o ambiente industrial, conforme recomendações das normas NR-12 e NR-17, que tratam, respectivamente, da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos e da ergonomia aplicada ao posto de trabalho (Brasil, 2025).

Os componentes que foram utilizados estão descritos na Tabela 2.



Tabela 2: Descrição do material utilizado

Item	Descrição	Material	Observação
1	Atuador pneumático	Alumínio / aço conforme ISO 6431	Ø 50 mm / curso 100 mm
2	Suporte de encaixe da espula	Aço carbono AISI 1020	Ø 30mm
3	Carcaça da prensa	ASTM A36	400x320mm
4	Estrutura da Mesa	Aço carbono AISI 1020	NBR 7007
5	Proteção (Carcaça Acrílica)	Polycarbonato transparente 6 mm	NBR ISO 527
6	Parafusos e fixadores	Aço zincado classe 8.8	NBR 5580
7	Dobradiças	Aço inox AISI 304	Porta de Proteção
8	Microchave de Segurança	Elétrica	NA/NF-Vcc
9	Comando bimanual	Caixa metálica + botoeiras	NA/NF 24 -Vcc

Fonte: Próprio autor (2025)

Com o objetivo de viabilizar a implementação do projeto proposto, realizou-se uma estimativa de custos dos principais materiais e componentes necessários para a construção da prensa pneumática destinada à extrusão de espulas.

Os valores apresentados foram obtidos a partir de pesquisa de mercado realizada em fornecedores especializados em automação industrial, componentes pneumáticos e materiais metálicos, considerando preços médios praticados no ano de 2025. Ressalta-se que os custos estimados têm caráter referencial, podendo sofrer variações em função da região, do volume de compra e das condições comerciais adotadas pelos fornecedores.

A Tabela 3 apresenta o detalhamento do orçamento, incluindo a descrição dos componentes, quantidades, fornecedores de referência e valores unitários e totais, servindo como base para a análise de viabilidade econômica do projeto.

Tabela 3: Orçamento estimado dos materiais e componentes da prensa para espulas

Item	Descrição	Quant.	Fornecedor	Valor unit. (R\$)	Total (R\$)
1	Atuador pneumático Ø50 mm, curso 100 mm	1	Dexyí Automação Industrial	990	990
2	Suporte de encaixe da espula – AISI 1020	1	Metalúrgica local (usinagem)	70	70
3	Carcaça da prensa – ASTM A36	1	Metalúrgica local (corte e solda)	180	180
4	Estrutura da mesa – AISI 1020	1	Metalúrgica local	120	120
5	Proteção em policarbonato 6 mm	1	Casado Policarbonato/ Acriltech	140	140
6	Parafusos e fixadores (classe 8.8)	1 kit	A Casa do Atuador	60	60
7	Dobradiças em aço inox AISI 304	2	Ferragens São Paulo	45	90
8	Microchave de segurança NA/NF	1	A Casa do Atuador	75	75
9	Comando bimanual 24 Vcc	1	A Casa do Atuador	200	200
	TOTAL GERAL ESTIMADO				R\$ 1.925,00

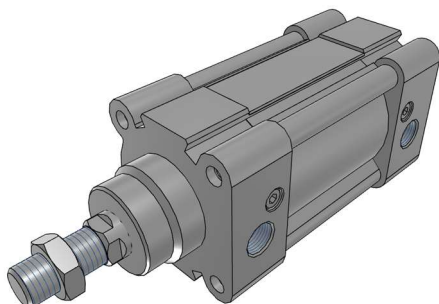
Fonte: Próprio autor

Atuador pneumático ISO-15552

Na Figura 11, o atuador pneumático de dupla ação, conforme a norma ISO 15552, é o componente responsável por realizar o movimento de avanço e retorno do êmbolo durante a extrusão da espula.

O modelo selecionado apresenta diâmetro interno de 50 mm e curso de 100 mm, operando com ar comprimido a 6 bar. Esse atuador proporciona uma força de extensão aproximada de 120 kgf, superior à força necessária para o processo (80 kgf).

Figura 11: cilindros pneumáticos padrão ISO-15552



Fonte: Artec embedded (2025)

Componente de Posicionamento da Espula

Este componente tem a função de posicionar a espula defeituosa na zona de prensagem, garantindo o correto alinhamento durante o processo de extrusão. É fabricado em aço carbono AISI 1020, material amplamente utilizado em aplicações mecânicas devido à sua boa resistência mecânica, facilidade de usinagem e baixo custo de produção (callister; rethwisch, 2021), na Figura 12 pode se observar o componente utilizado para posicionar a espula.

Figura 12: suporte guia da espula CAD



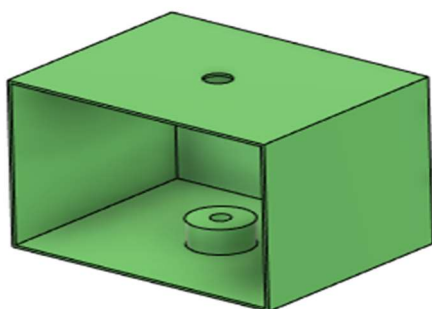
Fonte: Próprio autor (2025)

Carcaça da prensa com Cubo da Prensa

A estrutura da prensa eletropneumática foi concebida em aço carbono ASTM A36, amplamente utilizado na fabricação de estruturas metálicas e componentes mecânicos. Segundo Shigley e Mischke (2011), o aço A36 apresenta boa soldabilidade, ductilidade e resistência mecânica, sendo adequado para aplicações de médio esforço em equipamentos industriais.

O cubo central da prensa é o corpo principal onde o atuador pneumático é fixado e garante rigidez e alinhamento entre o pistão e o suporte da espula. Foi projetado com reforços internos e furos roscados para fixação dos elementos de montagem e acoplamento ao tampo da mesa, conforme Figura 13.

Figura13: Carcaça estrutura da prensa



Fonte: Próprio autor (2025)

Estrutura da Mesa

A estrutura da mesa foi projetada em aço carbono AISI 1020, material amplamente utilizado em aplicações mecânicas e estruturais devido à sua boa resistência mecânica, facilidade de soldagem e usinagem, além de baixo custo de produção (Callister; rethwisch, 2021). Esse aço apresenta boa tenacidade e ductilidade, características essenciais para suportar cargas estáticas e dinâmicas sem falhas estruturais (Shigley; Mischke, 2011). Conforme Figura 14 pode se observar mesa utilizada para se colocar prensa.

Figura14: Estrutura da mesa



Fonte: próprio autor (2025)

Proteção (Carcaça Acrílica)

Na Figura 15 pode se observar a câmara de proteção é confeccionada em policarbonato transparente de 6 mm, permitindo a observação da operação sem contato direto com partes móveis, em conformidade com o item 12.38 da NR-12, que determina que as proteções devem impedir o acesso à zona de perigo sem prejudicar a visibilidade do processo (Brasil, 2025).

Figura 15: policarbonato transparente



Fonte: Laser house shop (2025)

Dobradiças da Porta de Proteção

Conforme Figura 16, as dobradiças laterais são de aço inoxidável AISI 304 permitem a abertura para manutenção e inspeção. Esse material apresenta alta resistência à corrosão e excelente durabilidade em ambientes industriais, conforme especificado na ABNT NBR 8158:2019 e reforçado por Callister e Rethwisch (2021)

Figura 16: Dobradiça



Fonte: Traceparts (2025)

Parafusos e fixadores

Os parafusos utilizados na prensa eletropneumática têm a função de unir e fixar os componentes estruturais e funcionais do conjunto, garantindo rigidez, segurança e alinhamento durante a operação. Segundo Shigley e Mischke (2011), a função principal dos elementos de fixação é transmitir esforços entre componentes e manter o conjunto estrutural estável mesmo sob cargas dinâmicas

conforme Figura 17, foram selecionados parafusos de aço zincado M6 × 25, conforme a ABNT NBR 5580:2015, com resistência mecânica mínima classe 8.8, assegurando desempenho adequado à tração e ao cisalhamento (ABNT, 2015). Essa classe de resistência, segundo Budynas e Nisbett (2019), é a mais empregada em montagens estruturais de máquinas, pois oferece equilíbrio entre resistência e ductilidade, evitando falhas prematuras por fadiga ou sobrecarga.

Figura 17: Parafuso alen zincado



Fonte: Bassotto suprimentos (2025)

Microchave de Segurança

Conforme Figura 18 pode se observar a microchave de segurança onde tem como principal função interromper o circuito elétrico de acionamento sempre que a porta de proteção da prensa estiver aberta, impedindo a movimentação do pistão e garantindo a integridade física do operador. Esse dispositivo é essencial para o cumprimento dos requisitos da Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), que estabelece a obrigatoriedade de sistemas de intertravamento em zonas de risco (BRASIL, 2025).

Além de garantir conformidade com a NR-12, item 12.38, a microchave também atende às recomendações da ABNT NBR IEC 60947-5-1, assegurando confiabilidade operacional, durabilidade e resposta imediata no desligamento do sistema, requisitos essenciais para ambientes industriais automatizados.

Figura18: microchave



Fonte: Electrical relay (2025)

Comando bimanual

O painel de comando reúne os botões de acionamento bimanual, o botão de emergência e o sistema elétrico de controle. Opera em 24 volt em corrente contínua, conforme NR-12, item 12.26, que exige comandos de operação em tensão extra-baixa. O acionamento simultâneo das botoeiras garante que ambas as mãos do operador permaneçam fora da área de risco durante o ciclo de prensagem (Brasil, 2025).

O acionamento simultâneo das botoeiras assegura que ambas as mãos do operador permaneçam fora da área de risco durante o ciclo de prensagem, atendendo ao princípio de segurança por exclusão física de acesso. Segundo Bolton (2021), o comando bimanual é um dos métodos mais eficazes de prevenção de acidentes em sistemas eletropneumáticos, pois garante sincronismo e impede o acionamento acidental por uma única mão conforme Figura 19.

Figura 19: Comando bimanual



Fonte: Isotron (2025)

Memorial de cálculo pistão pneumático

O dimensionamento do pistão pneumático é uma etapa fundamental no projeto de sistemas de automação, pois determina a capacidade de força necessária para a execução da

operação de prensagem. De acordo com Pavaní (2005), o correto dimensionamento dos atuadores garante o equilíbrio entre força gerada, consumo de ar e eficiência energética, assegurando desempenho adequado e vida útil prolongada do sistema.

O cálculo da força fornecida por um atuador pneumático baseia-se na relação direta entre pressão e área efetiva do pistão, expressa pela equação fundamental $F = P \times A$, onde F é a força (N), P é a pressão (Pa) e A é a área útil do pistão (m^2). Segundo Bolton (2021), essa relação permite determinar o diâmetro mínimo do pistão necessário para vencer a carga imposta, considerando a pressão de trabalho e um coeficiente de segurança adequado às condições de operação.

Conforme a ABNT NBR 12188:2017, os sistemas pneumáticos industriais devem ser projetados de modo a garantir segurança, estabilidade e confiabilidade, levando em conta fatores como pressão nominal, perdas de carga, forças de atrito e eficiência volumétrica dos componentes.

Além disso, a seleção de componentes pneumáticos deve considerar as condições reais de operação, como a variação da pressão de alimentação e o tipo de movimento exigido. De acordo com Groover (2020), a escolha de cilindros padronizados conforme a ISO 15552:2018 facilita a intercambialidade, reduz o tempo de manutenção e assegura compatibilidade dimensional entre fabricantes.

A força necessária para a extrusão da espula foi estimada em 80 kgf. Considerando uma pressão de trabalho de 6 bar, calculou-se o diâmetro mínimo do pistão por meio da relação.

Onde: $F = P \times A$

F = Força (N)

P = Pressão (Pa)

A = Área útil do pistão (m^2)

Força de trabalho necessário = 80kgf

Conversão 1kgf = 9,80655 N

Pressão de trabalho $p = 6$ bar

Aceleração da gravidade = 9,81 N



Coefficiente de segurança $C_s = 1,25$

Conversão kgf para newton e aplicação do coeficiente de segurança de 1,25

$$F = 80 \text{ kgf} \times 9,81 \text{ N} = 784,8 \text{ N}$$

$$F = 784,8 \text{ N} \times 1,25 = 981 \text{ N} \quad (1)$$

Conversão de pressão de (bar) para (Pa)

$$P = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = 6 \times 10^5 = 0,6 \text{ Mpa} \quad (2)$$

Área do pistão:

$$A = \frac{F}{P} \quad (3)$$

Diâmetro equivalente isolando o D:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (4)$$

Cálculo da área necessária:

$$A = \frac{981}{600000} = 0,001635 \text{ m}^2 \quad (5)$$

Cálculo do diâmetro do pistão:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,001635}{\pi}} = 0,456 \text{ m} = 45,6 \text{ mm} \quad (6)$$

Assim, o diâmetro mínimo do pistão requerido para gerar a força necessária de extrusão é de 45,6 mm. Considerando perdas por atrito e eficiência do sistema, adotou-se o diâmetro de (50 mm), conforme recomendações da norma ISO 15552:2018, que padroniza dimensões e forças de cilindros pneumáticos (ISO, 2018).

Com base nesse valor, foi realizada a consulta em tabelas técnicas de cilindros pneumáticos, visando identificar o modelo que melhor atendesse às exigências do projeto. Verificou-se que o cilindro com diâmetro interno de 50 mm é o mais adequado, apresentando força de extensão de 120,1 kgf e força de retração de 100,9 kgf, 6 bar conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 :Tabela pistão pneumático

DIÂMETRO interno da camisa (mm)	Diâmetro haste (mm)	Rosca da haste	Rosca para conexões	FORÇA DO CILINDRO em kgf									
				2 bar		4 bar		6 bar		8 bar		10 bar	
				Extensão	Retração	Extensão	Retração	Extensão	Retração	Extensão	Retração	Extensão	Retração
10	4	M4x0,7	M5	1,6	1,3	3,2	2,7	4,8	4,0	6,4	5,4	8,0	6,7
12	6	M6x1,0	M5	2,3	1,7	4,6	3,5	6,9	5,2	9,2	6,9	11,5	8,6
16	6	M6x1,0	M5	4,1	3,5	8,2	7,0	12,3	10,6	16,4	14,1	20,5	17,6
20	8	M8x1,25	G 1/8"	6,4	5,4	12,8	10,8	19,2	16,1	25,6	21,5	32,0	26,9
25	10	M10x1,25	G 1/8"	10,0	8,4	20,0	16,8	30,0	25,2	40,0	33,6	50,1	42,0
32	12	M10x1,25	G 1/8"	16,4	14,1	32,8	28,2	49,2	42,3	65,6	56,4	82,0	70,5
40	16	M12x1,25	G 1/4"	25,6	21,5	51,3	43,1	76,9	64,6	102,5	86,1	128,1	107,6
50	20	M16x1,5	G 1/4"	40,0	33,6	80,1	67,3	120,1	100,9	160,2	134,5	200,2	168,2
63	20	M16x1,5	G 3/8"	63,6	57,2	127,1	114,3	190,7	171,5	254,3	228,7	317,9	285,8
80	25	M20x1,5	G 3/8"	102,5	92,5	205,0	185,0	307,5	277,5	410,0	370,0	512,6	462,5
100	25	M20x1,5	G 1/2"	160,2	150,2	320,3	300,3	480,5	450,5	640,7	600,7	800,9	750,8
125	32	M27x2,0	G 1/2"	250,3	233,9	500,5	467,7	750,8	701,6	1.001,1	935,5	1.251,4	1.169,4
160	40	M36x2,0	G 3/4"	410,0	384,4	820,1	768,8	1.230,1	1.153,3	1.640,2	1.537,7	2.050,2	1.922,1
200	40	M36x2,0	G 3/4"	640,7	615,1	1.281,4	1.230,1	1.922,1	1.845,2	2.562,8	2.460,3	3.203,5	3.075,3
250	50	M42x2,0	G 1"	1.001,1	961,0	2.002,2	1.922,1	3.003,3	2.883,1	4.004,4	3.844,2	5.005,5	4.805,2
320	63	M48x2	G 1"	1.640,2	1.576,6	3.280,4	3.153,2	4.920,6	4.729,8	6.560,7	6.306,5	8.200,9	7.883,1

Fonte: Adaptado de MTI Brasil.

Estrutura e funcionamento do sistema projetado

O projeto da prensa eletropneumática foi desenvolvido com o objetivo de automatizar o processo de desmanche das espulas de fio, substituindo o método manual, que apresenta alto risco ergonômico e baixa produtividade. O equipamento proposto é composto por três subsistemas principais: estrutura metálica, sistema pneumático e sistema elétrico de comando e segurança.

A estrutura metálica foi projetada em aço carbono ASTM A36, com rigidez suficiente para suportar o esforço do cilindro pneumático durante o ciclo de prensagem. Segundo Shigley e Mischke (2011), o dimensionamento adequado de componentes estruturais garante segurança, durabilidade e confiabilidade mecânica. A geometria do conjunto foi otimizada por meio da

modelagem tridimensional no software Autodesk Fusion 360, o que possibilitou verificar interferências, folgas e espaço de manutenção, conforme recomendam Rozenfeld et al. (2006).

O sistema pneumático utiliza um cilindro de dupla ação, padrão ISO 15552, acionado por uma válvula solenoide de 5 vias e 2 posições. Esse conjunto realiza o movimento de prensagem e retorno de forma rápida e segura. Pavani (2005) ressalta que os atuadores pneumáticos são ideais para aplicações que exigem repetitividade e resposta rápida, sendo amplamente empregados em linhas automatizadas.

Já o sistema elétrico deverá ser desenvolvido em 24 Vcc, conforme item 12.36 da NR-12 (Brasil, 2025), garantindo proteção ao operador a choques elétricos. O circuito inclui acionamento bimanual, relé de segurança, botão de parada de emergência e microchave de intertravamento da tampa superior. Esses dispositivos asseguram que o operador mantenha ambas as mãos fora da área de risco durante o ciclo, atendendo ao requisito de segurança funcional definido pela norma.

Dispositivos de segurança e ergonomia

A segurança e a ergonomia foram tratadas como aspectos fundamentais no projeto. De acordo com Grandjean e Kroemer (2005), a ergonomia aplicada ao projeto de máquinas deve garantir ajuste entre o operador e o sistema, prevenindo fadiga, desconforto e lesões ocupacionais.

O equipamento foi projetado com altura de bancada de 1,05 m, adequada para operação em pé, e botoeiras posicionadas ergonomicamente conforme as recomendações da NR-17 (Brasil, 2025) e da ABNT NBR ISO 6385:2022. A tampa de acrílico transparente, além de proteger o operador contra partículas, proporciona visibilidade total da área de trabalho, conforme recomendado por Iida e Guimarães (2016).

O acionamento bimanual, exigido pela NR-12, garante que o ciclo de prensagem só se inicie quando os dois botões forem pressionados simultaneamente, evitando que o operador mantenha uma das mãos próximas à área de risco. Esse tipo de dispositivo é classificado como sistema de segurança de categoria II, segundo a EN ISO 13849-1, amplamente adotada em sistemas de automação (Bolton, 2021).

Esses recursos foram incorporados ao modelo CAD, possibilitando a visualização do espaço operacional e a avaliação ergonômica do alcance e da postura do operador. O resultado foi um equipamento compacto, de fácil acesso e seguro, em conformidade com os princípios da engenharia de segurança e usabilidade.

Análise funcional e ciclo de operação

O ciclo de operação da prensa inicia-se com o fechamento da tampa e a ativação do intertravamento elétrico, que autoriza o funcionamento do sistema pneumático. Ao pressionar simultaneamente as botoeiras, a válvula solenoide envia ar comprimido para a câmara superior do cilindro, promovendo o movimento descendente do êmbolo. Após o término do curso, a válvula é desenergizada e o ar é liberado da câmara superior, retornando o êmbolo à posição inicial.

Segundo Pavani (2005), esse tipo de circuito eletropneumático garante resposta rápida e repetibilidade, fundamentais em processos industriais automatizados. A sequência de operação é controlada eletricamente, impedindo o acionamento acidental ou simultâneo de outros ciclos.

O sistema foi projetado para operar com pressão nominal de 6 bar, fornecida por um compressor central, e possui regulador de pressão e filtro de ar para garantir estabilidade e durabilidade dos componentes pneumáticos (Groover, 2020).

Avaliação ergonômica e produtiva

A ergonomia foi analisada segundo os princípios da ABNT NBR ISO 6385:2022 e da NR-17 (Brasil, 2025), que recomendam a adaptação das máquinas às condições antropométricas dos operadores. A altura da bancada, o posicionamento das botoeiras e a visibilidade da área de trabalho foram avaliados de modo a minimizar flexões de tronco e elevação de ombros, prevenindo distúrbios osteomusculares (Iida; Guimarães, 2016).

De acordo com Pacheco e Iida (2018), a redução da carga física e o controle da postura durante a operação estão diretamente relacionados à produtividade e à satisfação do operador. O equipamento projetado proporciona melhor distribuição do esforço físico, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a qualidade das tarefas.

Além disso, a automação do ciclo de prensagem contribui para uma produção mais uniforme, reduzindo falhas humanas e o tempo de operação. Groover (2020) destaca que sistemas automatizados com controles eletropneumáticos são eficazes em processos de alto volume e repetitividade, como o desmanche de espulas.

Conclusão

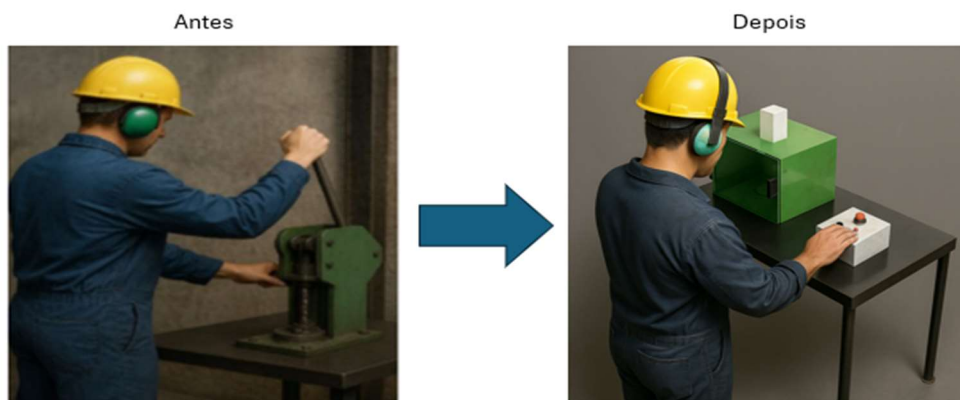
Com base nesses resultados, o equipamento proposto demonstra atender plenamente aos requisitos de segurança, ergonomia e desempenho produtivo, representando uma solução industrial eficiente e segura para o processo de extrusão de canilhas.

Em termos de desempenho, a automação do processo possibilitará redução do tempo de ciclo, eliminação de esforços repetitivos e melhor aproveitamento do tempo produtivo. Dessa forma, a prensa desenvolvida poderá atender plenamente às necessidades operacionais da indústria têxtil e pode ser replicada ou adaptada para outras aplicações industriais que envolvam prensagem ou extração automatizada.

Portanto, o projeto cumpre seus objetivos ao promover segurança, ergonomia e eficiência, alinhando-se aos princípios da engenharia mecânica moderna e às exigências de bem-estar do trabalhador.

Dessa forma é apresentado na Figura 21, operador operando as prensas, antes inteiramente manual e depois com sistema eletropneumático com as melhorias feitas.

Figura 21: operador operando as prensas antes manual e depois eletropneumática



Fonte: Próprio autor (2025)

Referências:

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5580:2015 – Parafusos e porcas: rosca métrica – Especificações gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7007:2021 – Aços ao carbono e aços-liga: classificação e designação. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12188:2017 – Sistemas pneumáticos industriais – Requisitos de segurança para componentes e sistemas. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60204-1:2018 – Segurança de máquinas – Equipamento elétrico de máquinas – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60947-5-1:2021 – Dispositivos eletromecânicos de comando – Parte 5-1: Dispositivos de comutação e elementos de intertravamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724:2023 – Apresentação de trabalhos acadêmicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520:2023 – Informação e documentação – Citações em documentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

A CASA DO ATUADOR. Componentes pneumáticos e dispositivos de segurança. Disponível em: <<https://www.acasadoatuador.com.br>>. Acesso em: 14 dez. 2025.

ACRILTECH. Placas de policarbonato industrial. Disponível em: <<https://www.acriltech.com.br>>. Acesso em: 14 dez. 2025.

AMPA – ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. Filatório de anel industrial. Mato Grosso, 2018.

ARTEC EMBEDDED. Site institucional. [S.l.: s.n.], [2025]. Disponível em: <https://artec-embedded.com>. Acesso em: 18 nov. 2025.

AUTODESK INC. Fusion 360 – Design and Manufacturing Software. San Francisco, 2024. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BASSOTTO SUPRIMENTOS. Catálogo técnico – Parafusos Allen zincados. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.bassottosuprimentos.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BOLTON, W. Pneumatics and Electropneumatics. 5. ed. Oxford: Newnes, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília, 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 17 – Ergonomia. Brasília, 2025.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Shigley's Mechanical Engineering Design. 11. ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

DEXYÍ AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Atuadores pneumáticos industriais. Disponível em: <<https://www.dexyloja.com.br>>. Acesso em: 14 dez. 2025.

ELECTRICAL RELAY. Catálogo técnico – Microchaves de segurança industrial. Londres, 2025. Disponível em: <http://www.electrical-relay.com>. Acesso em: 10 nov. 2025.

FERRAGENS SÃO PAULO. Ferragens industriais em aço inox. Disponível em: <<https://www.ferragenssaopaulo.com.br>>. Acesso em: 14 dez. 2025.

FONSECA, R. G. da; SANTANA, J. C. F. de. Análise de fios: equipamentos e aspectos relevantes de qualidade. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003.

GROOVER, M. P. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2020.

IIDA, I. Ergonomia: Projeto e Produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. M. Ergonomia: Projeto e Produção. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. ISO 1219-1:2012 – Fluid power systems and components – Graphic symbols and circuit diagrams – Part 1: Graphical symbols for conventional use. Geneva: ISO, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. ISO 13851:2019 – Safety of machinery – Two-hand control devices – Functional aspects and design principles. Geneva: ISO, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. ISO 15552:2018 – Pneumatic fluid power – Cylinders – Dimensions, mounting and accessories. Geneva: ISO, 2018.

LASER HOUSE SHOP. Placas de policarbonato transparente para proteção industrial. Buenos Aires, 2025. Disponível em: <https://www.laserhouseshop.com.ar>. Acesso em: 10 nov. 2025.

L. M. LOGIX. Acionamento bimanual para prensas – catálogo técnico. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.lmlogix.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MTI BRASIL. Catálogo técnico de cilindros pneumáticos ISO 15552. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.mtibrasil.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PAVANI, R. Sistemas Pneumáticos Industriais. São Paulo: Érica, 2005.

PULSAR IMAGENS. Banco de imagens industriais – setor têxtil. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.pulsarimagens.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ROZENFELD, H. et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R. Projeto de Engenharia Mecânica. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

TRACEPARTS. Catálogo técnico – Dobradiças e componentes industriais em aço inox. Lyon, 2025. Disponível em: <https://www.traceparts.com>. Acesso em: 10 nov. 2025.

XIMENES, Robert Dantas. Desenvolvimento de um dispositivo de automação pneumática aplicado à melhoria ergonômica de processos industriais. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.