

DISPOSITIVO ELETROPNEUMÁTICO PARA MARCAÇÃO EM CHAPAS DE AÇO CARBONO

Alisson Tabora Went (UNIFACEAR), E-mail: alissonwent@gmail.com
Gisele Luiza dos Santos (UNIFACEAR), E-mail: gislusantos@gmail.com
Juliana Rodrigues Lourenço (UNIFACEAR), E-mail: ju.rodrigues04@gmail.com
Raquel Fernandes (UNIFACEAR), E-mail: raquel.fernandes@unifacear.edu.br

Resumo: A competitividade no mercado atual faz com que as empresas busquem por inovação e valorizem a redução de tempo em seus processos, elevando os padrões de qualidade e promovendo normas cada vez mais rígidas, isto resulta em uma nova perspectiva de negócio. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo, a fim de atender à necessidade de uma empresa, para aperfeiçoar seu processo produtivo de marcação de chapas em aço carbono. Uma das grandes adversidades encontradas dentro desta operação, está na falta de padronização e a qualidade da estampa, isto se justifica devido ser desempenhado de modo manual, onde a problemática se agrava por ser um requisito obrigatório, gerando um impacto direto na rastreabilidade em proveito do controle no produto final. Para fundamentar o projeto do protótipo aplicou-se conceitos de engenharia mecânica, automação eletropneumática, agregando os princípios de resistência dos materiais, conciliando a proposta de mensurar os resultados, com a finalidade de suprir a deficiência da operação, instituindo um procedimento que contemple os parâmetros e tolerâncias permissíveis, impactando no processo produtivo e qualidade final do produto a ser estampado.

Palavras-chave: Marcação de Chapas, Automação, Qualidade.

ELETROPNEUMATIC IC DEVICE FOR MARKING ON CARBON STEEL SHEET

Abstract: Competitiveness in the current market makes companies look for innovation and value the reduction of time in their processes, raising quality standards and promoting increasingly stricter standards, which results in a new business perspective. This work proposes the development of a prototype, in order to meet the needs of a company, to improve its production process for marking carbon steel plates. One of the great adversities found within this operation is the lack of standardization and the quality of the print, this is justified because it is performed manually, the problem is aggravated by being a mandatory requirement of the customer, generating a direct impact on traceability in benefit of control in the final product. To support the project, concepts of mechanical engineering, electropneumatic automation were applied, adding the principles of resistance of materials, reconciling the proposal to measure the results, in order to overcome the deficiency of the operation, instituting a procedure that includes the parameters and tolerances permissible, reflecting on the quality and full compliance with the user's specifications.

Keywords: Steel Plate Marking, Automation, Quality

1. Introdução

Na área industrial para garantir a qualidade e confiabilidade dos produtos, há um aumento das exigências no avanço das tecnologias (SILVA, 2011), e alinhado com os conceitos e habilidades adquiridos no curso de engenharia mecânica, para executar a automação de processos e produtos, este artigo unifica estes dois conceitos e disserta o estudo e a concepção de um dispositivo para marcação de chapas de aço carbono. As companhias em sua maioria utilizam estas marcações, para garantir a conformidade e o rastreio do produto ao longo da operação até o consumidor final.

Essa presente pesquisa foi desenvolvida visando atender à demanda de uma empresa situada na região metropolitana de Curitiba, cujo segmento está direcionado a fabricação de estruturas metálicas, e cujos principais clientes são indústrias petrolíferas, siderúrgicas e óleo e gás - nas quais o controle da qualidade total se faz premissa de contratação.

Sendo assim, a organização deve assegurar que os requisitos dos contratantes sejam atendidos.

O processo de corte e estampagem de rastreabilidade de chapas é a primeira operação que torna este controle possível, tendo início no recebimento do material em forma de bobina, variando de espessura entre $\frac{1}{4}$ " (6,30 mm) e $\frac{5}{8}$ " (15,87 mm), com uma largura padrão de 1200 mm, no qual a chapa depende de uma programação de produção para ser cortada. Ela se acopla na desbobinadeira, onde pode se obter diferentes comprimentos e por fim realiza-se o processo de estampagem da rastreabilidade, indicando o número da ordem de serviço (OS) junto com o número de registro (NR).

A execução da estampagem é um processo que gera gargalo, e isto ocorre em razão da atividade ser realizada de maneira manual. O operador deve delimitar uma linha a 100 mm de distância da extremidade inferior da chapa e outra idêntica na lateral direita, com o objetivo de delimitar a área de marcação. Na segunda etapa, o colaborador posiciona a punção sob a chapa com o auxílio de um alicate, e em seguida aplica uma força manual com o martelo, para o processo da gravação.

Com isso, há divergência de se obter o mesmo resultado, devido à rotatividade dos operadores, além da repetibilidade da atividade, que pode ser de até 50 vezes ao dia, sendo, portanto, inevitável a busca pela melhoria do processo. Como experimento, conduziu-se dois operadores a realizarem as marcações com algarismos distintos, com o intuito de comparar as teorias e hipóteses inicialmente levantadas, conforme Figura 1.



Figura 1 – Análise das Chapas

Fonte: os autores

As incongruências de marcação das chapas 1 e 2 são explícitas. Na chapa 1, observa-se a falta de perspicuidade na estampa, enquanto na chapa 2 os algarismos estão acentuadamente em nitidez. Não se pode pressupor que a gravação da chapa 1 encontra-se reprovada, pois a operação não possui um procedimento padrão que constate as tolerâncias de profundidade, bem como o que se enquadra como aceitável admitindo a interpretação subjetiva.

Dando ênfase nos impasses apresentados, o objetivo da presente pesquisa consiste em desenvolver um dispositivo eletropneumático para marcação em chapas de aço carbono. O projeto propõe padronizar as gravações, independente do operador, fixando a melhor aparência no produto final, redução de tempo do processo e por consequência elevar a produtividade. Para a realização deste equipamento se faz necessário estudar o comportamento dos materiais, projetar o dispositivo, detalhar os componentes, confeccionar peças, montar e testar a funcionalidade.

2. Fundamentação Teórica

Apresenta-se neste tópico, a delimitação do tema escolhido para o trabalho a partir dos

entendimentos relativos às áreas de engenharia, aplicado ao desenvolvimento do equipamento, baseado em conceitos de automação, eletropneumática e acerca da análise econômica do projeto.

2.1 Automação Industrial

A automatização de sistemas está em constante evolução, segundo Fialho (2006), conceitualmente pode ser classificado como uma organização de automatismos, que tem por finalidade formas de reduzir o esforço humano na execução de processos produtivos, gerando um impacto circunstancial no dia a dia fabril, reduzindo falhas, aumentando a garantia de qualidade e a potencialização da produtividade.

2.2 Máquinas de Prensagem

Prensas são definidas como equipamentos utilizados para a conformação e corte de materiais, seu método de acionamento é por meio do movimento da punção, oriundo de sistema pneumático ou hidráulico. São classificadas de acordo sua tipologia, capacidade de aplicação de força ou velocidade (FERNANDES, 2015). Estão inseridas na norma regulamentadora nº 12 do Ministério do Trabalho e Emprego regulamentada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, que define as medidas de proteção e prevenção, para assegurar a saúde e integridade física dos trabalhadores na utilização de máquinas e equipamentos.

2.3 Mecanismos Eletropneumáticos

A aplicação de sistemas eletropneumáticos possibilita a melhor funcionalidade para o controle do movimento e forças através da integração das técnicas de pneumática e elétrica, logo o uso amplia o ritmo de trabalho, permitindo otimizar operações. Existem diversas atribuições para a eletropneumática, como a automação de equipamentos por intermédio de comandos sequenciais, mecanismo para conformação, entre outras aplicações, onde se faz necessário empregar esforços repetitivos ou execução de alta taxa de periculosidade (STEWART, 2002).

2.3.1 Atuadores Pneumáticos

Os cilindros são exemplos de atuadores pneumáticos que geram forças de compressão, resultante da redução do fluido na direção axial da força aplicada, que depende da sua geometria (área do êmbolo e da vedação) e da pressão do ar atuante (FIALHO, 2006). O cilindro pneumático é constituído por um êmbolo e uma haste móvel, inclusos dentro de uma câmara fechada, no qual o ar pressurizado expande, exercendo força contrária ao êmbolo, à vista disso há deslocamento da haste, proporcionando movimentos e/ou forças de sistemas mecânicos (DJP AUTOMAÇÃO, 2020).

A flambagem nos cilindros pneumáticos, pode ser definida com o deslocamento lateral realizado pela flexão de uma força de compressão, em uma das extremidades do sentido axial (LOUREIRO, 2021). Para o cálculo de flambagem da haste, utiliza-se a equação de Euler, demonstrada na Eq.1 (BOTELHO, 2013).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

P_{cr} = carga crítica (N)

E = módulo de elasticidade (Pa)

L = comprimento da coluna (m)

II = menor momento de inércia da seção transversal (m^4)

Quando aplicada uma carga axial excessiva (P_{cr}) em um corpo, a coluna (haste do cilindro), não pode sofrer a deformação, ou seja, não ultrapassando o valor do módulo de elasticidade (E) (CALVO, 2014).

2.4 Resistência dos Materiais

A resistência dos materiais explora a reação de um corpo, quando submetido a cargas externas, relacionando-as com as forças internas (HIBBELER, 2018). A norma ASTM A36, caracteriza o aço carbono para aplicação em materiais estruturais, dentre seus parâmetros estão as propriedades químicas e mecânicas, o que necessariamente deve ser observado ao utilizar a norma. São considerados, como dúcteis e homogêneos, devido a taxa elevada entre os limites de resistência e escoamento, soldabilidade devido ao baixo percentual de carbono, suscetibilidades de corte a chama (ASTM,2005). Conforme a Tabela 1, estão representados todos os ensaios mecânicos pertinentes à norma ASTM A-36, que deverão estar contidos no certificado do material do aço A-36.

Tabela 1 – Norma A-36 para limites mecânicos

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

Fonte: ASTM (1997)

Os valores expressos na Tabela 1, são considerados as tolerâncias admissíveis perante a norma. Em contrapartida, os gravadores utilizados para a realização da marcação, são conceituados como um corpo não deformável, visto que irão atribuir o formato final na chapa estampada, o material utilizado para estas ferramentas seria o aço SAE 4140 com tratamento térmico (temperado e revenido), este aço é empregado em peças que necessitam de uma dureza elevada, alta resistência e tenacidade (ROCHA, 2004).

Na sequência das propriedades mecânicas da norma ASTM A-36, a tensão de escoamento, indica que o material resiste dentro da área elástica de deformação, se progredir deformando, o mesmo entrará na área plástica (CALLISTER,2002). Para calcular a tensão de escoamento utiliza-se a Equação 2:

$$\varphi_{esc} = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 2})$$

O valor limite da tensão escoamento (φ_{esc}), segundo a norma ASTM A-36 está em 250 MPa, conceitualmente a tensão mecânica, é a medida do arranjo de forças internas resistentes às cargas solicitantes, que se comporta de modo a possibilitar a movimentação, e delimitar a deformação em que o fenômeno está sendo propagado. A força (F) dada em Newton, é o valor da carga exercida pelo cilindro, sobre uma determinada pressão, e a área superficial (A), é definida pelo contato entre o marcador e a chapa (CALLISTER,2002).

3. Metodologia

Os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho dividem-se em

quatro fases, a saber: a) análise de mercado, para fundamentar os equipamentos existentes e aplicáveis ao projeto; b) testes de laboratório, conciliados com o embasamento teórico e os cálculos para amparar o modelo (protótipo) idealizado; c) o modelo do protótipo em si, e d) a fabricação e Montagem do Projeto do Protótipo.

3.1 Análise de Mercado

O baixo custo do *budget* para implantação da melhoria, faz com que a empresa assuma uma postura mais analítica, tendo em vista que o investimento, o menor que seja, deve ser pressentido como um desembolso, mesmo que faça com o principal propósito de promover uma projeção de benefícios futuros. Portanto, a escolha do melhor equipamento, baseia-se na averiguação de dados, vinculado com potencial de riscos ou viabilidades a serem exploradas.

Após a avaliação das particularidades do projeto, buscou-se por referências, a fim de embasar a análise do retorno do investimento. Sendo assim, foram consultados três fornecedores em busca de avaliar as possibilidades e custos existentes no mercado, mediante de um processo de cotação com lisura e idoneidade, para captar informações de diferentes modelos e métodos de estampagem/gravação, os valores obtidos nas cotações variam entre R\$ 32.000,00 a R\$ 260.000,00, que posteriormente serão comparados com o protótipo a ser desenvolvido.

3.2 Análise de Laboratório

Com a intenção de compreender e analisar os resultados em decorrência do processo produtivo, equiparou-se os algarismos das chapas citadas na Figura 1, através dos equipamentos de medição aferidos, onde utilizou-se o microscópio óptico modelo Tesa Visio e amplificou-se em quatro vezes a imagem da gravação, permitindo avaliar com maiores detalhes as diferenças entre as marcações, além das profundidades da marcação de ambas as chapas analisadas através do equipamento de medição de contorno CV-3000 (Figura 2).

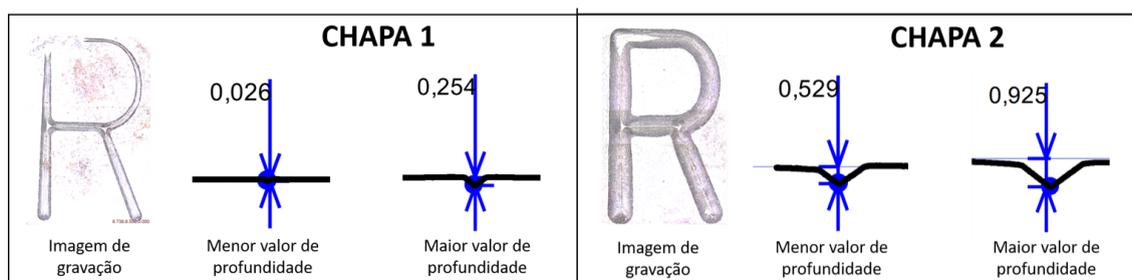


Figura 2 – Comparativo das chapas

Efetuando a análise de confronto dos resultados, na marcação executada sobre a chapa 1, observa-se a descontinuidade no aspecto da letra, este tipo de falha tem por potencial gerar divergência na compreensão ou visualização do algarismo, além da profundidade de marcação resultante de 0.026 mm a 0,254 mm, sendo a situação oposta do que ocorrido na chapa 2, onde a nitidez aparenta ser excessiva e a profundidade obtida de 0,529 mm a 0,925 mm. Por meio de ambas as análises, conclui-se como um processo indefinido, não havendo repetibilidade ou valores constantes, que possam ser definidos como os limites de variação aceitáveis.

3.3 Projeto do Protótipo

Para o dimensionamento do equipamento, se faz necessário realizar o cálculo da força a ser utilizada para a operação de prensagem, com o intuito de definir o modelo do cilindro

de trabalho que melhor se aplica para a operação e assegurar que não haverá a flambagem na haste durante a aplicação da carga, conforme premissas adotadas.

3.3.1 Cálculo da Área Útil, Força Utilizada Para Marcação e Flambagem da Haste

Com o objetivo de calcular a força necessária para a aplicação, se torna fundamental encontrar a área útil das punções a serem utilizados, por intermédio do microscópio óptico aferido, modelo Tesa Visio, realizou-se a medição dos algarismos (0 a 9), com o intuito de encontrar a maior área entre eles, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Área útil de marcação dos algarismos

Número	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Área (mm)	11,4	10,2	10,7	11,2	11,2	11,3	11,6	10,6	11,9	11,6

Fonte: Autores (2021)

Dentro da sequência numérica, para efetivar o cálculo, assumiu-se como padrão o algarismo “8”, por se tratar da maior área útil de marcação das punções (11,9 mm). Para obter-se a área total do processo de gravação, considera-se o número da ordem de serviço (4 dígitos) e juntamente com o número de registro (4 dígitos), totalizando 8 dígitos, se faz mandatório, realizar o produto da área do algarismo “8” pela quantidade a ser marcada, resultando em 95,2 mm².

Levando em consideração a tensão de escoamento do aço A-36 (250 MPa ou 250 N/mm²) e com a área de marcação determinada, é possível calcular a força necessária para efetuar o processo, conforme equação 2.

$$250 = \frac{F}{95,2} \quad 250 = \frac{F}{95,2} \quad (\text{Equação } 2)$$

$$F = 23800 \text{ N}$$

A força necessária para marcação é de 23800 N (2426,9 Kg), a fim de atender este requisito e com o objetivo de buscar o cilindro ideal para aplicação, foram analisados os atuadores disponíveis no mercado e suas respectivas forças de trabalho, concluindo que o cilindro de impacto atende às exigências do processo. A Tabela 3, apresenta a relação de pressão de trabalho com força exercida pelo cilindro.

Tabela 3 – Força de trabalho do cilindro de impacto

Força de impacto	
Pressão (Bar)	Impacto (Kg)
2,8	1700
3,5	2000
4,2	2400
4,9	2700
5,6	3000
6,3	3300
7	3600

Fonte: Adaptado pelos autores de Werk Shott Pneumática (2021)

O cilindro de impacto de diâmetro 100 mm, haste de 25 mm e curso máximo de 92 mm, sendo utilizado entre 63,5 mm e 73 mm do seu curso e trabalhando a 5,6 bar, exerce uma força linear de 3000 Kg, suficiente para realizar o processo de marcação.

Os sistemas mecânicos, quando submetidos a esforços, podem falhar, com isso, se faz

necessário calcular a flambagem da haste do cilindro, com o intuito de verificar se a haste suportará a força aplicada. O material do cilindro selecionado é aço SAE 1045, para este cálculo, considera-se o curso máximo de 92 mm, assim é possível calcular a carga crítica, conforme demonstra a equação 1:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot \left[\left(\frac{\pi \cdot 12,5^2}{4} \right) \cdot 12,5^2 \right]}{92^2}$$

$$P_{cr} = 4695407,819 \text{ N}$$

Para a coluna manter-se em equilíbrio estável é indispensável que a força produzida seja inferior a carga crítica, assim o cilindro de impacto trabalhando a 7 bar, produz uma força final de 3600 Kg (35303,94 N), inferior ao resultado obtido na flambagem da haste, a mesma não irá flambar na execução da estampagem.

3.3.2 Desenvolvimento do Projeto do Protótipo

O projeto propõe alteração no layout, inserindo o equipamento eletropneumático de marcação no OP. 30, conforme Figura 3, com necessidade de adequação do processo produtivo e acesso dos operadores, com atenção aos requisitos de segurança da NR-12.

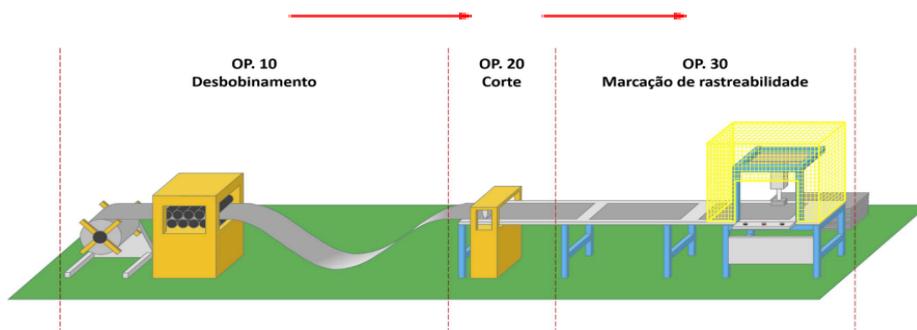


Figura 3 – Protótipo na linha de produção

Desta forma, o peso da chapa, mantém-se apoiado na estrutura da desbobinadeira, consequentemente, a carga da chapa será desprezada no cálculo do suporte estrutural do protótipo. A partir desta definição, instituiu-se o dimensionamento da mesa, de 1000 x 1000 mm, no qual a força atuante gerada pelo cilindro será aplicada no centro da mesa, considerada de 35 KN, equivalente a carga máxima, quando o atuador está sujeito a uma pressão de trabalho de 7 bar. Com o dimensionamento da mesa, é possível realizar o cálculo de momento fletor máximo, conforme equação Eq. 3 (HIBBELER, 2018):

$$M_{mx} = F \cdot d \quad M_{mx} = F \cdot d \quad \text{(Eq. 3)}$$

Sendo:

M_{mx} = Momento fletor máximo (N.m)

F = Força (KN)

d = Distância da força até o eixo fixo (m)

$$M_{mx} \quad M_{mx} = 17,5 \cdot 10^3 \cdot 0,5$$

$$M_{mx} \quad M_{mx} = 8,75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para especificação do material do suporte do equipamento, determinou-se a utilização do perfil W. O momento fletor a ser considerado deve ser o de solicitante para cálculo Msd

(KN.m), é o produto da multiplicação do momento fletor máximo M_{\max} (KN.m), pelo fator de 1,4 determinado pela Norma NBR 8800:2008, resultando no valor de 12,25 KN.m (120 tf.cm). O momento fletor solicitante (M_{sd}) deve ser equilibrado ou menor que o momento fletor resistente (M_{rd}), para o dimensionamento das barras submetidas a força (NBR 8800,2008).

$$M_{rd} = \frac{W_x \cdot F_y}{Y_{a1}} M_{rd} = \frac{W_x \cdot F_y}{Y_{a1}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo:

M_{rd} = Momento fletor resistente (tf.cm)

W_x = Resistência a deformação (cm^3)

Y_{a1} = Fator de redução resistência do perfil

F_y = Tensão de escoamento (tf/cm^2)

Para determinar o perfil W, é mandatório encontrar o valor da resistência à deformação no momento de inércia da seção em X, considerando que a tensão de escoamento máxima do perfil é de 345 MPa, de acordo com a norma do material ASTM 572 - Grau 50, transforme-se a unidade para tf/cm^2 . O fator de redução resistência do perfil (Y_{a1}) é de acordo com a NBR 8800:2008.

$$120 = \frac{W_x \cdot 3,515}{1,1}$$

$$W_x = 37,56 \text{ cm}^3$$

3.3.3 Materiais Estruturais

De acordo com o catálogo Perfis Estruturais da Gerdau - Tabela de Bitolas, o material mais indicado seria o perfil W 150X13, com uma resistência a deformação de $85,3 \text{ cm}^3$, para otimizar custos no projeto, utilizou-se como padrão o mesmo perfil para as demais peças estruturais. A especificação da altura padrão de 750 mm da mesa, está fundamentada de acordo com a NR 17 - Ergonomia, que visa o bem-estar do colaborador. E para aumentar a confiabilidade do processo de gravação, especificou-se o *error proofing*, no formato de “L”, que garante o posicionamento correto da área de marcação de 100 mm do inferior e 100 mm da lateral da chapa.

Ainda dentro das definições do protótipo, incluiu-se como padrão a utilização do punção numérico do fabricante Witzke, no qual será acoplado em um sistema “peso” (Figura 4), adotando um sistema de *poka yoke*, que facilita a troca, quando necessário. A peça será montada na extremidade da haste do cilindro e contribuirá para a distribuição da força aplicada durante o processo de marcação.



Figura 4 – Punções e suporte dos punções

3.3.4 Automação Eletropneumática

Com a delimitação da parte estrutural concluída, projetou-se através do software fluidsims, o sistema eletropneumático adotado para o funcionamento do dispositivo (Figura 5), composto por eletroválvulas, botões, sensores, contatores e um cilindro de dupla ação com função de atuador.

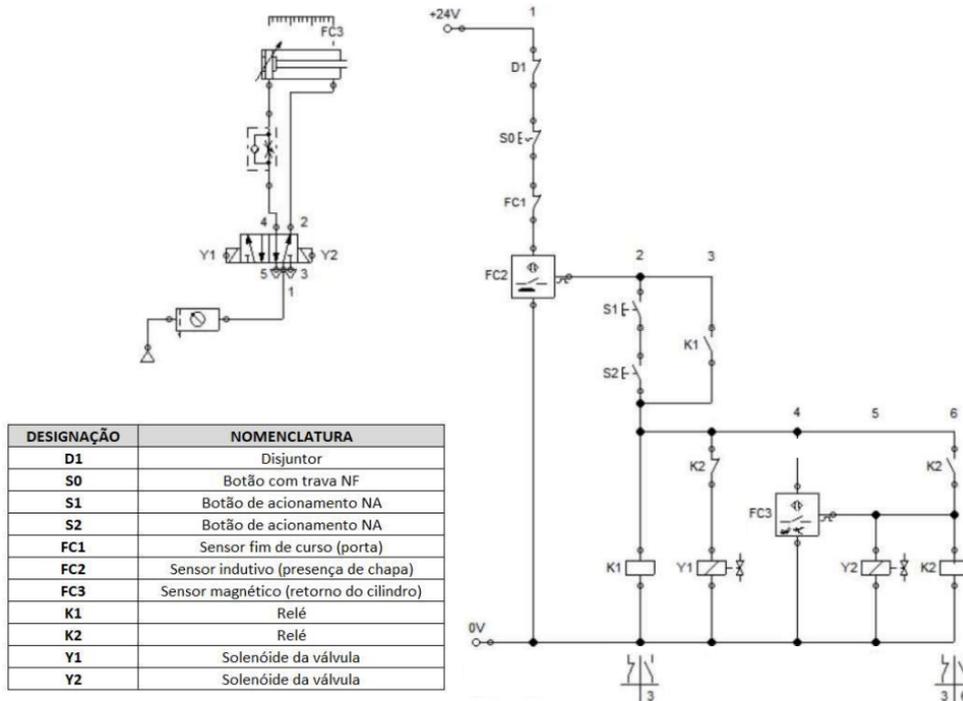


Figura 5 – Sistema Eletropneumático

3.3.5 Desenho do Projeto do Protótipo

Para finalizar o projeto, o modelo foi desenvolvido no software Solidworks, no qual adaptou-se a proposta aos requisitos da norma NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Utilizou-se de um sistema de acionamento bimanual e enclausuramento da zona de prensagem, delimitando o acesso do operador durante a execução da atividade, evitando possíveis acidentes de trabalho (Figura 6).

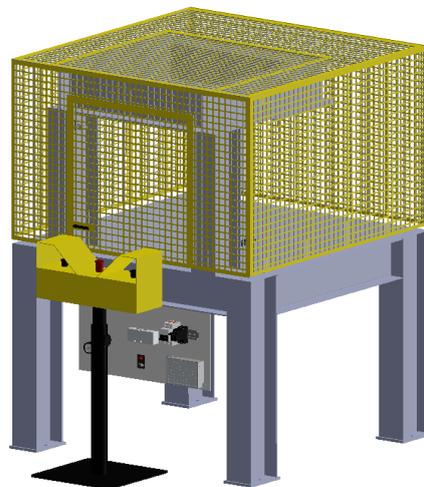


Figura 6 – Dispositivo de marcação
Fonte: os autores (2021).

3.4 Fabricação e Montagem do Projeto do Protótipo

Com a definição do projeto, iniciou-se o processo de fabricação e montagem do protótipo, primeiramente pelo corte e usinagem da matéria-prima, posteriormente as peças transcorreram para a soldagem, utilizando o processo MIG, realizando assim a pré-montagem do dispositivo. Dando sequência na fabricação do equipamento, ocorreu o processo de pintura das peças e por fim a montagem do sistema eletropneumático, com ajustes finais, necessários para que o equipamento se encontre em plenas condições de funcionamento.

4. Resultados

4.1 Teste de Funcionalidade

Com a intenção de atestar as condições estruturais calculadas, usou-se o software Ansys, através do método de elementos finitos.

A simulação tem a finalidade de verificar o comportamento do protótipo ao receber o impacto, proveniente da força de 35kN, gerados pelo cilindro, na posição onde as punções irão marcar a chapa. O software busca a vida infinita, onde quantifica isso em um milhão de ciclos. Assim foi realizado o ensaio de fadiga, representado pela Figura 7.

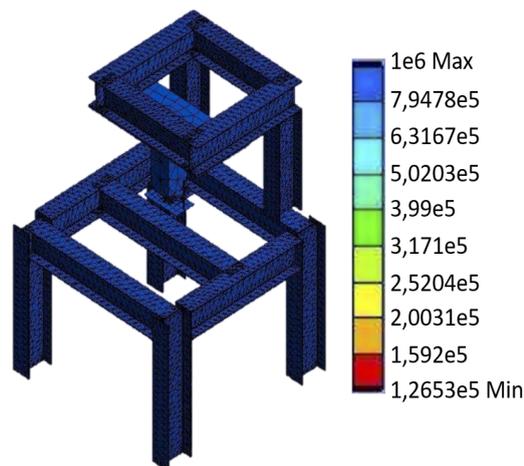


Figura 7 – Ensaio de Fadiga do Dispositivo
Fonte: os autores (2021).

Quando avaliado o ensaio de fadiga, no qual representa o número de ciclos que o protótipo irá suportar, demonstrando pelo entorno da área em azul, conclui-se que o dispositivo está coerente com a aplicação, pois evidência que o dispositivo sofrerá um milhão de ciclos sem sofrer alterações na estrutura.

4.2 Padronização do Processo

Com o equipamento operacional, executou-se os primeiros testes de gravação, com a intenção de determinar o padrão de profundidade. Os limites das tolerâncias, foram embasados em conformidade com a operação da pintura, que totaliza 0,3 mm de espessura, sendo assim esta é a profundidade mínima de marcação exigida. Para determinação da especificação de processo, considerou-se as medidas resultantes do processo de gravação, conforme resultados obtidos na figura 8.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Medição (mm)	0,515	0,463	0,566	0,578	0,485	0,477	0,501	0,482	0,555	0,495	0,503	0,459	0,444	0,569	0,530	0,433	0,474	0,466	0,455	0,560	0,533	0,444	0,524	0,587	0,489	0,503	0,524	0,441	0,508	0,565
Máximo	0,587																													
Média	0,504																													
Mínimo	0,433																													

Figura 8 – Análise de profundidade de marcação
 Fonte: os autores (2021).

Foram levados em consideração os valores da média, mínimo e máximo obtidos, regressando ao limite de especificação de 0,5 mm, com a tolerância de ± 0,1 mm. Outro dado a ser averiguado, é o impacto provocado na profundidade, decorrente da variação da pressão de trabalho do cilindro, por meio do experimento, utilizou-se de dez peças para cada pressão pré-setada, para atingir a média de gravação, em um range de 1,0 a 7,0 bar, os resultados obtidos estão representados na figura 9.

Pressão (bar)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	
Profundidade de marcação/peça (mm)	1	0,070	0,125	0,177	0,238	0,272	0,342	0,386	0,419	0,466	0,492	0,522	0,584	0,627
	2	0,061	0,137	0,159	0,215	0,264	0,359	0,375	0,416	0,458	0,498	0,517	0,582	0,618
	3	0,066	0,121	0,172	0,237	0,270	0,333	0,375	0,404	0,455	0,500	0,521	0,580	0,621
	4	0,055	0,118	0,181	0,206	0,286	0,324	0,375	0,408	0,475	0,499	0,532	0,583	0,630
	5	0,061	0,145	0,148	0,215	0,284	0,351	0,368	0,425	0,469	0,492	0,550	0,588	0,629
	6	0,052	0,136	0,156	0,245	0,262	0,347	0,362	0,432	0,452	0,510	0,536	0,580	0,629
	7	0,076	0,113	0,156	0,249	0,288	0,329	0,375	0,429	0,465	0,503	0,547	0,587	0,627
	8	0,052	0,105	0,163	0,235	0,291	0,304	0,389	0,423	0,472	0,505	0,544	0,585	0,622
	9	0,077	0,121	0,155	0,238	0,277	0,312	0,367	0,411	0,474	0,493	0,525	0,581	0,625
	10	0,068	0,103	0,175	0,223	0,289	0,321	0,381	0,413	0,467	0,492	0,529	0,595	0,614
Média	0,064	0,122	0,164	0,230	0,278	0,332	0,375	0,418	0,465	0,498	0,532	0,585	0,624	

Figura 9 – Profundidade de marcação resultante da pressão de trabalho
 Fonte: os autores (2021).

Através dos resultados, pode-se concluir que o equipamento deve ser operado em uma pressão entre 4,5 e 6,5 bar, para manter o padrão de estampagem. A Figura 10 evidencia o modelo classificado como o ideal do padrão de processo, que comprova-se a partir das medições efetuadas por equipamentos aferidos.

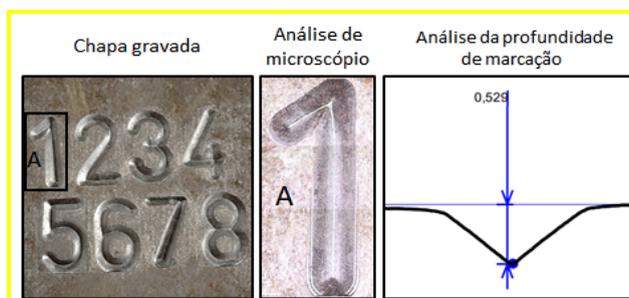


Figura 10 – Padrão de Estampagem
 Fonte: os autores (2021).

Como parte da pesquisa aplicada, os algarismos numéricos gravados foram apresentados a empresa em questão para aprovação do procedimento a ser adotado, levando em consideração o padrão visual realizado no microscópio devido reproduzir todo o contorno, e a profundidade da marcação estar nas tolerâncias para que não haja deformação da chapa.

5. Considerações Finais

Visando os problemas decorrentes das divergências das marcações de rastreabilidade das chapas, o estudo e desenvolvimento do dispositivo apresentado apresentou um desfecho satisfatório, visto que o projeto atende a curto prazo todas as expectativas propostas pela

empresa, de modo que o processo se converte de manual e para eletromecânico. A impermanência da operação de gravação da rastreabilidade, dá a vez a um processo estável, com redução de tempo de produtividade, padronização dos parâmetros e tolerâncias da estampa, complementando a qualidade do produto, repercutindo no atendimento dos requisitos da demanda da empresa e de seus clientes.

De posse dos custos originados, que resultou em aproximadamente R\$ 13.000,00, das verificações e comparações entre a análise de mercado, constatou-se que, do ponto de vista da viabilidade econômica do projeto, a melhor escolha foi efetivamente optar pelo desenvolvimento. A elaboração do protótipo contribuiu para a compreensão teórica e prática empregadas na engenharia mecânica. Recomenda-se o monitoramento da implantação do dispositivo junto à linha de produção, a fim de assegurar todos os resultados de repetibilidade obtidos. Estão previstas como ações e estudos futuros a estabilização do processo junto à empresa, a expansão de novas melhorias na automatização do projeto, a implementação definitiva no processo e pesquisa de satisfação dos clientes, conferindo o aperfeiçoamento do desempenho produtivo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.* Rio de Janeiro, 2008.

ASTM – American Society for Testing Materials. *ASTM A 36/ A 36M - Standard Specification for Carbon Structural Steel.* In: Annual Book of ASTM Standards, 2005.

BOTELHO, M. H. C. *Resistência dos Materiais para Entender e Gostar.* 2.º Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013.

CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.* John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CALVO, C. *Cargas, ações, solicitações e combinações de ações.* Apresentação. 2014. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1851503/>. Acesso em: 26 maio 2021.

DJP AUTOMAÇÃO. *Cilindro Pneumático.* Artigo. 2020. Disponível em: <https://djpaotomacao.com/cilindro-pneumatico/>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

FERNANDES, N. J. N. *Estudo da utilização das prensas no processo produtivo e os riscos inerentes à saúde do trabalhador.* 2015.47f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – UniRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015.

FIALHO, A. B. *Automação Pneumática: projetos, dimensionamentos e análise de circuitos.* 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 2006.

GERDAU. *Tabela de Bitolas. Catálogo.* 2019. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/download/file/340?download=340&origin=bim>. Acesso em: 17 de outubro de 2021.

HIBBELER, R.C. *Resistência dos Materiais,* 10.º Ed., Editora Pearson, 2018.

LOUREIRO, M. *Fundamentos da Pneumática III.* Apostila. 2021. Disponível em: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/pneumatica/fundamentos3.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Portaria nº 916 de 30 de julho de 2019. NR-12 Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Portaria nº 3.751 de 23 de novembro de 1990. NR 17 – Ergonomia.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

ROCHA, M. A. C. SOUTO, S. M. T.; PENHA, M. C. F.; PARDAL, J. M. FLORIDO, V. T.; *Análise das propriedades Mecânicas do aço SAE 4140 com estrutura Bifásica.* 2004. Artigo. (Dissertação de Mestrado). UFF – Universidade Federal Fluminense. Niterói –RJ. 2004.

SILVA, E. C. N. da. *Aplicação de NURBS em MMCs, com apalpador touch trigger, para escaneamento de superfícies de formas livres e geometrias complexas.* Tese (Doutorado) — Universidade Federal da Paraíba, março 2011.

STEWART, H. L. *Pneumática & Hidráulica.* 3. Ed. São Paulo: Hemus. Editora Limitada, 2002.

WERK-SCHOTT. *Cilindros Pneumáticos Catálogo 0104.* Catálogo. 2021. Disponível em: <<https://www.werk-schott.com.br/catalogos>>. Acesso em: 17 de outubro de 2021.