

Adequação de uma prensa mecânica excêntrica com freio-embreagem à Norma Regulamentadora No. 12

Giovani Giacomini Balbinot
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande Do Sul - IFRS
Av. São Vicente, 785,
Farroupilha, RS, Brasil
Email: gg.balbinot@gmail.com

Gustavo Künzel
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande Do Sul - IFRS
Av. São Vicente, 785,
Farroupilha, RS, Brasil
Email: gustavo.kunzel@farroupilha.ifrs.edu.br

Resumo—Os acidentes de trabalho acontecem frequentemente nas indústrias. Para diminuir a ocorrência destes, evitando doenças do trabalho e propiciando segurança aos trabalhadores, foi criada a Norma Regulamentadora No. 12. Diante da necessidade de respeitar essas determinações do Ministério do Trabalho, o presente trabalho demonstra a adequação de uma prensa mecânica excêntrica com freio-embreagem à Norma. Especificamente, revisa suas determinações, com enfoque em aplicações para o trabalho à quente. Foram determinados os componentes necessários para o projeto de adequação e sua implementação na máquina, junto com as proteções de segurança. Por fim, é apresentado um sistema supervisorio desenvolvido para monitorar o status da prensa e coletar os dados da produção. A validação do sistema ocorreu através de testes, onde foram coletados dados apresentados no sistema supervisorio. Por fim, verificou-se que o projeto atendeu aos requisitos necessários para garantir o funcionamento da prensa e a segurança das operações.

Palavras-chave—NR-12, segurança, prensa.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, entre os anos de 2012 a 2021, foram registrados 6,2 milhões de Comunicações de Acidente de Trabalho (CATs). Dentre esses, 15% são causados pela operação de máquinas e equipamentos, conforme dados divulgados pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) [1]. Esses números podem ser reduzidos com adequações que atendem às exigências da Norma Regulamentadora No. 12 (NR-12).

Essa norma, publicada em 1978, determina os requisitos para segurança dos trabalhadores em prol de prevenir acidentes e doenças do trabalho [2]. Ao longo dos anos, suas exigências foram aprimoradas. Em 2010, foi incluído o Anexo VIII que trata da adequação de prensas e similares. As prensas são utilizadas para conformação, corte e furação de materiais em diferentes setores. A vida útil desse maquinário é longa em razão de sua robustez. Logo são encontradas prensas antigas em parques fabris, as quais, em sua maioria, não atendem à NR-12.

A necessidade de adequar as prensas é uma realidade de diversas empresas. Entre elas, nas metalúrgicas, onde foi realizado este estudo. Nestas empresas, as prensas são indispensáveis para a transformação da matéria prima em peças para implementos agrícolas, por exemplo. A escolha da prensa se deu pelo cronograma de adequação da empresa onde este

trabalho foi desenvolvido, o qual busca cumprir um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) do Ministério Público do Trabalho (MPT).

Diante desse cenário, para trazer segurança ao operador desse equipamento e cumprir as exigências do MPT, o presente trabalho realiza um estudo sobre a adequação de uma prensa à NR-12, especificamente: (a) foram revisadas as determinações da NR-12, com enfoque para prensa excêntrica com freio-embreagem utilizada em trabalho a quente; (b) foram determinados os componentes necessários para o projeto de adequação; (c) foi descrito o processo de montagem dos componentes e das proteções de segurança na prensa; e (d) foi desenvolvido um sistema supervisorio para monitorar o status da prensa e coletar dados da produção.

Inicialmente, na seção II é realizada uma fundamentação teórica sobre a NR-12. Na seção III é abordado o projeto conforme as exigências da norma regulamentadora e alguns recursos para o controle do processo, entre eles o supervisorio. Enquanto na seção IV é descrito a implementação dos resultados, a qual apresenta a escolha dos componentes de *hardware*, sua montagem, bem como os dados e resultados no supervisorio. Por fim, é realizada a conclusão dos resultados obtidos.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será realizada uma descrição geral e os principais requisitos da NR-12 para a adequação de prensas e similares, bem como será apresentado o funcionamento básico da máquina.

A. NR-12

A Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT) [3], em seus artigos 184, 185 e 186, determina a necessidade de adotar dispositivos de segurança para prevenir acidentes de trabalho, estabelecendo a necessidade do Ministério do Trabalho definir normas adicionais a respeito de proteção e medidas de segurança na utilização de máquinas e equipamentos. Para regulamentar o que foi estabelecido na legislação trabalhista, em 1978, a Portaria do Ministério do Trabalho (MTb n. 3.214) aprovou, dentre outras, a Norma Regulamentadora NR-12 – Máquinas e Equipamentos [2].

Essa Norma Regulamentadora (NR) visa preservar a saúde e a integridade física dos trabalhadores, prevenir acidentes e doenças laborais ao determinar referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção no projeto e utilização de máquinas e equipamentos, o que deve ser observado em toda a cadeia, desde a fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título. A observância da NR-12 deve estar atrelada às outras Normas Regulamentadoras estabelecidas na Portaria MTb n.º 3.214, nas normas técnicas oficiais ou normas internacionais acerca do tema; caso haja omissão, faculta-se o respeito às normas Europeias tipo “C” harmonizadas.

A NR-12 determina uma série de aspectos da adequação de máquinas e equipamentos. Especifica, inclusive, os requisitos de determinadas máquinas. Dentre estas, destacam-se os principais aspectos das prensas e similares abordadas no Anexo VIII da norma.

B. Prensas e similares (Anexo VIII)

As prensas, segundo o conceito da norma no item 1, “são máquinas utilizadas na conformação e corte de materiais diversos, utilizando ferramentas”. Nestas, o martelo movimentado-se por meio de um sistema hidráulico, pneumático ou mecânico, no qual o movimento rotativo se modifica em linear através de um sistema de bielas, manivelas, conjunto de alavancas ou fusos.

A Norma, em seu item 1.3, conceitua ferramentas, ferramental, estampos ou matrizes (Fig. 1b) como “elementos que são fixados no martelo e na mesa das prensas e similares, com função de corte ou conformação de materiais”. Esses dispositivos podem aderir aos sistemas de alimentação ou extração – meios utilizados para introdução da matéria prima e retirada da peça processada da matriz – os quais podem ser, segundo especificado no item 1.4: manuais; por gaveta; por bandeja rotativa ou tambor de revólver; por gravidade, qualquer que seja o meio de extração; por mão mecânica; por robôs; contínuos - alimentadores automáticos; e outros sistemas não relacionados neste subitem.

C. Requisitos de segurança para prensas

Na sequência do Anexo VIII da norma, em seu item 2.1, são abordados os requisitos de segurança para prensas, inicialmente são determinados os sistemas de segurança permitidos nas zonas de prensagem (Fig. 1a) ou trabalho, quais sejam, conforme descrito na Norma:

- Enclausuramento da zona de prensagem, com frestas ou passagens que não permitam o ingresso dos dedos e mãos nas zonas de perigo, conforme subitem 12.5.1.1 desta NR, devendo ser constituídos de proteções fixas ou móveis dotadas de intertravamento, conforme item 12.5 - Sistemas de Segurança e seus subitens;
- Ferramenta fechada, que significa o enclausuramento do par de ferramentas, com frestas ou passagens que não permitam o ingresso dos dedos e mãos nas zonas de perigo, conforme subitem 12.5.1.1 desta NR;

- Cortina de luz com redundância e autoteste, tipo 4, conforme norma IEC 61496- 1:2006, monitorada por interface de segurança, dimensionada e instalada, conforme item A, do Anexo I, desta NR e normas técnicas oficiais vigentes, conjugada com dispositivo de acionamento bimanual, atendidas as disposições dos subitens 12.4.3, 12.4.4, 12.4.5 e 12.4.6 desta NR.

As determinações relacionadas à zona de prensagem estão apontadas nos itens 2.1.1 a 2.1.4, do anexo VIII, da NR-12, são elas:

- Havendo possibilidade de acesso a zonas de perigo não supervisionadas pelas cortinas de luz, devem existir proteções móveis dotadas de intertravamento ou fixas;
- O número de dispositivos de acionamento bimanuais deve corresponder ao número de operadores na máquina;
- O sistema de intertravamento das proteções móveis devem ser classificados como categoria 4, conforme a norma ABNT NBR 14153;
- A proteção frontal deve ser dimensionada e construída de modo a impedir que a projeção de material oriundo do processo venha a atingir o operador;

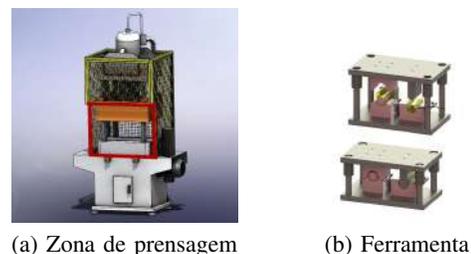


Figura 1: Demarcação da zona de prensagem e um exemplo de ferramenta [4] [5].

A categoria tipo 4, exigida pela norma NR-12 para a cortina de luz mencionada e também para outros componentes de segurança abordados a seguir, é a classificação mais alta de segurança da norma ABNT NBR 14153. Ela determina que os comandos de segurança sejam projetados para não perder a sua eficácia independente de qualquer falha; ainda, em caso de falha, esta deve ser detectada antes ou durante a próxima atuação de segurança. A Fig.2 abaixo demonstra uma cortina de luz e um dispositivo de acionamento bimanual em conformidade com a Norma.

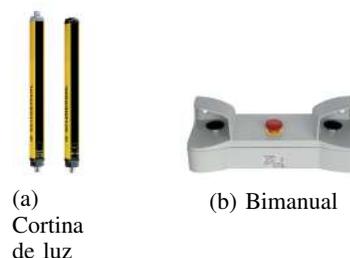


Figura 2: Componentes de segurança relacionados com a zona de prensagem [6] [7].

A NR-12, no anexo VIII, no item 2.4, prescreve um item necessário para utilizar com prensas mecânicas excêntricas com freio-embreagem pneumático e prensas pneumáticas, qual seja, a válvula de segurança (Fig. 3). Esse dispositivo realiza o controle de acionamento da máquina, o qual deve ser classificado conforme categoria 4, seguir o padrão da norma técnica vigente e conter os requisitos apresentados abaixo:

- Válvula de segurança só pode voltar a condição de operação após a falha se houver acionamento do *reset* (rearme), esse deve estar incorporado à válvula ou estar em um atuador externo localizado em local seguro;
- Em modelos de válvulas de segurança que utilizam monitoramento dinâmico por pressostato externo, esse deve ser monitorado por sistema classificado como categoria 4;
- Os silenciadores de escape a serem utilizados nas válvulas de segurança devem ser seguros a ponto de não gerar entupimento com passagem livre inferior ao diâmetro nominal da válvula;



Figura 3: Válvula de segurança categoria 4 [8].

No item 2.7 do anexo VIII, a NR-12 torna obrigatório a existência de dispositivos de parada de emergência visando assegurar a paralisação de qualquer movimento da prensa, de forma segura. A Fig. 4 demonstra um exemplo de dispositivo de parada de emergência que é o botão de emergência tipo cogumelo.



Figura 4: Botão de emergência [9].

Os dispositivos de parada de emergência devem atender os seguintes requisitos:

- O sistema de parada de emergência deve estar interligado com todos os equipamentos relacionados à máquina externos a mesma, como por exemplo: alimentadores automáticos, braços robóticos, entre outros mecanismos de interação;
- Quando o dispositivo bimanual é conectado por plugue, deve haver um dispositivo de parada de emergência no bimanual e outro na máquina;
- Caso houver mais de um dispositivo bimanual, seus respectivos dispositivos de parada de emergência devem estar conectados seguindo os termos da NR-12;

Na sequência, a NR-12, no item 2.8 do anexo mencionado, determinada que “a posição do martelo deve ser monitorada por sinais elétricos produzidos por equipamento acoplado mecanicamente ao eixo da máquina” no caso de prensas mecânicas excêntricas com freio-embreagem, com zona de prensagem não enclausurada por proteção fixa, proteções móveis com intertravamento com bloqueio ou cujas ferramentas não sejam fechadas. Segue na Fig. 5 um exemplo de mecanismo de monitoração da posição do martelo.



Figura 5: Mecanismo de comutação com pontos de comutação de segurança [10].

A norma, ainda define a posição do martelo como Ponto Morto Inferior (PMI) e Ponto Morto Superior (PMS).

Na sequência, a NR-12 determina sobre os sinais elétricos, que “devem ser gerados por chaves de segurança com duplo canal e ruptura positiva, monitoradas por interface de segurança classificado como categoria 4 conforme a norma ABNT NBR 14153”. O uso da cortina de luz na zona de prensagem é proibido em prensas que não seja possível assegurar a parada segura do martelo em razão de sua velocidade e do tempo de resposta da máquina, devendo a zona de prensagem ser protegida com proteções fixas e móveis com intertravamento e bloqueio, conforme determina o item 2.8.2 da NR-12.

Sobre pedais de segurança especifica-se o contido na Norma no seu anexo VIII, item 2.9, para forjamento a quente, “podem ser utilizados pedais, sem a exigência de enclausuramento da face de alimentação da zona de prensagem, desde que sejam adotadas medidas de proteção que garantam o distanciamento do trabalhador das áreas de risco”. Os pedais podem ser de atuação elétrica, pneumática ou hidráulica, eles também devem ser acessados por uma única direção do pé para evitar acionamentos acidentais, além disso a quantidade necessária deve corresponder ao número de operadores da máquina. Pedais de ativação mecânica ou até mesmo alavancas são proibidos de serem utilizados, A Fig. 6 apresenta um pedal de segurança categoria 4 de acionamento elétrico.



Figura 6: Pedal de segurança com botão de rearme [11].

Todos os mecanismos das prensas, tanto com movimentos rotativos quanto lineares, devem ser protegidos conforme especificado no item 12.5 da norma NR-12 – que aborda uma série de requisitos sobre os sistemas de segurança. Alguns exemplos desses mecanismos são: volantes, polias, correias, engrenagens entre outros. Na Fig. 7, é representado, em laranja, um modelo de proteção de volante e sistema de transmissão por correias.



Figura 7: Proteção de volante [12].

No item 2.11, do anexo VIII, da NR-12 são abordados os mecanismos de retenção mecânica, que devem ser utilizados quando a prensa tem operação de movimento no sentido vertical de trabalho. Esses mecanismos de retenção mecânica, mais conhecidos como calços, podem ser de diversos tamanhos e ter regulagem, como exemplos da Fig. 8. Por exigência da norma, os calços devem:

- Possuir intertravamento monitorado por interface de segurança, de forma a impedir, durante a sua utilização, o funcionamento da prensa;
- Garantir a retenção mecânica nas posições de parada do martelo;
- Ser projetado e construído de modo a garantir resistência à força estática exercida pelo peso total do conjunto móvel a ser sustentado e que impeça sua projeção ou sua simples soltura.



Figura 8: Calço de segurança [13].

D. Especificações da prensa

Referente à prensas mecânicas excêntricas com freio-embreagem encontra-se diversos modelos, a prensa alvo desse

estudo tem seu corpo em forma de “C”, com transmissão do volante para o eixo excêntrico por meio de redução por engrenagens, a mesa é fixa e a operação é vertical. Na Fig. 9 retirada da ABNT NBR 13930, temos uma representação de uma prensa sem as proteções de segurança, com seus itens mecânicos enumerados.

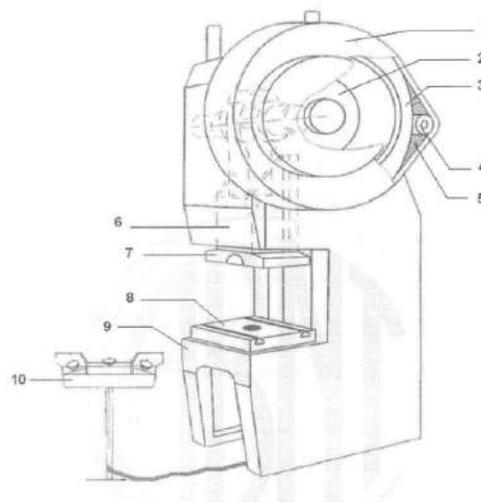


Figura 9: Mecânica da máquina.

São descritos a seguir os componentes mecânicos da máquina: 1) proteção da embreagem; 2) freio-embreagem; 3) volante; 4) polia do motor; 5) correias; 6) martelo; 7) placa do martelo para fixação da ferramenta; 8) placa da mesa; 9) mesa; 10) púlpito de comando bimanual.

O volante, movimentado por um motor elétrico, está apoiado na extremidade de um eixo, ligado a um sistema de freio/embreagem. Em sua outra extremidade o eixo está fixado em um conjunto de engrenagem que movimentam uma bucha excêntrica, alojada em uma biela, responsável pela transformação do movimento rotativo em movimento linear.

Quando a válvula de segurança é acionada, o ar comprimido faz uma comutação no sistema freio-embreagem soltando o freio e simultaneamente acoplando a embreagem, transformando assim o movimento de rotação do eixo excêntrico em movimento linear fazendo o martelo descer e subir. Após a finalização do ciclo, o ar comprimido é liberado do freio-embreagem, retornando assim pelas molas do sistema ao seu estado originário que é freado.

Na Fig. 10 retirada do manual do fabricante, é apresentado um conjunto eixo excêntrico, biela e martelo o qual representa a capacidade da prensa conforme sua angulação. A capacidade nominal da prensa estipulada pelo fabricante se encontra a 30 graus do ponto morto inferior. Matematicamente, a máquina pode atingir uma força superior a nominal no ponto mais baixo do martelo, questão essa que deve ser levada em conta em sua utilização para não gerar o travamento da prensa e não correr o risco de haver projeção de materiais por ruptura.

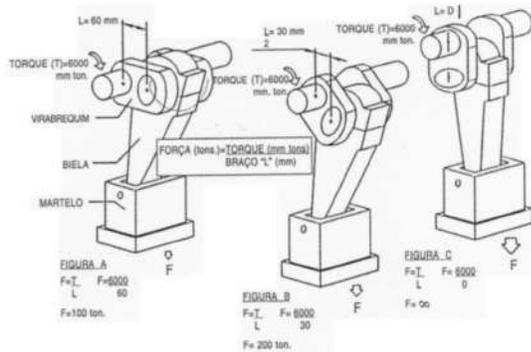


Figura 10: Sistema excêntrico acoplado ao martelo [14].

III. PROPOSTA

Nesta seção é abordado o funcionamento, a forma de utilização, os requisitos de segurança determinados pela NR-12 e os dispositivos de controle e automação de uma prensa mecânica excêntrica com freio embreagem. Além disso, é pontuada a construção do supervisório, o qual foi realizado na segunda etapa do presente trabalho. A máquina a ser adequada pertence a uma empresa metalúrgica que fabrica peças para implementos agrícolas. O parque fabril dessa empresa tem uma série de máquinas em processo de adequação à NR-12, entre elas a prensa objeto desse trabalho.

A. Prensa excêntrica

A máquina escolhida para realizar este trabalho foi uma prensa mecânica excêntrica com freio embreagem da marca Jundiaí. Essa prensa é uma TCI de 320T, tipo C, que é o formato mecânico da máquina sem colunas nas laterais da zona de prensagem.

A prensa tem um sistema de alimentação manual, é operada por um único funcionário com tenazes para alimentar e extrair as peças em razão do trabalho a quente, entre 750 e 1000 °C. Na máquina são realizadas operações de moldagem, como no parafuso para suporte demonstrado na Fig. 11a, e furação, como feito no suporte para roçadeira exposto na Fig. 11b. Essa máquina foi fabricada no ano de 1997, logo portava sistemas de controle originais.

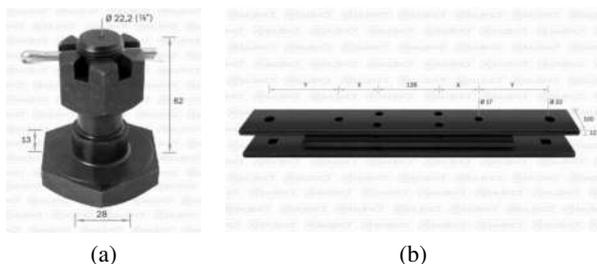


Figura 11: Produtos forjados na prensa [15].

B. Levantamento de requisitos

São relatados, a seguir, os requisitos específicos da NR-12 ao modelo de prensa escolhido.

1) *Ferramentas*: Para atender as determinações da norma, a adequação desenvolvida incorpora proteções laterais móveis de policarbonato com intertravamento sem abertura de acesso e proteção frontal com abertura de alimentação, que foi composta por mecanismo de fechamento automático. Portanto, não haverá risco de projeção de materiais provenientes da ferramenta.

2) *Sistemas de alimentação*: Na prensa, são utilizadas tenazes próprias para o processo a quente (Fig. 12). As tenazes são longas de forma a impedir a colocação das mãos e outras partes do corpo no invólucro de prensagem, sendo assim projetadas para não gerar riscos de queimaduras. Em virtude da inserção e a extração da peça ser de forma manual, essa máquina fica isenta dos tópicos tratados na NR-12 para sistemas de alimentação automáticos e ou mecanizados.



Figura 12: Tenaz para manuseio de peças a quente.

3) *Zona de prensagem*: A zona de prensagem deve ser tratada com cautela, visando a segurança do operador, pois é o local com maior risco de acidentes quando a máquina está em operação. Diante das limitações do processo, foi utilizado o sistema de segurança de enclausuramento da zona de prensagem, tendo apenas aberturas que não possibilitem o ingresso de dedos e mãos na zona de risco, conforme subitem 12.5.1.1 da NR-12. Na adequação desenvolvida, a zona de prensagem tem 3 portas móveis dotadas de intertravamento com controle por CLP (Controlador Lógico Programável) de segurança, duplo canal (redundância de sinal) categorizado tipo 4, sendo duas proteções laterais para inibir a projeção de materiais no operador. Na parte frontal, a proteção foi dividida em duas partes horizontais conforme Fig. 13, sendo: (i) a parte superior fechada com tela e (ii) a parte inferior, que possui abertura para inserção da peça, na qual foi desenvolvido um mecanismo de fechamento automático para ser acionado antes da operação da prensa.

O mecanismo automático é composto por uma chapa de policarbonato, que através do acionamento de dois cilindros, fará o fechamento completo da abertura mínima da porta frontal, eliminando assim qualquer risco de projeção proveniente da ferramenta ou peça.

A utilização de cortina de luz é conjugada ao uso de bimanual, conforme dispõe a alínea 2.1c do anexo VIII da NR12, o que não se aplica ao presente projeto devido ao trabalho a quente com o uso de tenazes. Assim, pela Norma, é permitido o uso de pedaleira de segurança para esse tipo de operação.

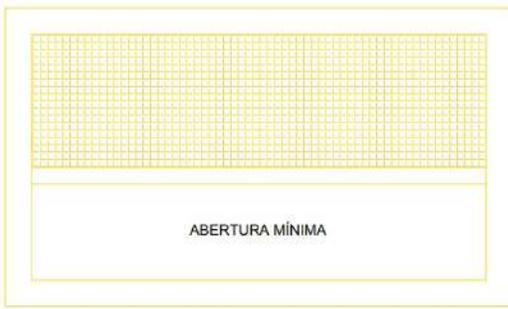


Figura 13: Porta frontal.

Conforme exigência da Norma, foi instalado apenas um bimanual na prensa, pois o trabalho é realizado apenas por um operador. Esse equipamento é utilizado para posicionamento do martelo quando está em modo de ajuste, quando é possível movimentar o martelo da máquina com a zona de prensagem isolada. A operação da máquina, em modo trabalho, é por meio de pedaleira de segurança, assim o bimanual é exclusivo para ajuste de posição do martelo com a máquina enclausurada (ambas as portas fechadas incluindo abertura de alimentação).

4) *Válvula de segurança:* O comando da prensa é feito por uma válvula de segurança categoria 4 com fluxo cruzado, a qual possui memória dinâmica, ou seja, em caso de falha, o sistema interno de monitoração dinâmica bloqueia a válvula, impedindo acionamentos adicionais até seu rearme, que é realizado por uma botoeira localizada no quadro remoto de comando.

Após a depressurização e pressurização da entrada, a válvula mantém a condição anterior de bloqueio ou operação. Esta possui uma solenoide para rearme e é utilizado um pressostato para sinalização da condição de falha, instalado pelo fabricante como opcional.

A válvula de segurança vem acompanhada de silenciador de fábrica. Além desse, a prensa já possui um silenciador próprio na união rotativa acoplada à embreagem, o qual é considerado adequado para a operação.

5) *Dispositivos de parada de emergência:* A máquina tem um dispositivo de parada composto por: uma botoeira de emergência com retenção e duplo canal categoria 4, a qual estará disponível no quadro remoto de comando – local de fácil acesso pelo operador. O acionamento desse dispositivo gera a parada do equipamento. O dispositivo bimanual é também acoplado no painel de comando. Assim não é necessário haver outro dispositivo de parada de emergência.

6) *Monitoramento da posição do martelo:* A prensa comporta dois cames reguláveis, um para monitoramento de ciclo de PMI e outro para monitoramento de ciclo PMS, ambos conjugados com encoder absoluto que gera as posições específicas do ciclo da máquina, monitorando assim PMI, PMS e escorregamento. Escorregamento é o movimento que o eixo excêntrico dá até a parada total após a entrada do freio. Caso o escorregamento passe do limite estipulado por norma, a máquina deve entrar em modo de alarme até que sejam verificadas as lonas de freio.

O nível lógico 1 (em relevo) do cames ciclo PMS (Fig. 14) inicia no ângulo de 15°, que é o limite máximo de escorregamento estipulado pela NR-12, e vai até o retorno obrigatório, que é ajustado conforme velocidade da máquina (golpes por minuto). Nesse caso, será utilizado 15° antes do PMI. O retorno obrigatório, mais conhecido como *mutting*, é o ponto onde os moldes da matriz superior e inferior estão muito próximos e não geram mais risco, o que varia de máquina a máquina pelo curso de trabalho.

Enquanto o cames ciclo PMI (Fig. 14) inicia seu nível lógico 1 a partir do retorno obrigatório e vai até o ângulo de parada, o qual varia conforme cada máquina. Os cames são monitorados por CLP de segurança conjugado aos sensores indutivos duplo canal o que caracteriza categoria 4.

Nesta máquina não há garantia de parada segura, além de seu acionamento via pedal possibilitar que as mãos estejam próximas da zona de prensagem, fato este que com bimanual se inibe. Novamente, o uso de cortina de luz fica dispensado conforme norma.



Figura 14: Configuração cames

7) *Pedal de segurança:* A máquina comporta um pedal de segurança categoria 4, o qual possui proteção superior de fábrica, permitindo a entrada do pé apenas em um sentido. Como o trabalho realizado na prensa é de forjamento a quente, é possível uma abertura mínima na face frontal, com mecanismo de fechamento para gerar uma segurança extra contra a projeção do interior da zona de prensagem.

8) *Proteções mecânicas:* O subitem 2.10.1, do anexo VIII da NR-12, aborda a necessidade de ter, nas prensas mecânicas excêntricas, proteções fixas e não móveis nas bielas e nas pontas de seus eixos que resistam a qualquer esforço proveniente de ruptura. Diante desse requisito foram desenvolvidas proteções fixas para o conjunto freio-embreagem, as quais protegem também o volante e o motor. Foram construídas também duas proteções para as aberturas na parte traseira da máquina que dão acesso à zona de prensagem. Todas essas proteções serão com cantoneiras, perfis T, chapas e telas de aço, com exceção da proteção das engrenagens a qual já pertence a máquina desenvolvida pelo fabricante.

9) *Calço de segurança:* A maioria das prensas adequadas utiliza calço de segurança de inserção manual, logo fica a critério do operador seguir o procedimento correto e colocar o calço. Considerando a possibilidade de esquecimento e/ou manuseio de forma indevida, será implementado um sistema

de retenção mecânica projetado na própria empresa. Nesse sistema, a inserção do calço é feita de forma automática. Quando a máquina está no ponto morto inferior (PMI), o calço é inserido através de um cilindro pneumático, permitindo a abertura das portas móveis e possibilitando a troca de qualquer ferramental na zona de prensagem. Esse mecanismo foi construído para trocar ferramentas em alturas diferentes.

C. Diagrama de blocos do sistema

O projeto utiliza dois CLPs, sendo um para gerenciar dispositivos de segurança e outro para realizar controle do processo, controlar a comunicação com Interface Homem Máquina (IHM) e fornecer informações ao sistema supervisor. Estes e os demais componentes da máquina se encontram conectados conforme diagrama de blocos da Fig. 15.

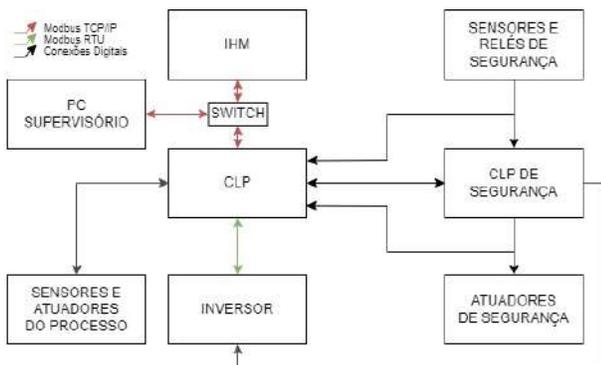


Figura 15: Diagrama de blocos

A seguir serão descritos as características e funcionalidades de cada bloco de hardware:

1) *Sensores e relés de segurança*: Os dispositivos encontrados neste bloco são todos de sinal digital, monitorados pelo CLP convencional para aquisição de dados e monitorados por CLP de segurança para controle da máquina. Esses dispositivos, quando exigido por norma serão monitorados por duplo canal. Dentre os dispositivos deste bloco estão:

- Chave de intertravamento de segurança com bloqueio: foram utilizadas três unidades para bloqueio das portas móveis;
- Relé de movimento zero: foi utilizada uma unidade para detecção da condição de parada de motor. Seu propósito se justifica para inserção do calço e para liberar o rearme da máquina somente com o motor estático;
- Sensores de cames: foram utilizadas duas unidades para monitoração dos sinais dos cames;
- Sensores calço de segurança: serão utilizados dois sensores para monitoramento das duas posições do calço, que é inserido e recuado;
- Bimanual: foram utilizados dois botões modelo cogumelo com duplo canal;
- Botão de emergência: foi utilizado uma unidade com duplo canal NF;
- Pressostato da válvula de segurança: utilizado para gerar o status da válvula;

- Pedaleira de segurança: utilizada para acionamento da prensa em modo trabalho;
- Demais botoeiras: foram utilizadas algumas botoeiras de processo como: liga, desliga, *reset* e seletora. A seletora é um botão seletor composto de 3 posições associadas aos modos de operação da máquina: setup, trabalho e ajuste. O modo setup é utilizado para inserção do calço quando localizado no PMI. O modo trabalho é utilizado para operação. Por fim o modo ajuste permite a movimentação do martelo com a zona de prensagem enclausurada.

2) *Atuadores de segurança*: Todos sinais são ativos pelo CLP de segurança e monitorados pelo CLP convencional, dentre eles estão:

- Bobinas da válvula de segurança: Para acionamento da válvula de segurança são utilizadas duas bobinas que devem ser acionadas com uma defasagem máxima de 125 ms para não gerar bloqueio;
- Sentido de giro do motor: Sinal enviado para o inversor, quando nível lógico baixo sentido normal, quando nível lógico alto sentido inverso. A reversão do motor só é utilizada no processo de manutenção por operadores habilitados;
- Liga motor: Sinal enviado para o inversor, que quando ativo, motor entra em operação;
- Libera ajuste de altura do martelo: Sinal que libera ajuste da altura do martelo quando a máquina está desligada em modo ajuste;
- Liberar portas móveis: O sinal de comando que libera as portas móveis é ativado quando o calço está inserido, tornando a zona de prensagem segura para abertura das portas móveis através de botoeiras dispostas na máquina.

3) *Sensores e atuadores do processo*: Aqui são listados os dispositivos que não são monitorados pelo CLP de segurança:

- Transdutor linear: dispositivo analógico que é utilizado para informar a altura do martelo, possibilitando criação de receitas de operação na IHM;
- Encoder absoluto: dispositivo analógico utilizado para aferir a posição do eixo excêntrico, controla a frenagem e escorregamento da máquina;
- Sensor do mecanismo de fechamento frontal: sensor que fornece o status do fechamento da abertura mínima frontal da zona de prensagem;
- Acionamento do calço de segurança: válvula dupla solenoide que ativa o cilindro de inserção e recuo do calço. Caso haja perda da alimentação, a válvula permanece no estado em que se encontra pois não tem mola de retorno;
- Rearme válvula de segurança: sinal que aciona a bobina de rearme da válvula de segurança da máquina;
- Regulagem do motor do martelo: dois sinais digitais acionados pelo operador. Esses sinais são liberados inicialmente pelo CLP de segurança que permite o ajuste do martelo de subida e descida;
- Outros sensores e atuadores do processo: bomba hidráulica prende-martelo, bomba de lubrificação, sensores de fim de lubrificação, válvula solenoide de limpeza

da zona de prensagem e válvulas de acionamento de cilindros acoplados em matrizes.

4) *Inversor*: O inversor de frequência, que é um componente com sistema avançado de partida, controle e proteção de motores, foi utilizado na prensa visando um alto rendimento e por ter disponível alguns recursos necessários. Um dos recursos é utilizado para redução da velocidade do motor para operações de ajuste, buscando maior segurança na operação. O inversor que foi utilizado também possui duplo canal *safety*, que são duas entradas de segurança alimentadas pelo CLP de segurança. Assim, quando ocorrer qualquer falha ou emergência na máquina, o inversor é desarmado e a parada do motor é realizada por inércia. Todo o comando de partida, parada e reversão é realizado pelo CLP de segurança. Enquanto isso, o CLP convencional controla a velocidade via Modbus RTU e extrai informações como potência, temperatura dos IGBTs, tensão no motor, entre outros.

5) *CLP convencional*: O CLP convencional se assemelha a um computador projetado para ser utilizado em ambientes industriais. Sua robustez e fácil programação fez com que ele se consolidasse no ramo de controle de processos. Na máquina escolhida foi utilizado o CLP convencional para controlar a parte do processo que não é ligada à segurança e monitorar todas entradas e saídas do CLP de segurança de modo a obter informações para gerar alarmes e avisos, tanto para a IHM, como para o supervisor. Esse método de monitoramento seria facilmente resolvido por meio de interface de comunicação entre um CLP e outro, porém o alto custo de investimento em um módulo externo de comunicação para o CLP de segurança justificou esta abordagem. A comunicação entre o CLP convencional e o CLP de Segurança acontece por meio de sinais digitais. A partir do CLP de segurança é enviado um sinal de ciclo iniciado, que permite o CLP convencional saber quando a máquina iniciou sua operação. Alguns dos sinais enviados pelo CLP convencional são "condição segura" que é quando todos os equipamentos monitorados por ele encontram-se em funcionamento e "ponto de frenagem", que é o ângulo ideal estimado, para iniciar o processo de frenagem no próximo ciclo de operação.

6) *CLP de segurança*: O CLP de segurança comporta grande parte das características do convencional, contudo os blocos de segurança são um diferencial. Este tem três princípios básicos de funcionamento: a redundância, a diversidade e o autoteste. Neste projeto foi utilizado um CLP de segurança em razão das diversas possibilidades de programação, diferentemente dos relés de segurança que contêm uma lógica fixa.

7) *IHM*: A Interface Homem Máquina (IHM) é um dispositivo que permite a interação entre o operador e o maquinário de forma intuitiva. Nesta prensa foi utilizado esse equipamento para realizar a programação de receitas do processo, a monitoração do desempenho da máquina e geração de alarmes de segurança e avisos.

8) *Supervisor*: O supervisor é uma ferramenta SCADA para monitoramento e controle de processos, este auxilia na tomada de decisões, por isso, será desenvolvido uma aplicação

através da comunicação Modbus TCP entre o computador e o CLP convencional, o qual coleta os dados da máquina, como quantidade de peças produzidas, alarmes gerados, tempo em trabalho, tempo em setup, entre outros dados. Ao final, gerará relatórios quinzenais ou mensais do desempenho da prensa.

IV. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Nesta seção são demonstradas as particularidades do projeto, especificamente os componentes e a montagem de hardware, bem como o desenvolvimento do sistema supervisor e os dados e resultados nele obtidos.

A. Componentes de hardware

Nesta subseção, apresentam-se os componentes utilizados com as respectivas características técnicas e de funcionamento.

1) *Sensores e relés de segurança*: Para assegurar o bloqueio seguro das proteções móveis, foi utilizada a chave de intertravamento da Weg, modelo CISS 2NF+2NA M20 VCA/CC (Fig. 16a), a qual possui corpo plástico e cabeçote metálico giratório, o que possibilita ajustá-la, permitindo que a lingueta seja inserida em 8 posições distintas. Esse equipamento possui duplo contato para monitoramento seguro e tem certificação TÜV (Organismo de certificação, inspeção, gerenciamento de projetos e treinamento).

Para controlar a parada completa do motor, foi escolhido o relé de movimento zero da Weg (Fig. 16b), modelo SZS-W22, o qual é utilizado acoplado aos cabos de força que saem do inversor, possui duplo canal e certificação TÜV.



Figura 16: Chave de segurança e monitor de movimento zero [16] [17].

A fim de monitorar os sinais dos cames, foi escolhido o sensor indutivo da Fig. 17a, modelo BES M12EI-PAC40F-BV03 da Balluff. Embora não seja um sensor de segurança, possui duplo canal que, ao ser monitorado pelo CLP de segurança, torna o sinal seguro.

Para o monitoramento da inserção do calço de segurança, foi utilizado o sensor fim de curso TV1H 236-02Z-M20 da Schmersal (Fig. 17b), o qual possui dois contatos de segurança e invólucro termoplástico.

Ainda, para monitorar o calço recuado e o equipamento de fechamento da abertura frontal da máquina, foi usado o sensor magnético de segurança da Weg modelo SSH5-30R1P2 (Fig. 17c).

Na construção do bimanual, foram utilizados dois botões, sendo escolhidos os da linha CSW da WEG, modelo BC2-WH (Fig. 18a), do tipo pulsador cogumelo, na cor verde (cor padrão para bimanual). Especificamente, cada botão possui

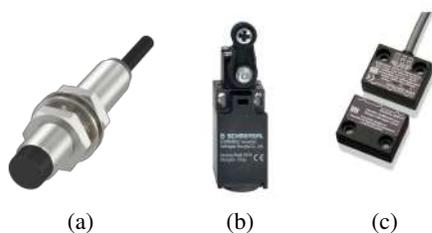


Figura 17: Sensor do cames, sensor fim de curso e sensor magnético [18] [19] [20].

dois contatos, sendo um NA e um NF, conforme exigência do bloco de monitoração do CLP de segurança.

O pressostato apresentado na Fig. 18b para monitoramento do ar comprimido é fundamental para o funcionamento seguro da máquina. Dessa forma, foi escolhido o pressostato da mesma marca da válvula de segurança (Ross), modelo Ross-670B94, fabricado especificamente para acoplamento nessa válvula.

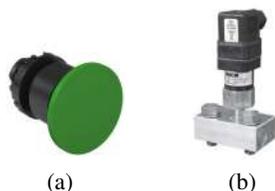


Figura 18: Botoeira bimanual e pressostato [21] [22]

Outro componente adquirido foi o botão de emergência modelo CSW-BESGM-WH, da Weg, conforme foi demonstrado na Fig. 4. Em conjunto com esse botão, foram utilizados dois blocos de monitoração BCM01-CSW, os quais asseguram que a montagem esteja correta para operar normalmente.

A pedaleira de segurança, apresentada na Fig. 6, é da marca Shcmersal, modelo TFH 232-22UEDR, possui uma proteção superior com uma abertura ampla, alta estabilidade e três estágios, são eles: desativado, ativado e emergência. Esse componente comporta 4 contatos para monitoração e possui certificação.

As demais botoeiras escolhidas do projeto são também da marca Weg da linha CSW, as quais estão listadas a seguir:

- Botoeira liga: botão pulsador luminoso verde (Fig. 19a), modelo BFI2-WH, montado com 1 contato NA, utilizado para ligar o equipamento, assim quando o equipamento está ativo a lâmpada é acesa;
- Botoeira abre portas: botão pulsador luminoso amarelo (Fig. 19b), modelo BFI3-WH, montado com 1 contato NA, utilizado para abrir as portas móveis quando habilitadas (quando houver indicação luminosa);
- Botoeira *reset*: botão pulsador luminoso azul (Fig. 19c), modelo BFI3-WH, montado com 1 contato NA, utilizado para rearmar o equipamento, botão habilitado no momento que a lâmpada se encontra acesa;

- Botoeira desliga: botão pulsador vermelho (Fig. 19d), modelo BF1-WH, montado com 1 contato NA, utilizado para desligar a máquina;
- Seletora 3 posições: comutador com chave e três posições com retenção (Fig. 19e), modelo CYC3F45-WH, montado com 2 contatos NA, utilizado para seleção de modos de operação da máquina;
- Seletora 2 posições: comutador simples com duas posições e retenção (Fig. 19f), modelo CK2F90-WH, montado com 1 contato NA, utilizado para habilitar um sopro de ar comprimido na matriz, que é usado para limpeza;
- Seletora 3 posições luminosa: comutador com três posições e retenção por mola iluminado amarelo (Fig. 19g), modelo CKI3R453-WH, montado com 2 contatos NA, utilizado para subir e descer a altura do martelo.

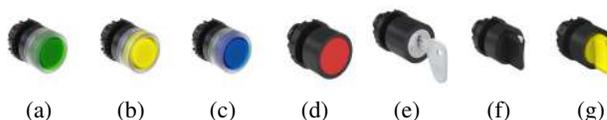


Figura 19: Botoeiras de comando [23]–[29].

2) *Atuadores de segurança*: A válvula de segurança adquirida para acionamento do sistema freio-embreagem foi a DM2 da marca Ross, série D (Código DM2DDA54A2X), vazão de 1 polegada. Esse equipamento possui automonitoramento e memória dinâmica, categoria 4, certificada pela DGUV, sendo acionado por duas bobinas solenoides 24VDC, como mostrado na Fig. 3.

3) *Sensores e atuadores do processo*: Para ter um controle apurado de receitas, foi instalado um transdutor linear da marca Balluff (Fig. 20a), código BIW1-A310-M0300-P1-S115. Esse possui uma haste de 300 mm, tamanho suficiente para suprir todos os cursos da prensa. A leitura desse componente ocorre pelo CLP convencional, em seu cartão analógico 4 a 20 mA, sendo a precisão de 10 μ m.

Ainda, com o cartão analógico do CLP convencional, é realizada a leitura do encoder absoluto, conforme mostrado na Fig. 20b, o qual é utilizado para o monitoramento do ângulo do eixo excêntrico. Este é importante para verificar e controlar a operação da máquina, sendo escolhido o equipamento da marca Hohner, série 64, modelo 6420-4062-0012, com resolução de 12 bits.

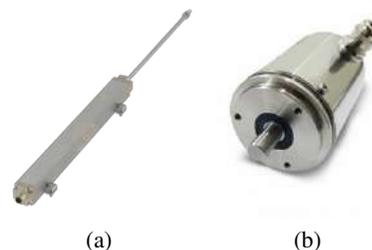


Figura 20: Transdutor linear e encoder absoluto [30] [31].

No acionamento do calço de segurança, foi utilizado uma válvula com dupla solenóide sem retenção por mola, da marca Micro (modelo SBL 1 G1/4 2 SOL (24VCC)), a qual garante que quando o calço estiver ativo, ele permanecerá assim, mesmo se faltar energia elétrica e/ou ar comprimido, retornando na sua posição de origem apenas quando a bobina solenóide de retorno for acionada.

O acionamento do rearme da válvula de segurança é feito pelo botão *reset* da FIG. 19c. Caso a válvula não possibilite o rearme, este não funcionará até a solução da falha.

Outro acionamento importante do processo é o regulador de altura do martelo. Esse componente, composto por um motorreductor, será acionado pelo operador quando a seletora de 3 posições da Fig. 19g estiver habilitada, cada posição da seletora aciona uma contadora do quadro remoto 02 (demonstrado ao longo do trabalho).

Além disso, outros sensores e atuadores do processo foram utilizados, quais sejam: bomba hidráulica prende martelo, bomba de lubrificação, sensores de fim de lubrificação, válvula solenoide de limpeza da zona de prensagem e válvulas de acionamento de cilindros acoplados em matrizes.

4) *Inversor*: Antes de adequar a prensa, a partida do motor ocorria por meio de contadoras, as quais demoravam para partir e parar, ainda, quando necessário, a reversão era feita de forma manual. Considerando isso, optou-se pela utilização do inversor (Fig. 21), da marca Delta, série MS300 (código VFD45AMS43ANS2AA), o qual tornou o processo mais rápido, possibilitando, inclusive, a leitura de uma vasta gama de registradores, através da comunicação Modbus RTU, para controlar o custo e o status da operação de forma precisa. Além das funções descritas, o inversor recebe sinais de comando do CLP de segurança, entre eles: liga motor, sentido de giro e liberação dos contatos de segurança do inversor (*safety*).



Figura 21: Inversores linha MS300 [32].

5) *CLP convencional e de segurança*: Os CLPs são os componentes mais importantes da máquina, em razão de serem responsáveis pelo funcionamento e controle desta. Para a escolha desses componentes foi levado em conta a confiabilidade, o custo-benefício e a disponibilidade de softwares gratuitos.

Para monitorar e controlar o processo, foi utilizado o CLP convencional Delta da linha *slim* SE séries (Fig. 22a) (código DVP-12SE11R), com 8 entradas digitais, 4 saídas digitais, 1 porta de comunicação Modbus TCP/IP e 2 portas

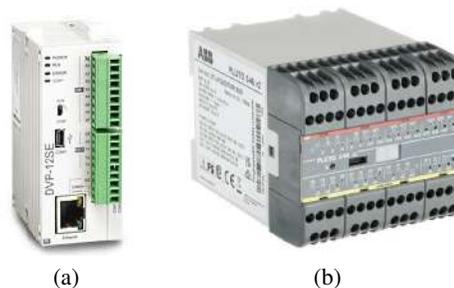


Figura 22: Controladores lógicos programáveis [33] [34].

de comunicação Modbus RTU. Ainda, nesse CLP, foram acrescentados cartões de expansão, sendo 1 cartão de leitura analógica de alta velocidade (código DVP04AD-SL), 3 cartões de 8 entradas e 8 saídas digitais (código DVP16SP11R) e 1 cartão de 16 entradas digitais (código DVP16SM11N).

A fim de controlar a segurança, foi utilizado o CLP de segurança PLUTO S46 v2, da marca ABB (Fig. 22b), o qual comporta um sistema com 46 I/O, sendo 24 entradas à prova de falhas, 16 entradas/saídas não seguras, 4 saídas à relé com alimentação individual a prova de falhas e 2 saídas a prova de falhas a transistor.

6) *IHM*: A IHM é o equipamento responsável pela interação do operador com a máquina. Visando um bom desempenho e qualidade, optou-se pela marca Delta da linha DOP-100, modelo DOP-107WV (Fig. 23). Essa é uma IHM industrial de 7", colorida, com *touch screen*, a qual permite monitorar o processo, criar receitas e visualizar alarmes.



Figura 23: IHM linha DOP-100 [35].

B. Montagem e adequação

Nesta subseção, são apresentados o passo a passo da montagem dos componentes utilizados para a adequação da máquina, possibilitando uma comparação entre o antes e o depois.

1) *Iniciação*: Nas imagens da máquina antes da adequação, foram indicados alguns componentes principais da prensa para melhor compreendê-la. A Fig. 24a demonstra a parte frontal da máquina, sendo apontados os compensadores, o eixo excêntrico e o martelo. Pontua-se que os compensadores têm o objetivo de aliviar o sobrepeso do martelo e da ferramenta no eixo excêntrico. Já na Fig. 24b é demonstrada a parte traseira da máquina, na qual está destacado o motor e o conjunto freio-embreamento.

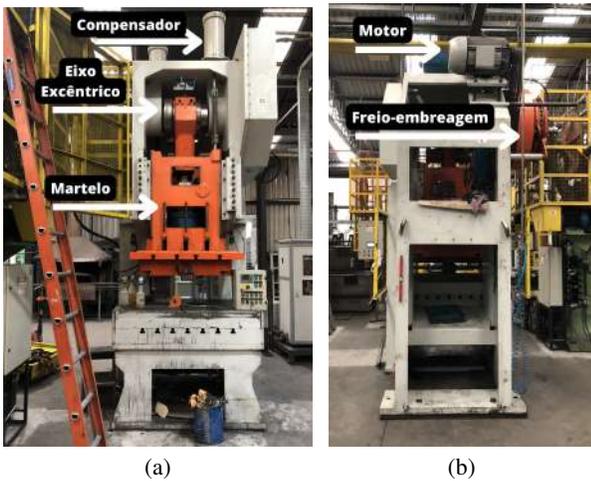


Figura 24: Imagens da prensa no início da adequação.

A seguir, são demonstrados o painel elétrico principal da máquina antes da adequação, na Fig. 25a, e o quadro remoto de comando na Fig. 25b. Dos referidos painéis, utilizou-se apenas o CLP de segurança da ABB no projeto de adequação da máquina.

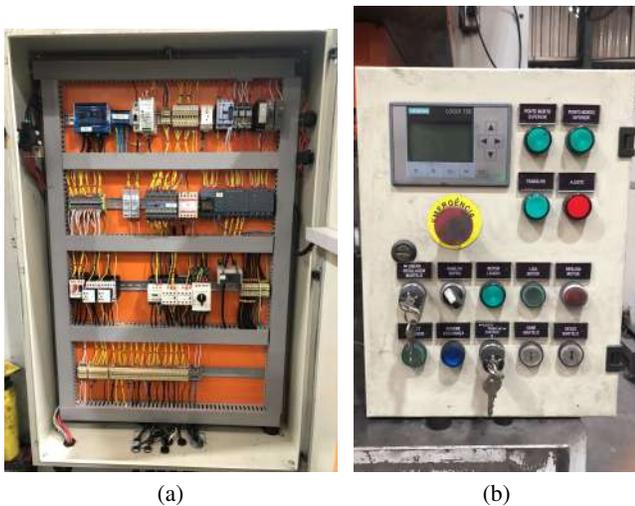


Figura 25: Painéis de controle antes da adequação.

2) *Chave de segurança*: Em virtude das 8 opções de inserção da lingueta permitidas pela chave, possibilitam-se diversas formas de montagem desse componente na prensa. Demonstra-se, assim, na Fig. 26a, a montagem do equipamento na proteção lateral e, na Fig. 26b, a montagem da chave na proteção frontal da face de alimentação. Nas imagens elencadas, a proteção em preto, sobreposta às chaves de segurança, foi desenvolvida para impossibilitar a abertura do equipamento de forma manual, para evitar que os operadores burlam o sistema. Esta proteção está fixada por parafusos de segurança (Parafuso torx M6x20 com pino central), conforme apontado por indicadores na Fig. 26b, os quais são abertos apenas por profissionais habilitados da manutenção da empresa.

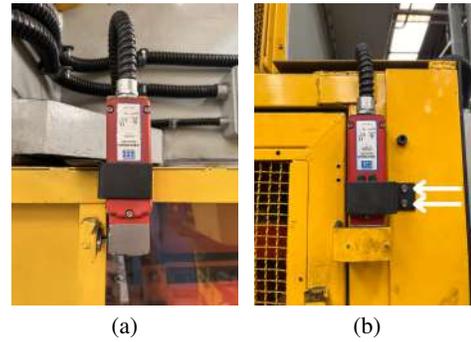


Figura 26: Chaves de intertravamento.

3) *Sensores do cames e encoder*: A prensa original de fábrica comporta um sistema de cames, composto por anéis que encaixam no eixo excêntrico, fixados por parafusos travantes. Essa máquina possui dois anéis com sobressalências para cada sinal do cames que, ao serem ajustados, permitem uma vasta possibilidade de ângulos. Na Fig. 27 está indicado onde se encontra cada componente mencionado, bem como demonstra o encoder e os sensores. A estrutura para acoplar o encoder no eixo foi toda desenvolvida neste projeto.

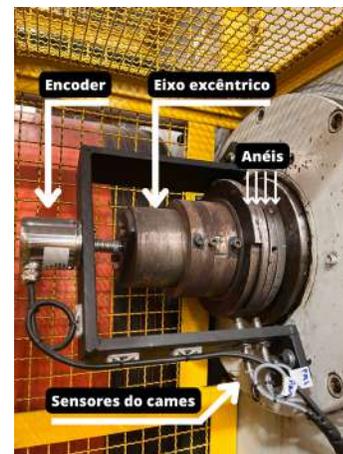


Figura 27: Montagem encoder e sensores do cames.

4) *Calço, transdutor linear e regulador de altura*: Esses 3 componentes foram instalados no interior da máquina. O primeiro é o transdutor linear, que tem sua haste presa no martelo, e o corpo fixado na lateral esquerda do suporte das guias, o que permite, por meio do CLP convencional, uma compensação de valores objetivando ter altura entre a mesa e o martelo em milímetros.

O segundo componente é o calço de segurança. Seu suporte foi fixado no martelo da máquina, no qual foi acoplado o sensor fim de curso de entrada do calço, enquanto que no corpo da máquina foi instalado o conjunto calço automático, composto por uma base que sustenta o peso do martelo sem inércia e um cilindro responsável por inserir o calço dando condição segura de abertura de portas móveis.

O terceiro elemento é o mecanismo de regulagem da rosca do martelo, podendo este subir e descer de forma automática.

Para controlá-lo foi desenvolvido o painel remoto 02, demonstrado a seguir.

5) *Válvula de segurança:* A válvula de segurança foi fixada na parte superior da máquina, com o acoplamento do cabeamento e dos tubos pneumáticos. Todo esse processo pode ser visualizado na Fig. 28, que apresenta as bobinas enumeradas, sendo a 1 e a 2 responsáveis pelo acionamento da válvula, a 3 do pressostato e a 4 do reset.



Figura 28: Montagem da válvula de segurança.

6) *Remoto 01:* O painel de comando, demonstrado na Fig. 29a, foi construído para gerar a interação homem-máquina. Nele, estão presentes todas as botoeiras de comando, sendo que a de emergência foi instalada em local de fácil acesso para o operador, enquanto os botões bimanual se encontram nas laterais do quadro. A IHM, instalada em cima dos botões, permite ao operador interagir com a máquina, pela qual este visualiza alarmes e pode acompanhar o status da máquina e do processo. Na Fig. 29b se apresenta a parte interior do quadro, bem como o padrão de montagem dos componentes.

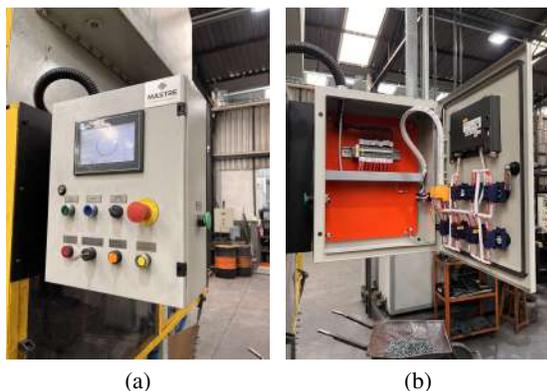


Figura 29: Montagem remoto 01.

7) *Remoto 02:* Desenvolvido para atender a necessidade da máquina em controle de altura de martelo, o painel remoto 02 (Fig. 30a) permite essa regulagem somente quando a máquina está em modo ajuste com o motor desligado. Assim, quando o botão da Fig 19g acende seu luminoso, o operador pode movimentar o martelo. Ao direcionar o botão para esquerda, aquele sobe, ou para a direita, aquele desce.

Na composição do painel (Fig. 30b), foi incluído um disjuntor motor para proteção e duas contadoras, fazendo assim duas partidas diretas, uma para subida e uma para descida.

As contadoras são bloqueadas por lógica de programa e de montagem para não comutarem consecutivamente.

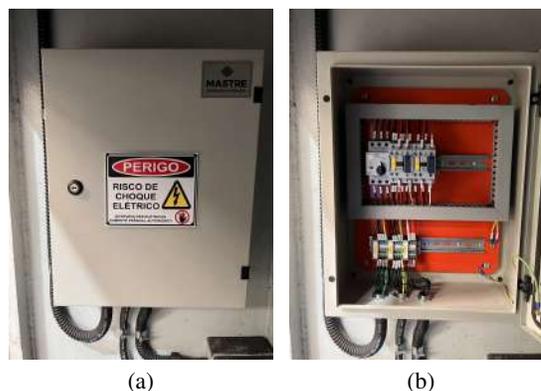


Figura 30: Montagem remoto 02.

8) *Painel principal:* Na Fig. 31a, é demonstrada a parte externa do painel principal, a qual comporta um sistema de ventilação em razão do aquecimento proveniente do inversor. Na lateral esquerda, verifica-se a chave seccionadora geral, que desarma todo o equipamento e se necessário, quando lacrada, permite a realização de manutenções de forma segura.

No interior do painel (Fig. 31b), observa-se, na parte esquerda inferior, o comando de força com um disjuntor e o inversor. No meio do painel, tem-se o relé de movimento zero e a fonte com seus consecutivos disjuntores. Na parte superior, localiza-se todo o comando em 24 VDC, com o CLP de segurança na esquerda e o CLP convencional na direita. Na lateral direita, dispõe-se a régua de bornes, a qual comporta todo cabeamento, que se ramifica na máquina para componentes em campo e, por fim, na parte inferior, fixam-se a entrada e saída do cabeamento.

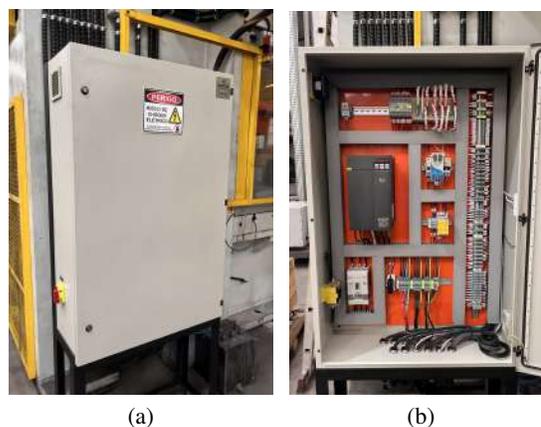


Figura 31: Montagem quadro elétrico principal.

9) *Finalização:* A seguir são apresentadas figuras da máquina finalizada.

A Fig.32a demonstra o mecanismo de fechamento da abertura frontal da prensa, onde estão indicados os (i) microcilindros que fecham a porta, (ii) o sensor magnético, instalado na lateral esquerda, que permite operar apenas com

o equipamento fechado, e (iii) a porta em policarbonato. Esse mecanismo se assemelha à guilhotina, contudo difere no controle de pressão. Sua pressão controlada impossibilita que o operador se machuque, caso ele faça uma inserção de membros fora da instrução de trabalho. Ainda, qualquer objeto que bloqueie o fechamento do equipamento, faz que este retorne para a origem e cancele o ciclo de operação.

A Fig. 32b demonstra a proteção de segurança da ponta esquerda do eixo excêntrico, onde estão localizados os cames, os sensores e o encoder. Essa tem uma porta fixa com parafusos de segurança que permitem o acesso somente por pessoal habilitado, caso seja necessária uma regulagem ou manutenção.

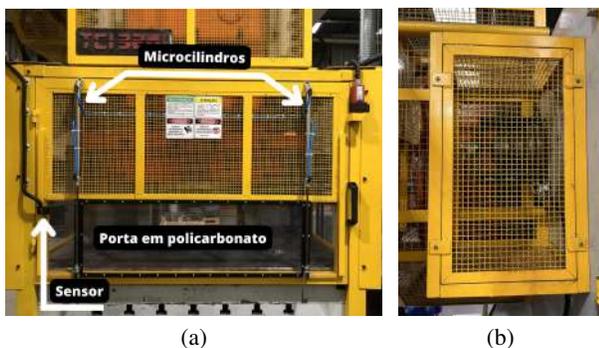


Figura 32: Mecanismo de fechamento de abertura mínima e proteção da ponta do eixo excêntrico.

A Fig. 33 demonstra a parte frontal da máquina finalizada, na qual se verificam a proteção fixa superior, a proteção da ponta direita do eixo excêntrico (original de fábrica), as proteções móveis frontal e lateral direita. Ainda, na parte inferior, verifica-se o pedal de segurança.



Figura 33: Parte frontal e lateral direita da prensa finalizada.

A Fig. 34a apresenta toda a estrutura pneumática refeita, montada na lateral da prensa. Composta por um lubrificador de 1/2" para válvula pneumática e dois lubrificadores de 1/4", sendo um para o manifold das válvulas e um para os compensadores da

máquina. As válvulas acopladas no manifold controlam: os cilindros das matrizes, o mecanismo de fechamento frontal, o sopro de limpeza e o calço de segurança. Os controladores de pressão e vazão são utilizados nos cilindros das matrizes, no mecanismo de fechamento frontal e no avanço do calço de segurança.

Ainda, a respeito dos componentes pneumáticos, a Fig. 34b demonstra os 6 conectores de engate rápido, no interior da zona de prensagem, utilizados para plugar os cilindros das matrizes de forma rápida. Por fim, na referida imagem, verifica-se um tubo helicoidal que é responsável por abastecer o bico de limpeza da matriz.

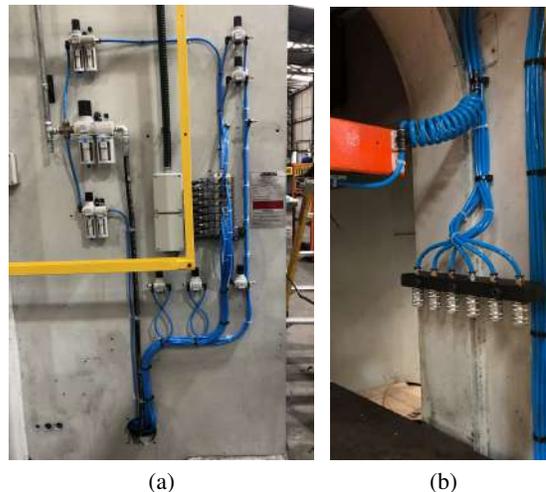


Figura 34: Componentes pneumáticos.

A Fig. 35 traz uma imagem completa da parte traseira da máquina finalizada, na qual se demonstram as proteções fixas traseiras, a proteção da embreagem, e a proteção da porta esquerda móvel.



Figura 35: Parte traseira e lateral esquerda da prensa finalizada.

C. Supervisório

Para realizar o monitoramento e controle do processo, adquiriu-se uma chave de licença e operação do software Elipse E3 Lite 150, da marca Elipse Software. Essa empresa é consolidada no mercado brasileiro, sendo referência pela sua plataforma HMI/SCADA. O pacote da referida chave permite a leitura de 150 variáveis do processo, que podem ser coletadas e armazenadas, bem como possui um *Viewer* para um usuário acessar as telas e navegar buscando as informações necessárias.

O sistema supervisório foi construído através do E3 Studio, que é a plataforma de desenvolvimento. Na primeira etapa, foi criada a tela principal apresentada na Fig. 36, a qual comporta 6 botões que abrem diferentes telas de visão do processo, conforme cada seção da empresa ou alarmes.



Figura 36: Tela principal do supervisório.

Na segunda etapa, foi configurado o driver de comunicação (Driver Modicon Modbus Master (ASC/RTU/TCP)). Nele, foram cadastradas as variáveis que são coletadas da prensa. Foi criado um banco de dados, no Access, para armazená-las. Para o armazenamento dos alarmes, foi criado outro banco de dados. Para testes, o sistema ficou armazenando dados até a criação de outras telas.

Foi desenvolvida uma tela com três divisões, conforme pode ser visualizado na Fig. 37. A tela superior possui um menu de navegação que permite transitar entre as seções. Na tela do meio é apresentado o setor da empresa e todos os seus equipamentos. Por fim, na tela inferior se encontram os alarmes, onde se verificam quais estão ativos e é possível gerar um relatório destes, por meio de um botão.

Na tela da seção 02, demonstrada na Fig. 37, foi inserido 7 campos de informações, sendo eles: status da máquina, tempo de máquina em setup, tempo de máquina em trabalho, tempo de máquina em *standby* (motor ligado em modo trabalho sem operar), curso do martelo, número da ferramenta e contador de peças. Além desses, foi criado um botão de manutenção, utilizado para bloquear o equipamento. Observa-se, também, uma representação da prensa, a qual muda de cor conforme seu status. Para uma análise mais aprofundada, foram criados dois gráficos histórico-real (gráfico com tempo histórico e atualização em tempo real), sendo um para comparação dos tempos acumulativos de setup, trabalho e *standby* em horas.

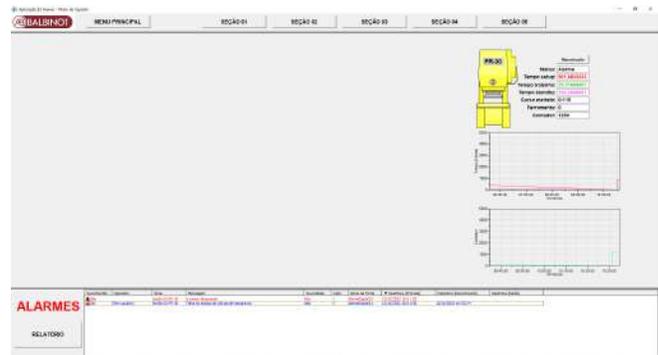


Figura 37: Tela da seção 02.

Já o outro gráfico é para analisar a produção de peças em um determinado período.

D. Dados e resultados no supervisório

Na presente seção são descritos os resultados obtidos na coleta e análise de dados do sistema supervisório, após a finalização da prensa, pelo período de aproximadamente dois meses.

Na Fig. 38, demonstra-se o relatório de alarmes, que armazena todos os alarmes acionados na prensa, o qual pode ser visualizado a qualquer momento pelo usuário. Este informa a data e hora de entrada, a área (seção e máquina), a fonte e a mensagem do alarme. Ao longo do período de estudo, foram contabilizados aproximadamente 30 páginas com registros de alarmes.

Figura 38: Relatório de alarmes.

A Fig. 39 apresenta os campos de informações e um gráfico histórico-real. Este gráfico demonstra um comparativo entre os tempos de operação acumulativos, estes são apresentados por um período de 5 horas. Em vermelho o tempo em setup (troca de ferramenta) de 901,7 h, em verde o tempo de trabalho (movimentação do martelo em operação) de 22,22 h e em rosa o tempo de máquina em *standby* de 164,27 h.

A seguir são apresentados dois gráficos histórico-real de controle produtivo, coletados em dias distintos, os quais apresentam a quantidade de peças produzidas (Contador) de 0 a 5000 unidades, por um período de 8 horas (hh:mm:ss).

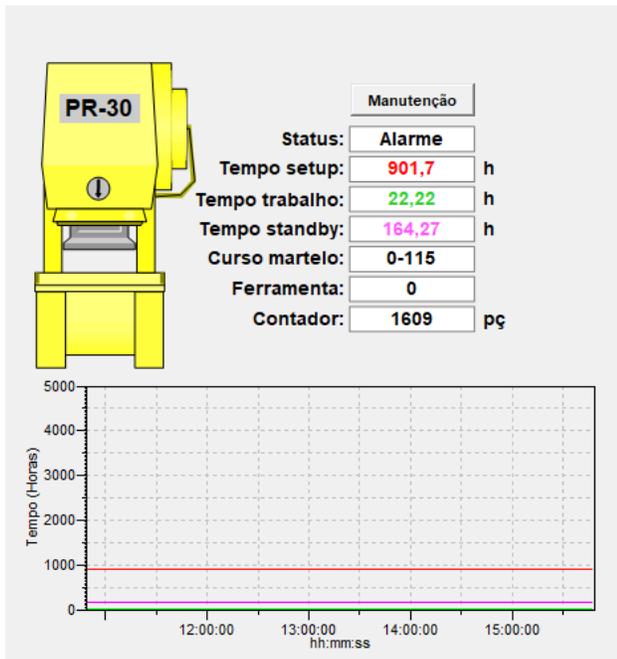


Figura 39: Informações em tempo real e gráfico histórico-real.

O primeiro gráfico da Fig. 40 demonstra um processo produtivo ideal, sem paradas excessivas. Este inicia a produção de peças em torno das 8h40, trabalhando de forma gradativa até 11h50, quando ocorre o horário de almoço dos operadores. Depois, retorna às 13h15 e continua de forma regular sem paradas até às 15h50, conforme registrado no gráfico.

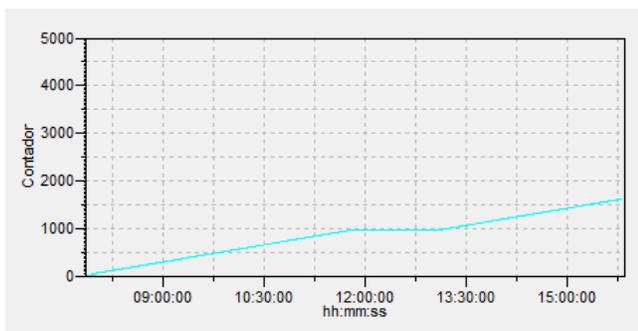


Figura 40: Gráfico de controle produtivo ideal.

No segundo gráfico (Fig. 41) se apresenta um processo produtivo inesperado, no qual inicia a produção por volta das 10h25, algumas peças são feitas pelo período de 10 min. Então, devido a um imprevisto, acontece uma parada para ajuste. O processo reinicia às 10h45, no qual foi trabalhado ininterruptamente até às 11h55. No período da tarde, devido a um problema do processo ou por migração de operadores a outro setor, a máquina fica parada até às 15h20min. Em seguida, a retomada ocorre e segue gradativamente até o fim do lote, por volta das 17h. A partir desse momento, a máquina fica parada até o fim do expediente.

Por meio da coleta de dados, verificou-se diversos pontos

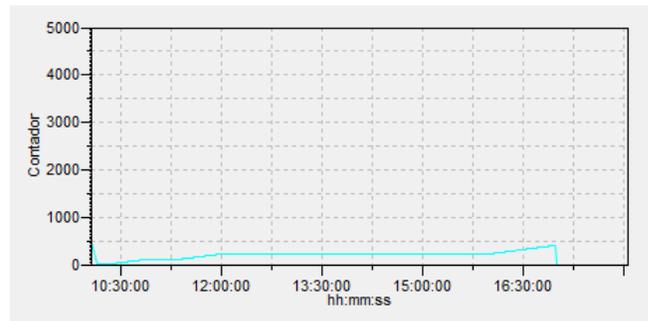


Figura 41: Gráfico de controle produtivo inesperado.

do processo que precisam ser aprimorados para otimizar as trocas de ferramenta e solucionar os problemas recorrentes, como a regulação assertiva de matrizes e a melhoria do PCP (Planejamento e Controle da Produção). Também pretende-se aprimorar o sistema supervisor, com a inserção de todas as máquinas e a utilização de novos recursos.

V. CONCLUSÃO

Esse projeto de adequação de prensas excêntricas, realizado no decorrer de um ano, buscou o aperfeiçoamento e desenvolvimento de mecanismos automatizados de segurança e teve como objetivo adequar uma prensa à Norma NR-12, para proteger o operador da mesma, evitando acidentes. Para além da segurança, o desenvolvimento do sistema supervisor foi fundamental para melhorar o PCP e otimizar a utilização da máquina. Com a finalização do projeto, a máquina encontra-se adequada à NR-12 com ART da parte mecânica, da elétrica e da segurança. Este projeto de adequação proporcionou diversos benefícios para controle e tomadas de decisão da empresa, e pode ser utilizado como referência em adequações futuras.

REFERÊNCIAS

- [1] O. Internacional do Trabalho, "Série Smartlab de Trabalho Decente 2022: acidentes de trabalho e mortes acidentárias voltam a crescer em 2021." https://www.ilo.org/brasilia/noticias/WCMS_842760/lang-pt/index.htm#:~:text=Emnmerosabsolutosaototal,116.456em20202021. Acessado: 24/05/2022.
- [2] Brasil, "Nr-12." <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022.pdf>, Abril 2022.
- [3] Brasil, "Lei nº5.452 (Consolidação das leis de trabalho)." http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm, 2019.
- [4] L. Alfredo (Grabcad Community), "Prensa EKA 100T." <https://grabcad.com/library/prensa-eka-100t-1>. Acessado: 18/05/2022.
- [5] L. Araldi (Grabcad Community), "Ferramenta Para Estampar Bucha." <https://grabcad.com/library/ferramenta-para-estampar-bucha-1>. Acessado: 18/05/2022.
- [6] Schmersal, "Catálogo Online Schmersal (Cortinas Óticas de segurança)." https://products.schmersal.com/pt_PT/slc440-er-0170-14-01-2225.html. Acessado: 05/05/2022.
- [7] Schmersal, "Catálogo Online Schmersal (Painéis de Controle Bimanual)." https://products.schmersal.com/pt_PT/sepg053102295-2124.html. Acessado: 05/05/2022.
- [8] Ross, "DM2 Series D Bases." https://www.rosscontrols.com/series_variants/30698-1697c91. Acessado: 28/05/2022.
- [9] Weg, "Botao CSW-BESGM-WH." https://static.weg.net/medias/images/heb/h6d/csw_bot-o.webp. Acessado: 08/09/2022.

- [10] Balluff, “Mecanismo de Comutação com Pontos de Comutação de Segurança.” <https://www.balluff.com/pt-br/products/BSW004A>. Acessado: 30/04/2022.
- [11] Schmersal, “Catálogo Online Schmersal (Computador de Pedal).” https://products.schmersal.com/pt_PT/tfh-232-22uedr-7382.html. Acessado: 30/04/2022.
- [12] B. Fator Júnior (Fonte: Grabcad Community), “Representação da Proteção do Volante de Prensa.” <https://fatorjunior.com.br/blog/intervencao-de-seguranca>. Acessado: 31/04/2022.
- [13] Weg, “Calço de Segurança.” https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Segurana-de-Mquinas-Sensores-Industriais-e-Fontes-de-Alimentao/Segurana-de-Mquinas/Calos-de-Segurana/Calo-de-Segurana/p/MKT_WDC_BRAZIL_PRODUCT_SAFETY_BLOCKS. Acessado: 24/05/2022.
- [14] Jundiaí, “Capacidade Nominal Sistema Excêntrico.” <https://www.prensajundiai.com/pt/tipo-c/serie-tci/>. Acessado: 24/06/2022.
- [15] Balbinot, “Produtos.” <https://site.balbinot.com.br/produtos>. Acessado: 24/05/2022.
- [16] Weg, “Chaves de Intertravamento.” https://static.weg.net/medias/images/hbc/h30/WDC_SegurancMaquinas_ChaveIntertravamento_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 07/09/2022.
- [17] Weg, “Rele de Mmovimento Zero.” https://static.weg.net/medias/images/h8d/h6f/WDC_SegurancMaquinas_ReleSeguranc_SZS_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 07/09/2022.
- [18] Balluff, “Sensores Indutivos.” https://static.weg.net/medias/images/hbc/h30/WDC_SegurancMaquinas_ChaveIntertravamento_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 20/09/2022.
- [19] Schmersal, “Sensores Fim de Curso.” https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/53849_00_P_00_00_00.png. Acessado: 20/09/2022.
- [20] Weg, “Sensores Magnéticos com Função de Segurança.” <https://static.weg.net/medias/images/h65/he4/magneticos.webp?cimgnr=p5xFR>. Acessado: 18/09/2022.
- [21] Weg, “Botão CSW BC2.” https://static.weg.net/medias/images/h86/h29/WDC_Botao_CSW_BC2_515Wx515H.webp. Acessado: 05/09/2022.
- [22] Tecniar, “Válvulas de Segurança.” <https://www.tecniar.com.br/wp-content/themes/tecniar/downloads/ross/valvulas-seguranca-prensa.pdf>. Acessado: 05/09/2022.
- [23] Weg, “Botao CSW-BFI2-WH.” https://static.weg.net/medias/images/h50/he7/WDC_Botao_CSW_BFI2_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [24] Weg, “Botao CSW-BFI3-WH.” https://static.weg.net/medias/images/heb/hf9/WDC_Botao_CSW_BFI3_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [25] Weg, “Botao CSW-BFI4-WH.” https://static.weg.net/medias/images/h6c/hdf/WDC_Botao_CSW_BFI4_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [26] Weg, “Botao CSW-BF1-WH.” https://static.weg.net/medias/images/h9e/h96/WDC_Botao_CSW_BF1_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [27] Weg, “Computador CSW-CY2F45-WH.” https://static.weg.net/medias/images/h52/he6/WDC_Comutador_CSW_CY2F45_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [28] Weg, “Computador CSW-CK2F45-WH.” https://static.weg.net/medias/images/hcb/hae/WDC_Comutador_CSW_CK2F45_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [29] Weg, “Computador CSW-CKI3R453-WH.” https://static.weg.net/medias/images/h80/h44/WDC_Comutador_CSW_CKI3_1200Wx1200H.jpg. Acessado: 21/09/2022.
- [30] Balluff, “BIW0009.” https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/56514_01_P_08_0300_00.png. Acessado: 18/09/2022.
- [31] Hohner, “Encoder Absoluto Analógico.” <https://hohner.com.br/wp-content/uploads/2019/07/64-400x300.jpg>. Acessado: 18/09/2022.
- [32] Delta, “MS300 Series.” https://filecenter.deltaww.com/Products/images/06/060101/MS300_M.JPG?w=350. Acessado: 06/09/2022.
- [33] Delta, “DVP-SE Series.” https://filecenter.deltaww.com/Products/images/06/060301/DVP-SE_M.JPG?w=350. Acessado: 06/09/2022.
- [34] ABB, “Pluto S46 v2.” https://cdn.productimages.abb.com/9PAA00000112388_720x540.jpg. Acessado: 06/09/2022.
- [35] Delta, “DOP-107WV.” https://filecenter.deltaww.com/Products/images/06/060302/DOP-107WV_M.JPG?w=350. Acessado: 06/09/2022.