



GABRIEL SANTOS BRAGA

**PROJETO DE INTEGRAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE
USINAGEM DE PISTÕES**

LAVRAS – MG

2021

GABRIEL SANTOS BRAGA

**PROJETO DE INTEGRAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE
USINAGEM DE PISTÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana
Orientador

LAVRAS – MG
2021

GABRIEL SANTOS BRAGA

**PROJETO DE INTEGRAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE
USINAGEM DE PISTÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 02 de novembro de 2021
Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco
Mestrando Matheus Teixeira Neiva

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana
Orientador

LAVRAS – MG
2021

RESUMO

Neste trabalho é mostrado como foi desenvolvido um projeto de um sistema de automação cujo objetivo foi a integração de três máquinas usinadoras para a produção de pistões de motores a combustão. O sistema desenvolvido teve o intuito de substituir uma sequência de procedimentos manuais. Para funcionamento do sistema de automação foi utilizado um CLP e criado um software para gerenciamento geral e comunicação entre as máquinas. Foi desenvolvido também uma interface por meio de um Painel Eletrônico de Operação (PEO) e, por fim, foram utilizados um manipulador robótico e um servomotor, para movimentar os pistões através da linha de usinagem. Após a implantação do sistema de automação, foi visto que as demandas do cliente foram atendidas, pois a produtividade das duas principais máquinas de usinagem aumentou. Além disso, os recursos e *setups* disponíveis no PEO para configuração da produção se mostraram satisfatórios e o sistema de segurança instalado se mostrou adequado.

Palavras-chave: Sistemas de automação. Manipulador. Servomotor. Máquina CNC. CLP. PEO.

ABSTRACT

This paper shows how a project for an automation system was developed. The objective was the integration of three machines for the machining of combustion engine pistons. The developed system was intended to replace a sequence of manual procedures. For the operation of the automation system, a software for general management and communication between the machines for a PLC was created. An Electronic Operator Panel (EOP) interface was also developed and, finally, a robotic manipulator and a servomotor were used to move the pistons through the machining line. After the implementation of the automation system, it has been seen that the customer's demands were fulfilled, as the productivity of the two main machines were increased. In addition, the resources and *setups* available in EOP for production configuration proved to be satisfactory and the installed security system proved to be adequate.

Keywords: Automation system. Robotic Manipulator. Servomotor. CNC Machine. PLC. EOP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático de um Sensor Indutivo.	15
Figura 2 - Diagrama esquemático de um Sensor Magnético.	16
Figura 3 - Diagrama esquemático de um Sensor de Presença por Reflexão Difusa.	17
Figura 4 - Exemplo de Cilindro Pneumático de Dupla Ação Encontrado no Mercado.....	18
Figura 5 - Servomotor V90 Siemens.....	19
Figura 6 - Diagrama esquemático de um sistema de servomotor de indução bifásico CA.....	19
Figura 7 - Campos Magnéticos gerados por correntes alternadas.	20
Figura 8 - Topologia de acionamento do Servomotor.	21
Figura 9 - Junta e Elo de um Manipulador.	21
Figura 10 - Envelope de trabalho de um manipulador de três GDL.....	22
Figura 11 - Envelope de trabalho de um manipulador de seis GDL.	23
Figura 12 - Filosofia de montagem de um manipulador.	24
Figura 13 - Exemplo de movimentação de um manipulador.	24
Figura 14 - Diagrama de blocos sobre o controle de posições.	25
Figura 15 - Representação de uma típica arquitetura de CNC.....	26
Figura 16 - Representação da topologia de um CLP.	27
Figura 17 - Representação da Arquitetura CLP-PEO	28
Figura 18 - Comparação de interface de operação: com e sem utilização de PEO.....	29
Figura 19 - Sensor Indutivo Balluff.	31
Figura 20 - Sensor Magnético GHPC	32
Figura 21 - Sensor Ótico Keyence.....	32
Figura 22 - Componentes do acionamento pneumático.	32
Figura 23 - Componentes do servoacionamento.	33
Figura 24 - CLP utilizado no projeto Frenobrás.....	33
Figura 25 - PEO Delta.....	34
Figura 26 - Manipulador STEP - SA1400.....	35
Figura 27 - IHM de operação e programação do Manipulador.	35
Figura 28 - Dispositivos do sistema de segurança.....	36
Figura 29 - Foto do Painel elétrico durante a instalação em campo	37
Figura 30 - Diagrama de desenvolvimento do Projeto Frenobrás.	39
Figura 31 - Layout anterior da linha de usinagem.....	41
Figura 32 - Layout atual da Linha de Usinagem de Pistões.	44
Figura 33 - Exemplo de uma das telas do PEO – Modo Automático.....	50
Figura 34 - Pistão sendo passado do transportador para o manipulador.	50
Figura 35 - Manipulador trocando pistões na máquina Robodrill, um já usinado e o outro não.....	51
Figura 36 - Manipulador colocando um novo pistão para usinagem máquina Robodrill.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividade de pistões antes do sistema de automação ser implantado.	53
Tabela 2 - Simulação da produtividade do sistema de automação	54
Tabela 3 - Produtividade do sistema de automação implantado	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEORICO.....	12
2.1. Revisão da literatura	12
2.2. Fundamentos	14
2.2.1. Sensoriamento	14
2.2.1.1. Detectores de Presença Indutivos.....	15
2.2.1.2. Detectores de Presença Magnéticos (Reed Switch).....	15
2.2.1.3. Detectores de Presença Óticos	16
2.2.2. Atuadores.....	17
2.2.2.1. Cilindros Pneumáticos.....	17
2.2.2.2. Servomotor.....	18
2.2.3. Manipuladores Robóticos	21
2.2.4. Máquinas CNCs	25
2.2.5. CLP.....	26
2.2.6. Painéis Eletrônicos de operação	28
2.2.7. Normas Regulamentadoras Brasileiras	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. Materiais	31
3.1.1. Hardware.....	31
3.1.1.1. Instrumentação	31
3.1.1.2. CLP	33
3.1.1.3. PEO	34
3.1.1.4. Manipulador	34
3.1.1.5. Dispositivos de Segurança.....	36
3.1.1.6. Painel elétrico.....	36
3.1.2. Softwares.....	37
3.2. Métodos	37
3.2.1. Fluxo de desenvolvimento do projeto	37
3.2.2. Contextualização da situação anterior à implantação do projeto	40
3.2.3. Contextualização da situação posterior a implantação do projeto	41
3.2.4. Interação entre os principais elementos do projeto:.....	44
3.2.4.1. Interação CLP – PEO	44
3.2.4.2. Interação CLP – Manipulador	46
3.2.4.3. Interação CLP – Servomotor.....	47

3.2.4.4. Interação CLP – Máquinas.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5. CONCLUSÃO	58
REFERENCIAS.....	59
ANEXO A – ROTINA EM LADDER DE CONTROLE DO TRANSPORTADOR	62
ANEXO B – ROTINA PRINCIPAL DO MANIPULADOR.....	65
ANEXO C – TELAS DESENVOLVIDAS PARA IHM	68

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, principalmente após a chamada Terceira Revolução Industrial, foi visto cada vez mais o emprego de tecnologia microprocessada nos processos produtivos. Além disso, uma união de custo benefício com uma maior preocupação com a saúde do trabalhador tem pautado a substituição de mão de obra em operações consideradas repetitivas. Essas operações são fortemente atreladas à produção em série, sendo que na maioria dos casos, apenas um produto é montado em uma linha de produção, onde, por exemplo, um operador pode ser responsável por executar uma mesma sequência de ações específicas por um dia inteiro, durante meses ou anos de sua vida.

Por sua vez, com o avanço da utilização de manipuladores e de processos automatizados em geral, tem ocorrido um processo de substituição desses postos de trabalho considerados insalubres por sistemas cada vez mais rápidos, precisos e econômicos, uma vez que os primeiros possuem altas chances de acarretarem complicações nas condições de saúde dos trabalhadores.

Nesse contexto, a empresa Metalúrgica Frenobrás Ltda procurou a empresa Full Service Robótica e Automação Eireli com intuito de automatizar seus processos. A Metalúrgica Frenobrás se destaca no setor industrial fabricando peças para motores automotivos e para produtos de força. Ela atua como fornecedora de pistões para fabricantes de veículos como Volkswagen, Ford e Troller, além fabricar e comercializar kits de peças para motosserras e roçadeiras.

A Full Service, por sua vez, vale-se como uma empresa prestadora de serviços, realizando projetos de automação e reformas de máquinas industriais em geral, além de projetos com o foco em adequações de segurança relacionados à norma NR12, para máquinas e células de linha de produção.

A demanda da Frenobrás foi a integração de três máquinas usinadoras utilizadas em uma sequência presente nas últimas etapas de fabricação de uma linha de pistões. Sendo que, a Full Service propôs um sistema cuja integração se dá por meio do uso de um manipulador de seis Graus de Liberdade (GDL) e um CLP (controlador lógico programável) para centralização de controles e comunicações entre partes.

Antes da implantação do projeto, as máquinas eram conectadas por uma lógica de “*buffer*”, em outras palavras, uma primeira máquina inicialmente entrava em funcionamento até produzir uma determinada quantidade de peças, que eram armazenadas em um reservatório transportador e, em sequência, essas peças abasteciam as outras duas máquinas. Sendo que todo esse modo de execução era feito manualmente.

Assim, o objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é registrar, sob a modalidade de relatório técnico, o referido projeto, executado e implantado por colaboradores da empresa Full Service, que atendeu às demandas do cliente satisfatoriamente, conforme será exposto nas próximas seções.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1. Revisão da literatura

Na literatura foram encontrados alguns trabalhos cujas ferramentas e soluções adotadas são similares as que foram empregadas neste projeto, sendo os principais descritos a seguir.

Na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFP) em Ponta Grossa, CAMARGO (2013) determinou uma melhor estratégia de atualização tecnológica de um processo de encaixotamento automático. Para isso, foi utilizado um manipulador cartesiano com algumas adaptações mecânicas específicas. Além disso, foi desenvolvido um novo software de CLP, assim como, telas de um PEO para controle do processo. Foi necessário também a atualização da parte elétrica, e dessa forma, um novo painel elétrico foi implantado. Posteriormente a implantação, foi concluído que a atualização tecnológica com adaptações, sem a necessidade de compra de novos equipamentos, supriu as necessidades de produção, além de ter sido economicamente mais interessante. Nesse trabalho, apesar do uso de dispositivos de automação semelhantes e solucionarem uma demanda de uma máquina industrial, não foi criado um sistema novo como o **Projeto Frenobrás**. O objetivo era justamente adaptar o sistema já existente para novas demandas surgidas de processo e produção.

Em um artigo apresentado na *International Conference on Mechatronics and Automation*, ZHANG; ZHANG; WANG; CHEN; FUHLBRIGGE (2007) mostraram como foi a substituição de uma mão de obra que se destacava por ser inflexível por um sistema de automação utilizando três manipuladores robóticos em uma linha de montagem de pistões automotivos (além de utilização de controle de força para identificação de perfurações no cilindro dos motores). Foi concluído que a utilização dos três manipuladores industriais foi uma solução prática para instalação de pistões, sendo que o tempo de ciclo alcançado foi próximo do tempo da linha de montagem de motor com métodos convencionais. A otimização do método e programação do robô para identificação de parâmetros de montagem foi apontada como a próxima etapa para se atingir um desempenho ainda maior. O referido trabalho se aproxima ao **Projeto Frenobrás** por utilizar manipuladores para substituir mão-de-obra tradicional e também pela a preocupação com tempos de ciclos semelhantes ou

melhores que a linha de montagem convencional. Porém, não se relaciona com a produção do pistão em si, e sim com sua montagem no motor de combustão.

Na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), GUIDA (2018) teve como objetivo comum ao **Projeto Frenobrás** a substituição de mão-de-obra repetitiva e que demanda certa precisão. Foi utilizado um manipulador de seis GDL para automatizar um processo de produção de cabines automotivas, mais precisamente na etapa de soldagem de pinos. Foi feito a masterização do manipulador e o programa que o controla. O trabalho foi concluído com êxito, uma vez que a soldagem e o método de programação ocorreram de forma desejada.

Em um artigo apresentado na Revista Eletrônica Multidisciplinar Unifacear, MORAES; CASTANHEIRA; SAKOVICZ; PINO (2013) realizaram um estudo que visou demonstrar a viabilidade de implementação de um manipulador robótico em uma célula de usinagem de bielas automotivas. A célula, a qual apresentou-se como foco do estudo, era composta por dez estações de operação diferentes, que envolviam processos como de retífica de faces, mandrilhamento, perfuração, rosqueamento, etc. Antes da realização do estudo e implantação do projeto, três operadores eram responsáveis por transportar as bielas através das estações, em caixas que prejudicavam a ergonomia dos mesmos, além de causar danos as partes usinadas das bielas. Assim como o **Projeto Frenobrás**, como solução, foi desenvolvida e instalada uma esteira para conectar duas estações. Além disso, foi feito uso de um manipulador robótico para integrar as demais estações. O estudo mostrou que após a implantação do projeto, foram eliminados os riscos ergonômicos. Foi comprovada uma redução de aproximadamente 30% de refugo gerado durante o período avaliado. Além disso, foi visto que o tempo de manipulação do robô industrial não interferiu no tempo de execução da operação, uma vez que o tempo gasto nos processos de usinagem eram consideravelmente maiores. Por fim, foi calculado que o investimento seria absorvido em aproximadamente dois anos.

Na Universidade Tecnológica Federal de Santa Catarina (UTFP), em Florianópolis, FONTES (2015), com o objetivo de redução de problemas ergonômicos de operadores e de riscos de acidentes, além da melhoria da produtividade e qualidade de uma célula responsável pela produção de rotores de motores elétricos, propôs um novo layout de operação, assim

como os equipamentos necessários para essa modificação, realizando um estudo de tempos de produção, após a implantação de um sistema robótico. Foram utilizados dois softwares para a simulação do ambiente robotizado, bem como a validação do fluxo produtivo, *RobotStudio* e *Plant Simulation*, respectivamente. Conseguiu-se de forma satisfatória a redução de riscos ergonômicos presentes na célula, sem que houvesse perda produtiva, além da melhoria na qualidade do produto. Foi feito também um estudo que mostrou que o investimento em melhorias de todas as células teria retorno em até três anos e meio. Apesar das propostas realizadas não conseguirem aumentar a produtividade da célula porque foi identificado uma operação de balanceamento sendo o gargalo da operação, houve grande aceitação por parte da equipe de engenharia industrial da WEG.

Na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, BARROS (2006) apresentou uma solução de arquitetura de automação para controle de células de montagem de carrocerias automotivas, com intuito de servir como plataforma para futuras instalações na VW do Brasil. Utilizou-se da norma IEC 61131-3 para estruturação de softwares de programação dos CLPs. A arquitetura do sistema de automação foi composta por CLP, IHM (Interface homem-máquina), interface de rede, módulos de entradas e saídas remotas e manipuladores robóticos. Foi mostrado também que, uma parte essencial da estruturação da programação foi a utilização das linguagens Diagrama de Fluxo Sequencial (SFC) e Diagrama de Blocos de Funções (FBD). Ambas proporcionaram uma excelente forma para decomposição da aplicação de controle em unidades gerenciáveis. Por fim, foi concluído que, tanto a arquitetura de Hardware quanto a estruturação da programação, tornaram mais fácil o trabalho dos desenvolvedores de software, equipes de implantação, operação e manutenção. Uma vez que ficou mais clara a responsabilidade de cada uma das partes envolvidas no desenvolvimento operação da célula.

2.2. Fundamentos

2.2.1. Sensoriamento

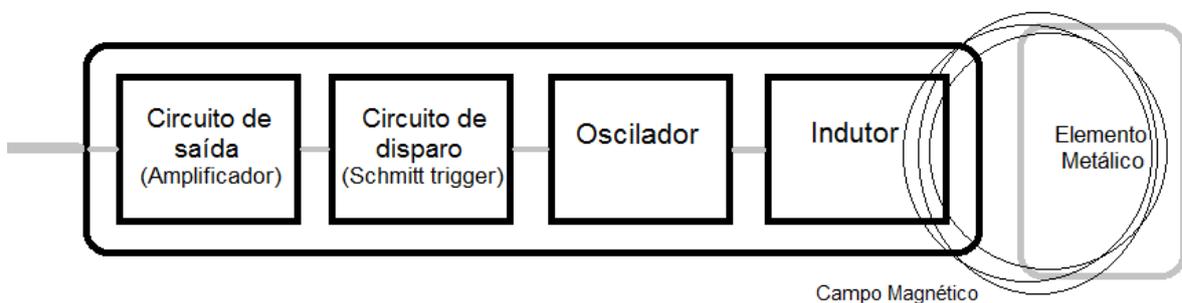
O sensoriamento utilizado no projeto teve como principal função o monitoramento da posição dos pistões, que seguem pela linha de usinagem quando o processo está em funcionamento nominal. Além disso, o sensoriamento funciona também como forma de retro

aviso, para confirmação de acionamento adequado dos atuadores. Os sensores utilizados foram os descritos a seguir.

2.2.1.1. Detectores de Presença Indutivos

Esse tipo de sensor fornece uma resposta binária de acordo com a presença de elementos metálicos e pode ser dividido em quatro partes principais: um indutor, que gera um campo magnético; um circuito oscilatório, que alimenta o indutor; um circuito de disparo; um circuito de saída. Esse conjunto de circuitos e partes que compõe o sensor pode ser visto na Figura 1 (ROGGIA, 2016). O funcionamento do dispositivo se dá por meio da ação do campo magnético gerado pelo oscilador e por uma bobina, posicionados na parte da frente do sensor. Mediante à proximidade de um corpo metálico, ocorre uma diminuição da energia associada ao circuito de oscilação, a amplitude do sinal do oscilatório diminui e aumenta-se a impedância do sensor (DU, 2015). Isso ocorre devido a presença do objeto metálico, pois correntes de Foucault são induzidas no mesmo. Assim, desde que haja variação na amplitude do sinal, um circuito do tipo Schmitt trigger é capaz de identificar a diminuição da energia. Dessa maneira, a última parte do sensor, o circuito de saída, é responsável por amplificar e externar esse sinal, que representa a presença ou a ausência de um elemento metálico. Neste projeto, esse tipo de sensor foi utilizado com o objetivo de avaliar se um atuador chegou ao seu fim de curso ou não.

Figura 1 - Diagrama esquemático de um Sensor Indutivo.



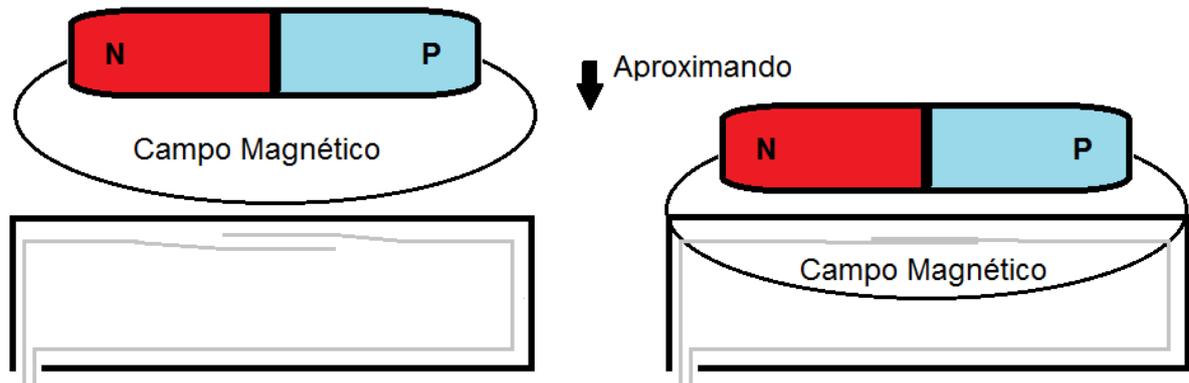
Fonte: Adaptado de ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo C. (2016)

2.2.1.2. Detectores de Presença Magnéticos (Reed Switch)

Esse tipo de sensor visa detectar a presença de elementos atrelados a um ímã. Este ímã, ao se aproximar do corpo do sensor, fecha o contato posicionado estrategicamente,

como visto Figura 2, permitindo a circulação de uma corrente elétrica (ROGGIA, 2015). Os sensores magnéticos empregados no projeto foram utilizados em atuadores pneumáticos e os sinais fornecidos representam se cilindro está avançado ou recuado.

Figura 2 - Diagrama esquemático de um Sensor Magnético.

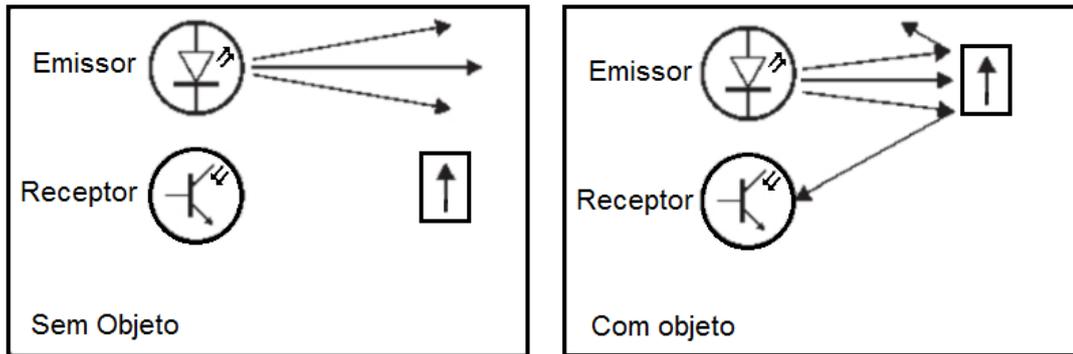


Fonte: Adaptado de ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo C. (2016)

2.2.1.3. Detectores de Presença Óticos

Entre as inúmeras aplicações dos sensores óticos, destaca-se para este projeto o sensor de presença por reflexão difusa, que possui emissor e receptor montados no mesmo elemento, como mostrado na Figura 3. O funcionamento se dá por um feixe luz ou *laser* emitido que, ao ser refletido por um objeto, aciona o receptor. Quando excitado, este receptor é capaz de gerar uma corrente elétrica, que pode ser interpretada como a presença de um objeto (THOMAZINI, 2012). É válido ressaltar que esse tipo de sensor é influenciado pela capacidade de reflexão daquilo que se deseja avaliar. No caso deste projeto, os objetos são os pistões de alumínio polido.

Figura 3 - Diagrama esquemático de um Sensor de Presença por Reflexão Difusa.



Fonte: THOMAZINI (2012)

2.2.2. Atuadores

Os atuadores são elementos que possuem a capacidade de interferir no ambiente em que estão instalados, sempre com uma finalidade específica. Neste projeto, foram utilizados dois tipos de atuadores: um de acionamento mecânico (por cilindros pneumáticos) e outro de acionamento elétrico/eletrônico (servomotor).

2.2.2.1. Cilindros Pneumáticos

São elementos que se utilizam de ar comprimido para gerar um movimento linear (conversão de energia armazenada no ar comprimido para trabalho mecânico) (SILVEIRA, 2017). Entre os mais utilizados no mercado, destacam-se dois grupos: os de simples e os de dupla ação. Os primeiros possuem apenas um solenoide de atuação (comutação por válvula), de forma que o avanço, por exemplo, é realizado por ação da pressão do ar e o retorno, quando a válvula é fechada, se dá por ação de uma mola. Já os de dupla ação, são formados por dois conjuntos de acionamentos independentes, sendo que um circuito pneumático é responsável pelo avanço e outro pelo o retorno (BONACORSO, 2006), sem a necessidade de utilização de molas. Na Figura 4, vê-se um cilindro de dupla ação, tipo o qual foi utilizado no projeto.

Figura 4 - Exemplo de Cilindro Pneumático de Dupla Ação Encontrado no Mercado.



Fonte: GHPC (2021)

2.2.2.2. Servomotor

São atuadores de acionamento elétrico/eletrônico, podendo ser definidos como motores elétricos com velocidade e posicionamento controlados por tensão, corrente e frequência. Para isso, há um *encoder* (ou *resolver*) que realimenta o valor da posição, promovendo um controle em malha fechada que se adequa muito bem à diversas aplicações (SILVEIRA, 2016). Os servomotores podem ser classificados como CA (corrente alternada) e CC (corrente contínua). Além disso, os de corrente alternada podem ser subdivididos em síncronos e de indução. Na Figura 5 é possível observar um exemplo de servomotor síncrono de corrente alternada.

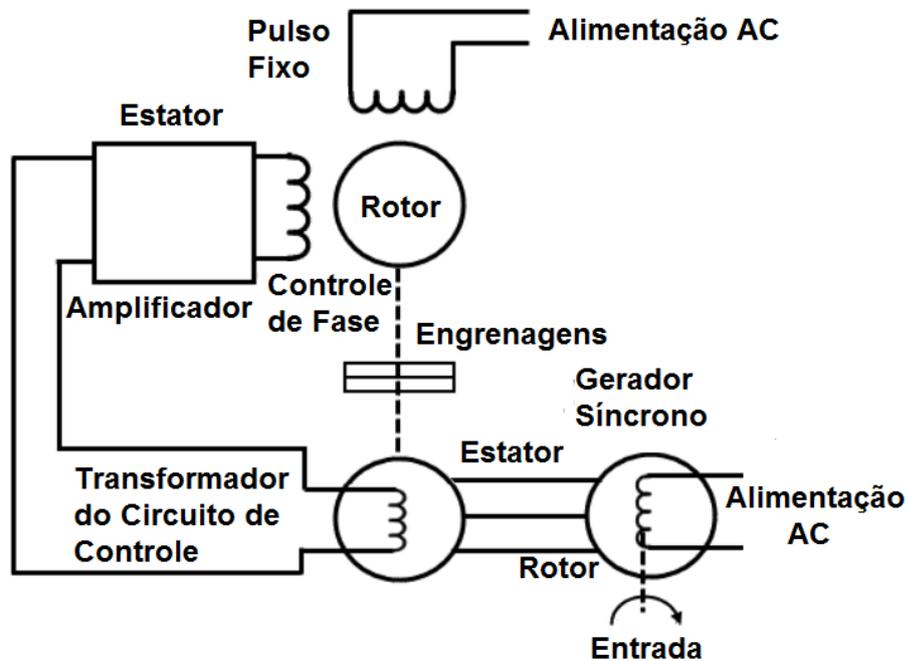
Figura 5 - Servomotor V90 Siemens.



Fonte: SIEMENS (2021)

O servomotor síncrono de corrente alternada é composto por duas partes principais, *estator* e rotor. O estator consiste em um núcleo e uma estrutura cilíndrica, onde um fio condutor fornece energia à bobina que se localiza enrolada ao núcleo (SILVEIRA, 2016). A segunda parte, o *rotor*, tem como característica valer-se como um ímã permanente, dispensando o uso de escovas (*brushless*), como pode ser visto na Figura 6.

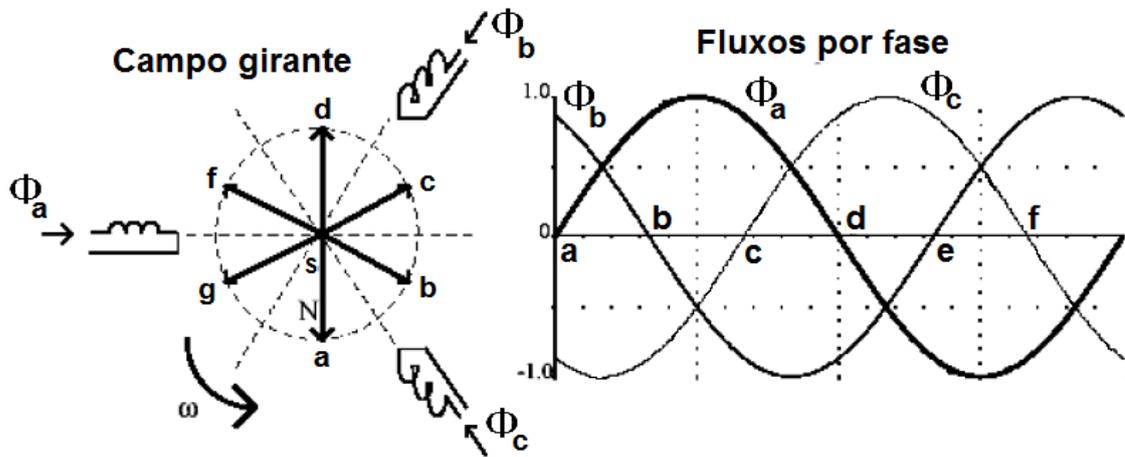
Figura 6 - Diagrama esquemático de um sistema de servomotor de indução bifásico CA



Fonte: SILVEIRA (2016)

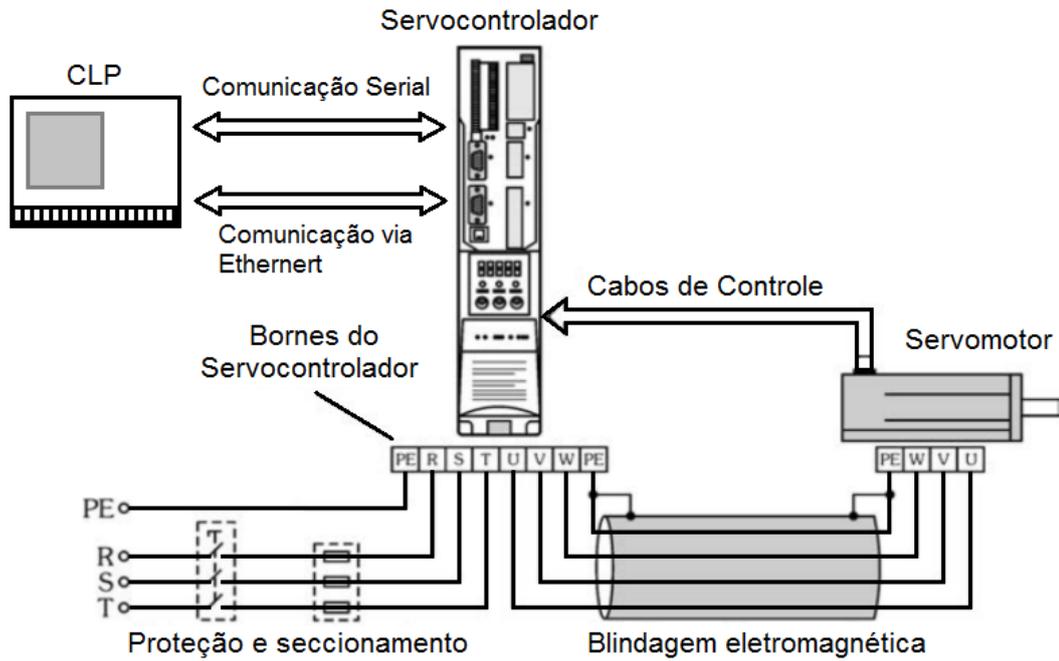
Outro ponto importante a se destacar é que, apesar de serem parecidos com motores de corrente alternada comuns, a relação de fluxo por fase dos servomotores se difere bastante dos primeiros (Figura 7) (SILVEIRA, 2016). Essa característica cria a necessidade de que o servomotor seja alimentado por um servoconversor (*servodrive*), de acordo com a topologia que pode ser vista na Figura 8. Para aplicações mais complexas que envolvem ciclos ou interações entre diferentes elementos de um sistema de automação, é possível utilizar um Controlador lógico Programável (CLP) para interpretação dos dados gerados pelo conjunto servomotor e servodrive, como visto também na Figura 8.

Figura 7 - Campos Magnéticos gerados por correntes alternadas.



Fonte: SILVEIRA (2016)

Figura 8 - Topologia de acionamento do Servomotor.

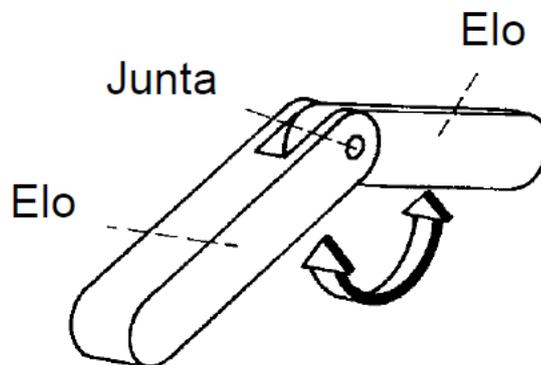


Fonte: CARVALHO (2011)

2.2.3. Manipuladores Robóticos

A maior parte da robótica industrial é composta por “braços articulados”, ou melhor dizendo, um conjunto de elos e juntas, como visto na Figura 9. Normalmente, esses são de base fixa, sendo assim, são considerados como manipuladores robóticos.

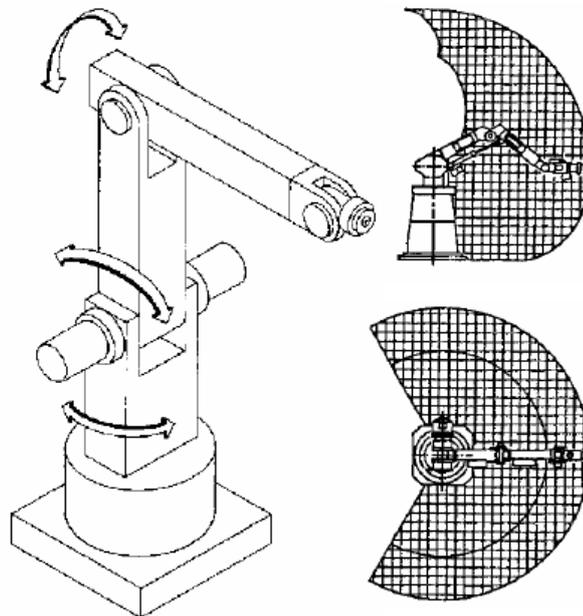
Figura 9 - Junta e Elo de um Manipulador.



Fonte: SANTOS (2004)

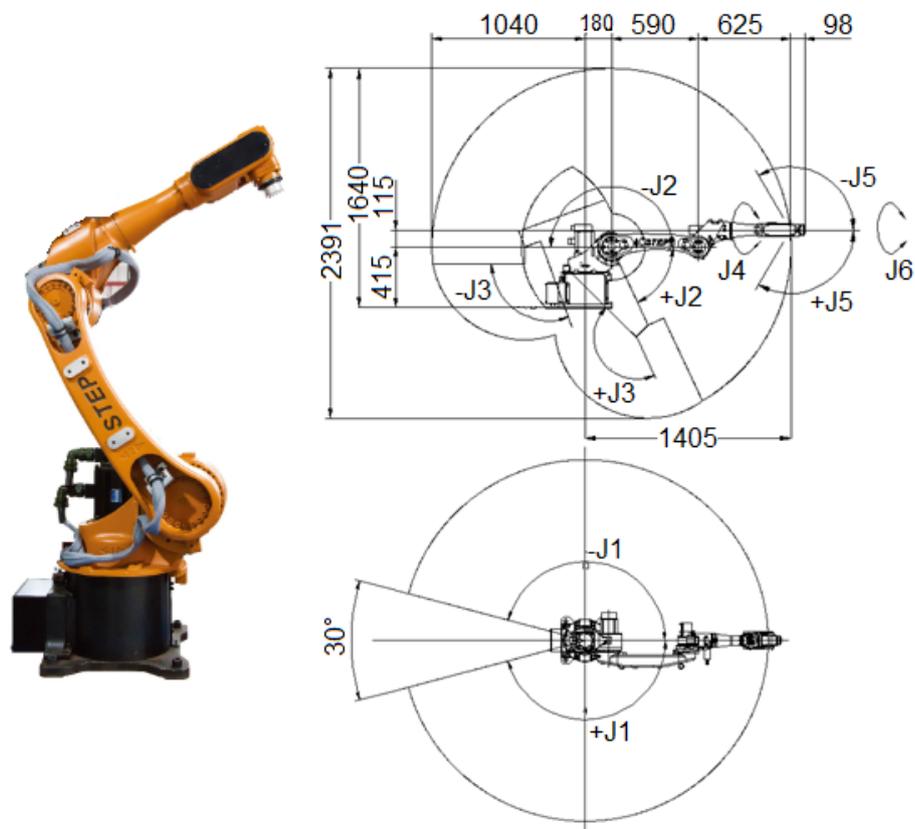
Dessa forma, um manipulador de seis Graus de Liberdade (GDL) possui seis conjuntos de articulações conectados (seis juntas), formando assim uma cadeia cinemática aberta, já que a outra extremidade pode se mover livre no espaço (LOPES, 2002), o que possibilita de aplicações mais generalizadas. Por outro lado, manipuladores constituídos, por exemplo, de três GDL, são geralmente destinados à aplicações mais específicas. Nas Figuras 10 e 11 podem ser vistos exemplos de manipuladores de três e seis GDL, bem como seus respectivos envelopes de trabalho.

Figura 10 - Envelope de trabalho de um manipulador de três GDL.



Fonte: CRAIG (2005)

Figura 11 - Envelope de trabalho de um manipulador de seis GDL.



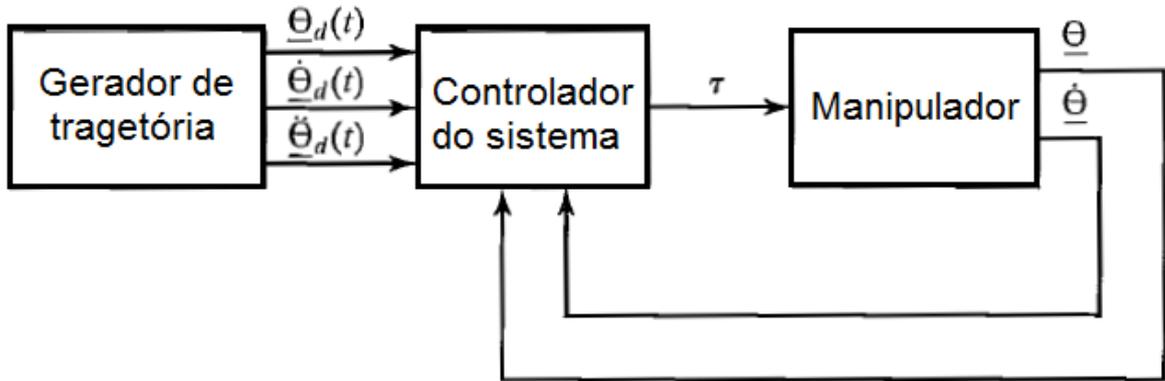
Fonte: STEP (2015)

Por sua vez, as juntas podem ser constituídas de tecnologias hidráulicas ou pneumáticas, porém o mais comum que sejam mesmo constituídas de servomotores (SILVA, 1999), que garantem a elas a precisão necessária para diversas aplicações, como processos de solda de componentes, movimentação de objetos, ou mesmo em medicina, sendo utilizados em cirurgias complexas.

Para a movimentação de um manipulador, é possível adotar diferentes abordagens, como por exemplo, segundo STEP (2015):

- a. Linear ou translação. No primeiro grupo, geralmente uma coordenada de referência é mantida enquanto outras são alteradas dinamicamente de acordo com o movimento executado pelo manipulador.
- b. Movimentos de junta. Que são executados rotacionando-se as juntas associadas ao movimento de interesse, e por vez, não ocorre a de manutenção de alguma referência ou coordenada como no primeiro grupo.

Figura 14 - Diagrama de blocos sobre o controle de posições.



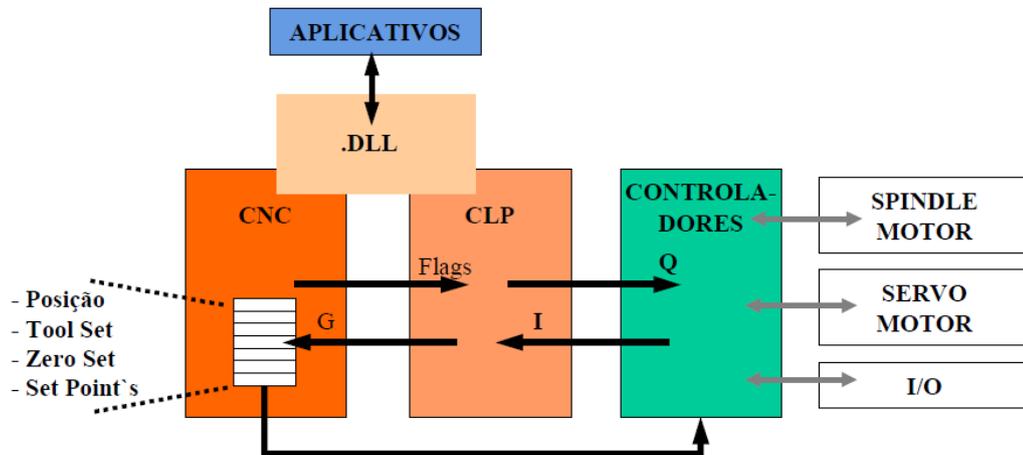
Fonte: CRAIG (2005)

2.2.4. Máquinas CNCs

Máquina com Comando Numérico Computadorizado (CNC) é o termo que designa um torno automático que realiza processos específicos no meio industrial. Segundo COELHO (1999), o CNC é um equipamento eletrônico capaz de receber e enviar dados em formato de comandos de máquina-ferramenta, executando uma tarefa automática, ou seja, sem a necessidade de intervenção do operador, após o processo ter sido iniciado.

Conforme FERRAZ (2002), costumeiramente a linguagem de programação de uma máquina CNC é a G, que se baseia nas etapas e condições de usinagem a serem executadas. Esse conjunto de parâmetros representa informações que são transmitidas ao CLP e aos outros controladores, com a finalidade de que se executem suas funções adequadamente. Exemplo de parâmetros importantes para usinagem são: avanço ou recuo, velocidade de avanço, velocidade de rotação, etc (FERRAZ, 2002). Na Figura 15 pode-se observar uma configuração típica de um CNC com arquitetura aberta (nessa, o acesso e modificações de dados é permitido).

Figura 15 - Representação de uma típica arquitetura de CNC.



Fonte: FERRAZ Jr., Fábio (2002)

2.2.5. CLP

Geralmente, os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) podem ser considerados como a parte central de um sistema de automação. Historicamente, foram criados para substituir sistemas cuja a lógica automática se baseava na interligação de dispositivos eletromecânicos. De acordo com *International Electrotechnical Commission*, um CLP pode ser definido como:

“Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas.”

Em muitos aspectos, o CLP pode ser entendido como um computador convencional, porém desenvolvido para um ambiente industrial. Isso significa que o CLP é um dispositivo robusto, passível de ser submetido à expansão de entradas e saídas, possui uma lógica de processamento voltado para processos em tempo real e pode ser programado por meio de linguagens simples, que se adequam facilmente às lógicas de acionamentos elétricos.

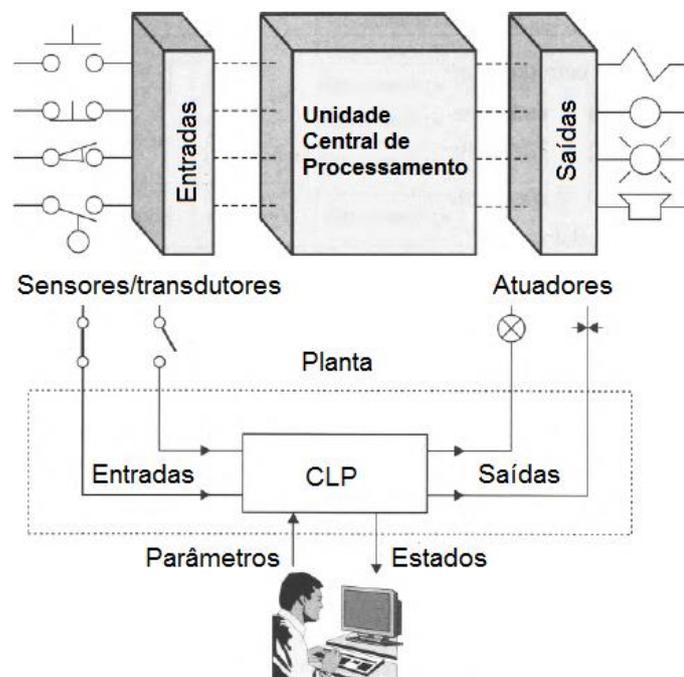
De acordo com FRANCHI e CAMARGO (2008), os CLPs podem ser divididos em três partes bem definidas (como pode ser visto na Figura 16):

1. Entradas: conectadas à sensores e elementos de interface que convertem a condição física de algum elemento em sinal elétrico.
2. Saídas: conectadas aos atuadores, que convertem os sinais elétricos produzidos pelo CLP em uma condição física.
3. CPU: responsável por processar as informações de maneira previamente programada. E então, de acordo com as entradas e lógica interna, definir as saídas.

Outro ponto importante a ser observado sobre um CLP é o funcionamento de seu processamento. De acordo com FRANCHI e CAMARGO (2008), o ciclo de funcionamento sempre segue uma determinada sequência:

- 1) Leitura das entradas;
- 2) Processamento do programa;
- 3) Escrita de valores nas saídas.

Figura 16 - Representação da topologia de um CLP.

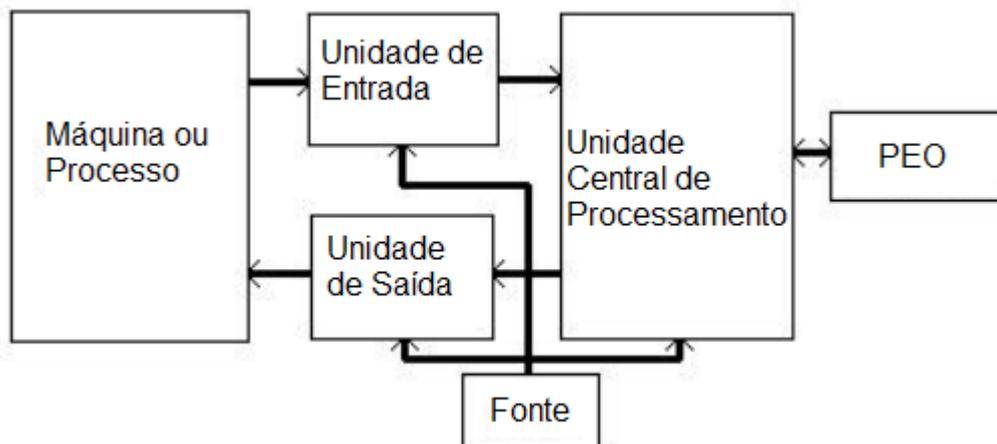


Fonte: FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. de. (2008)

2.2.6. Painéis Eletrônicos de operação

Com a evolução de sistemas de automação em geral e, principalmente, com o surgimento das redes de dados, foi possível a utilização de dispositivos microprocessados para a implementação de interfaces, virtualizando, em uma tela, elementos como botoeiras, chaves seletoras, lâmpadas sinalizadoras, indicadores grandezas físicas, etc. Nesse contexto, o Painel Eletrônico de Operação (PEO) surgiu como elo entre o operador e a máquina, representando uma maneira mais amigável de se acessar funcionalidades desta última (PUPO, 2002), como se pode ver na Figura 17. Com essa interface gráfica, o operador pode selecionar receitas, averiguar e configurar a quantidade de produtos produzidos, por exemplo. Além, é claro, de operar manualmente determinados atuadores. Outra vantagem da utilização de PEOs é a redução do uso de elementos elétricos mencionados anteriormente, evitando uma poluição visual no painel de operação, uma vez que no PEO pode-se criar diversas páginas para operações específicas, deixando a maneira de se operar a máquina mais organizada. Como pode ser visto na Figura 18, que compara uma interface de operação que não possui PEO com uma que possui.

Figura 17 - Representação da Arquitetura CLP-PEO



Fonte: PUPO, Maurício S. (2002)

Figura 18 - Comparação de interface de operação: com e sem utilização de PEO



Fonte: Do Autor (2021)

2.2.7. Normas Regulamentadoras Brasileiras

A Norma Regulamentadora 12 começou a ter suas primeiras versões em 1978 e veio sofrendo ajuste pontuais durante os anos até 2010, quando sofreu uma completa revisão, passando a compreender melhor os avanços tecnológicos e as demandas da sociedade (GOV, 2021). A NR12 tem com objetivo definir as técnicas, procedimentos e medidas de proteção para operadores de máquinas e equipamentos industriais, agrícolas, automotivos, etc. Sistemas de Segurança são caracterizados por proteções mecânicas, dispositivos de segurança e medidas administrativas (GOV, 2021). As proteções mecânicas podem ser chamadas também de Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) e são equipamentos cujo objetivo principal é proteger os operadores de uma área de risco da máquina em questão. Pode-se citar como exemplo de dispositivos de segurança: chaves de segurança, contatores, relés de segurança, botões de emergência, botões de rearme de sistema, etc. Já as medidas administrativas podem ser exemplificadas citando treinamento de operadores para uma operação mais segura da máquina em questão.

A Norma Regulamentadora, 10 assim como a 12, teve suas primeiras versões 1978 e veio a sofrer maiores revisões em 2010. A NR10 estabelece os requisitos e condições mínimas para a implantação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interajam em instalações elétricas (GOV, 2021). Exemplos de medidas tomadas caracterizadas pela NR10 são: aterramento funcional,

incluindo todas as partes metálicas da máquina, uso de dispositivos DR, organização dos cabos e identificação, etc.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Devido às características do sistema implantado, os materiais foram divididos em itens de Hardware e Software, e por conseguinte outras subdivisões foram criadas para melhor diferenciação de cada parte do projeto.

3.1.1. Hardware

3.1.1.1. Instrumentação

Foram utilizados três tipos de sensores em toda a linha de usinagem. Os sensores indutivos e magnéticos foram utilizados, em suma, para a confirmação de acionamento adequado de atuadores pneumáticos. Já sobre os sensores óticos, foram colocados em locais estratégicos na linha, de forma a informar a presença dos pistões, assim como fornecer um meio de contabilizar as peças que passam por cada etapa da linha de usinagem. Por sua vez, quanto aos atuadores, é possível considerar dois elementos principais: pneumático, que corresponde ao conjunto válvula e cilindro, para acionamento; e um conjunto servomotor e drive.

Mais especificamente, a relação dos sensores e atuadores utilizados foi a seguinte:

- Trinta e um sensores indutivos do fabricante Balluff (modelo BES M08MI-PSC30B-S49G), conforme pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Sensor Indutivo Balluff.



Fonte: BALLUFF (2021)

- Dois sensores magnéticos do fabricante GHPC (modelo SM-07P-M8), conforme pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Sensor Magnético GHPC



Fonte: GHPC (2021)

- Quatro sensores óticos do fabricante Keyence (modelo LR-ZH490CB), conforme pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 - Sensor Ótico Keyence



Fonte: KEYENCE (2021)

- Dezoito conjuntos de válvula e cilindro pneumático do fabricante GHPC (modelos: VB1-D-24D e CTN 40–30, respectivamente), conforme pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 - Componentes do acionamento pneumático.



Fonte: GHPC (2021)

- Um conjunto de Servomotor e Drive do fabricante Delta (modelos: ECMA-C20807RS e ASD-B2-0721-B, respectivamente), conforme pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Componentes do servoacionamento.



Fonte: DELTA (2021)

3.1.1.2. CLP

O CLP utilizado no projeto foi do fabricante Delta (modelo DVP28SV11T2) (Figura 24). Esse CLP possui dezesseis entradas e doze saídas incorporadas em sua CPU, além de uma capacidade de expansão para 512 entradas e saídas. Possui duas portas de comunicação, sendo elas RS232 e RS485, compatíveis com o protocolo de comunicação serial Modbus ASCII//RTU. Possui ainda quatro saídas capazes de gerar pulsos em frequência de até 200KHz. À CPU foram adicionados um cartão de expansão de 32 entradas e dois cartões de 16 saídas, para atender as demandas do projeto. Os modelos utilizados foram, respectivamente: UB-10-ID32A e DVPAETB-OR16A.

Figura 24 - CLP utilizado no projeto Frenobrás.

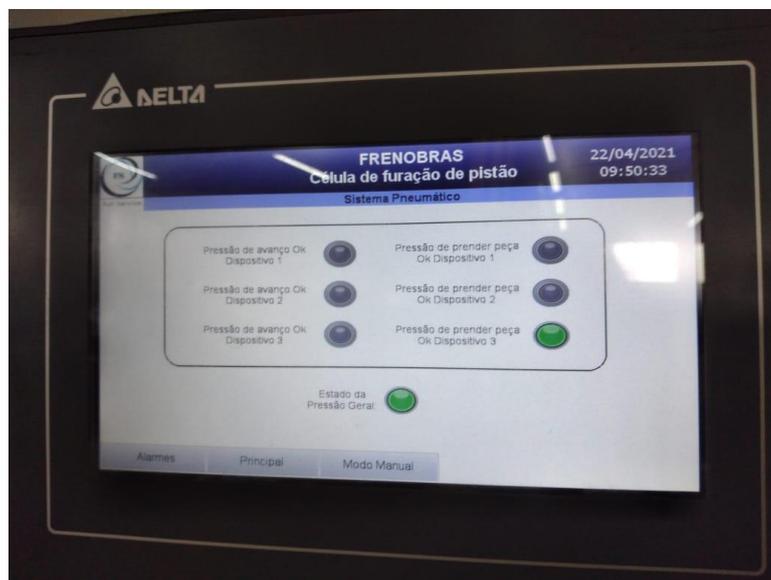


Fonte: DELTA (2021)

3.1.1.3. PEO

O PEO utilizado no projeto também foi do fabricante Delta (modelo DOP – 107CV) (Figura 25). Esse modelo possui: tela LCD de sete polegadas com resolução de 800 x 480 Pixels; memória RAM de 256 Mbytes; entradas USB e para cartão SD; três portas seriais de comunicação, COM1 (RS232), COM2 (RS232 ou RS485), COM3 (RS422); suas dimensões são 215 mm de largura, 161 mm de comprimento e 61.2 mm de profundidade.

Figura 25 - PEO Delta.



Fonte: Do Autor (2021)

3.1.1.4. Manipulador

O manipulador utilizado no projeto foi fabricado pela STEP (modelo SA1400) (Figura 26). Esse modelo apresenta base fixa e possui seis graus de liberdade. Além disso, suas juntas são constituídas de servoacionamento. Esse modelo é indicado para operações que envolvem soldagem, carregamento de pacotes, corte, etc. Possui as seguintes velocidades máximas associadas às suas juntas (na sequência, considerando da base a ponta): J1 150°/s; J2 150°/s; J3 160°/s; J4 360°/s; J5 320°/s; J6 360°/s. Suporta cargas de até 6kg para o conjunto ferramenta ou pacote para carregamento. Sua precisão de posicionamento é de ± 0.05 mm.

É interessante citar ainda que, como visto na Figura 26, ao punho do manipulador foi adicionado duas garras dispostas em 90°.

Figura 26 - Manipulador STEP - SA1400



Fonte: STEP (2015)

É interessante citar que para a programação do manipulador foi utilizada a própria interface de operação e programação do mesmo (Figura 27). A programação nesse dispositivo se dá por meio de uma interface intuitiva, que fornece estruturas baseadas na linguagem C.

Figura 27 - IHM de operação e programação do Manipulador.



Fonte: Do Autor (2021)

3.1.1.5. Dispositivos de Segurança

A segurança da célula de produção foi um dos pontos pedidos pelo cliente e as soluções propostas (conforme as Norma Regulamentadoras 10 e 12) envolveram: a instalação de um equipamento de proteção coletiva (EPC), que consistiu em uma grade protetora em toda a linha de usinagem, chaves de segurança monitoradas, para guardar as portas de entrada da célula e botões de emergência dispostos em pontos estratégicos, além de uma interface de segurança, que consistiu em um relé de segurança e botão para rearme do sistema. A seguir, os dispositivos que podem ser observados na Figura 28, são quantificados conforme suas respectivas utilizações nesta célula de produção.

- Três Chaves de Segurança do fabricante WEG (modelo CIS-MM21A);
- Três Botões de Emergência do fabricante WEG (modelo CEW-BEGM-02000000);
- Dois Rele de Segurança do fabricante WEG (modelo CP-D 24VDC);
- Um Botão *reset* do fabricante WEG (modelo CEW-BFIM0-WH).

Figura 28 - Dispositivos do sistema de segurança



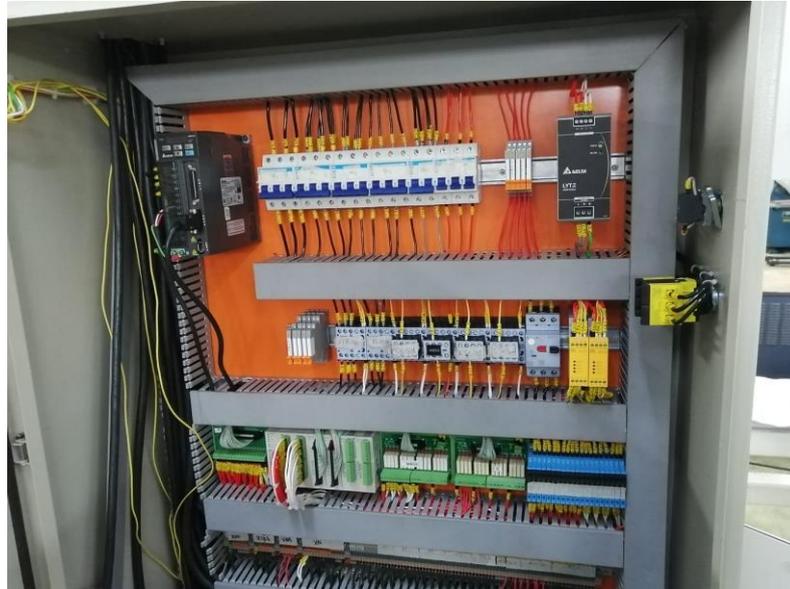
Fonte: Adaptado de WEG (2021)

3.1.1.6. Painel elétrico

Muitos dos dispositivos do painel elétrico foram anteriormente descritos, com exceção dos dispositivos de proteção, de acionamento e fonte de alimentação. A fonte utilizada foi Delta Lyte 24VDC. Exemplificando um dispositivo de proteção utilizado, pode-se citar o disjuntor tripolar 6A, CURVA C, 230/400V WEG MDW-C6-3 (utilizado contra sobrecorrente).

Exemplificando um dos dispositivos de acionamento, cita-se o rele 24VDC/AC, 6A, 1NA/NC Finder 39.11.024.0060. Esses dispositivos podem ser vistos na Figura 29, a seguir.

Figura 29 - Foto do Painel elétrico durante a instalação em campo



Fonte: Do Autor (2021)

3.1.2. Softwares

A programação do CLP foi feita na linguagem *Ladder* e foi utilizada a plataforma ISPSOft v3.08 da Delta Electronics, por meio da qual foi possível simular o projeto antes do comissionamento. Já para a criação das telas do PEO, foi utilizada a ferramenta DOPSOft v4.00.10, também da Delta Electronics. Além disso, para a simulação do programa desenvolvido, foi utilizado um outro software da mesma empresa chamado COMMGR v1.11, que fez o papel de criar uma comunicação virtual entre ISPSOft e DOPSOft.

3.2. Métodos

3.2.1. Fluxo de desenvolvimento do projeto

A Figura 30 apresenta de forma sintetizada como ocorreu o desenvolvimento do projeto de automação para a empresa Frenobrás, podendo ser formatado como exemplo da relação de uma empresa integradora (Full Service) com seu cliente final.

Inicialmente, houve conversas entre os dois gerentes das empresas, sobre as perspectivas de melhora na produção de um produto da Frenobrás.

Com a evolução da situação, um gerente de projetos da Full Service participou de uma segunda reunião, para discutir com os representantes da Frenobrás, os detalhes das demandas e os requisitos para o funcionamento da linha de usinagem.

Posteriormente, com um escopo inicial já definido, iniciou-se o projeto mecânico e, em sequência, foram criados um total de três conceitos de projeto, até que o cliente aprovasse e disparasse a compra de materiais, a fabricação dos dispositivos, do transportador e dos demais equipamentos.

Assim, já definido o conceito do projeto mecânico e iniciada sua produção, foi desenvolvido o projeto elétrico, assim como a instrumentação e a configuração de hardware necessária para funcionamento geral da linha. Um ponto importante a ser mencionado é que as restrições impostas pelo cliente influenciaram nesse momento, já que ele indicava a utilização de certos equipamentos que já possuía em seu estoque. Nesse estágio do desenvolvimento do projeto, iniciou-se a participação deste autor, em conjunto com uma engenheira eletricista e um técnico em mecatrônica e elétrica.

A etapa anterior culminou no início das seguintes tarefas: desenvolvimento do software do CLP e do PEO e a programação das rotinas do manipulador robótico. Nesse momento, foram feitas várias simulações para um melhor entendimento das interações entre esses equipamentos para assim passar para um próximo estágio.

O último estágio de desenvolvimento consistiu na implantação do projeto na empresa Frenobrás, onde foram realizados vários testes para ajuste fino das operações como um todo, e por fim, alguns dias de uma operação assistida com treinamento dos operadores responsáveis por dar seguimento na produção.

Figura 30 - Diagrama de desenvolvimento do Projeto Frenobrás.

Diagrama de desenvolvimento do Projeto Frenobrás



Fonte: Do Autor (2021)

3.2.2. Contextualização da situação anterior à implantação do projeto

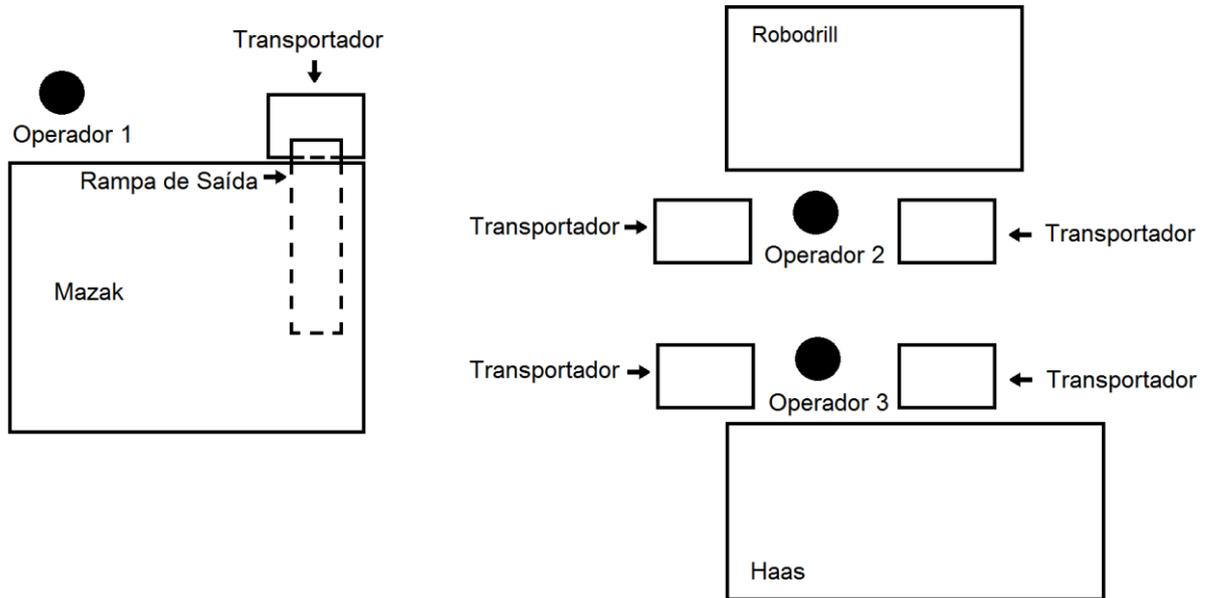
Anteriormente à implantação, não havia uma linha automatizada de usinagem de pistões, sendo que apenas uma sequência na qual os processos de usinagem deveriam ser executados era seguida por meio de vários procedimentos manuais. Em outras palavras, operações isoladas eram feitas em três máquinas CNCs e todo o transporte de pistões em fabricação, de uma máquina a outra, dava-se manualmente, assim como a inserção dos produtos nas máquinas das últimas etapas do processo e a operação das mesmas.

O layout de operação antigo é representado na Figura 31. Nele é possível verificar a existência de 3 máquinas CNCs: *Mazak*, *Robodrill* e *Haas*. A primeira tem a função de executar duas operações de perfurações e usinagem de ranhuras. Já as duas últimas, executam outra perfuração e usinagens de acabamentos.

Essas máquinas funcionavam seguindo a lógica descrita a seguir:

- I. O primeiro processo de usinagem acontecia na *Mazak* e o Operador 1 era responsável tanto pelo abastecimento de pistões, quanto pela operação da própria máquina. A máquina, por sua vez, sempre que finalizada a usinagem de um pistão, depositava-o em uma rampa de saída que o levava a um transportador. O Operador 1 era responsável ainda por decidir, por bom senso, se o transportador estava suficientemente cheio para ser levado a outro processo. Quando isso acontecia, um novo transportador vazio era posicionado para ser preenchido.
- II. O segundo processo de usinagem era feito em paralelo nas duas outras máquinas (*Robodrill* e *Haas*), que apesar de diferentes marcas e modelos, realizavam a mesma operação. Dessa forma, outros dois operadores (2 e 3) eram responsáveis por buscar um transportador cheio da *Mazak* e realizar o processo nas suas respectivas máquinas. Assim que cada pistão era devidamente finalizado, os operadores em questão os colocavam em novos transportadores, e quando finalizavam o processo, eram responsáveis por levar os pistões a um outro local, para a realização da limpeza final de cada peça.

Figura 31 - Layout anterior da linha de usinagem.



Fonte: Do Autor (2021)

Uma observação importante é que, segundo funcionários da Frenobrás, nem sempre a empresa dispunha dos três operadores para todos os processos e, dessa forma, a produção ocorria de forma reduzida.

Assim, com o objetivo de otimizar este processo de usinagem e acrescentar uma contagem de peças, surgiu a demanda do cliente. De forma mais elaborada, tal demanda pode ser descrita por meio dos itens especificados seguir:

- I. Diminuir a quantidade de operadores para apenas um.
- II. Prover uma interface mais eficiente para operação da linha.
- III. Criar uma contagem de peças em tempo real para cada etapa da linha, com visualização no PEO.
- IV. Possibilitar acionamentos manuais para cada atuador pelo PEO.
- V. Criar telas de alarmes atuais e em histórico.
- VI. Promover um sistema de segurança para toda a célula de produção.

3.2.3. Contextualização da situação posterior a implantação do projeto

Após a implantação do projeto, as três máquinas foram conectadas com uma lógica que respeita a sequência previamente existente. De forma que o pistão, ao passar pela Linha

de Usinagem, é recebido pela *Mazak* e segue para o processo seguinte, passando pela máquina *Robodrill* ou pela *Haas*. É interessante destacar de que maneira essa sequência de ação se dá e quais dispositivos são responsáveis por transportar os pistões em cada etapa. Na Figura 32 é possível observar como foi configurado a sequência de ações descrita a seguir:

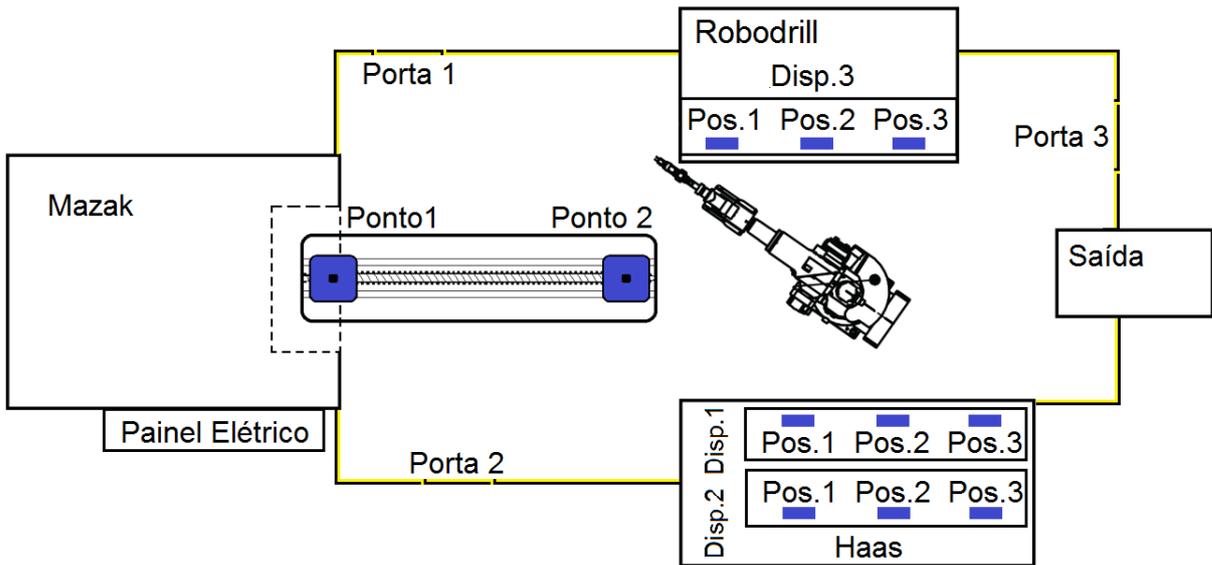
1. Inicialmente, o operador da máquina precisa abastecer a *Mazak* manualmente com pistões, como anteriormente à automatização. Então, após o primeiro processo de usinagem na própria *Mazak*, as peças precisam ser depositadas em um mesmo lugar, sendo ele o Ponto 1, no gabarito no transportador (que pode ser visto em azul na Figura 32). É importante mencionar que *Mazak* recebe um sinal do CLP, informando qual é o momento adequado para depositar uma nova peça. Essa decisão é composta por uma combinação entre dois sinais: desde que, no Ponto 1, o sensor indutivo esteja em alto e o ótico, que avalia a presença da peça esteja em nível lógico baixo, é considerado o momento para se adicionar um novo pistão no transportador. Assim que a peça é colocada por um dispositivo da própria *Mazak* neste ponto, os sensores óticos informam ao CLP. São utilizados dois sensores, um apontado para o local onde o pistão precisa ficar e outro apontado para o dispositivo que o coloca no lugar. Essas informações são importantes, pois sempre que existe uma peça no gabarito (primeiro sensor) e o dispositivo está em uma posição de retorno (segundo sensor), significa que o transportador está em condição de se movimentar para o Ponto 2 (local onde o manipulador pega os pistões para encaminhá-los à próxima etapa). Esse conceito de gabarito é muito importante para determinados projetos que envolvem manipuladores industriais, já que é uma das formas de garantir que o produto, peça ou outro objeto qualquer esteja sempre no lugar correto para ser capturado pelo manipulador, garantindo que processos que precisem de acurácia sejam feitos adequadamente. É possível citar, que existem manipuladores robóticos dotados de visão computacional, técnica que também fornece meios de garantir o posicionamento correto de algum produto manipulado.
2. Desde que o transportador esteja no Ponto 2, um sensor indutivo é acionado. Se houver um pistão no transportador (outro sensor ótico é utilizado para essa informação), o transportador permanece lá até que o manipulador esteja

desocupado e pegue esse pistão. Assim, para completar a explicação do funcionamento do transportador, quando o sensor indutivo do Ponto 2 está em nível lógico alto e o sensor ótico do mesmo ponto está em nível lógico baixo, o transportador retorna ao Ponto 1, onde espera o recebimento de outro pistão.

3. Assim, após o trabalho feito pelo transportador, cabe ao manipulador executar o procedimento descrito a seguir:
 - a. Buscar o pistão no Ponto 2 do transportador.
 - b. Desde que seja o momento correto, colocar o pistão na Posição 1, 2 ou 3 da Máquina *Robodrill*, dependendo ainda do modo de trabalho selecionado no PEO.
 - c. Desde que seja o momento correto, colocar o pistão na Posição 1, 2 ou 3 da Máquina *Haas*, dependendo ainda do modo de trabalho selecionado no PEO.
 - d. Quando o processo de usinagem termina, seja da máquina Haas ou Robodrill, ocorre a retirada dos pistões e o depósito na caixa de saída.

É importante citar que as Posições 1,2 e 3 dentro de *Robodrill* e as Posições 1, 2 e 3 da *Haas* são os lugares em que o manipulador pode colocar os pistões. Essa numeração faz-se necessária pois, uma das configurações existentes de setup de produção é justamente a quantidade de pistões a serem usinados por cada máquina. Além disso, ao punho do manipulador foi adicionado um dispositivo que é composto por duas garras disposta em ângulo de 90°. Dessa forma, foi possível executar o movimento de “troca”, ou seja, retirar um pistão finalizado e logo em seguida colocar um a ser usinado.

Figura 32 - Layout atual da Linha de Usinagem de Pistões.



Fonte: Do Autor (2021)

3.2.4. Interação entre os principais elementos do projeto:

Uma vez que a trajetória a ser percorrida pelos pistões foi descrita, assim como as diferentes operações que o transportador e o manipulador devem realizar para o funcionamento geral da linha de usinagem, pode-se detalhar como se dá a interação entre os principais elementos envolvidos neste processo, conforme relatado nos próximos subtópicos.

É importante destacar ainda a função do CLP na Linha de Usinagem, pois ele centraliza toda a operação, recebendo todos os sinais, tanto de sensores dispostos pela linha quanto advindos das máquinas de usinagem e do manipulador, assim como os parâmetros selecionados no PEO.

3.2.4.1. Interação CLP – PEO

O PEO se conecta ao CLP por meio de uma porta RS232, e se comunica utilizando o protocolo *Modbus ASCII*. Essa comunicação permite que o operador interfira, por meio de uma interface intuitiva, nas variáveis importantes para o funcionamento geral da linha (todas as telas desenvolvidas para o PEO podem ser observadas no Anexo B). É possível selecionar o modo de operação entre “Manual” e “Automático”, obter informações sobre o ciclo, como,

por exemplo, se o modo “esvaziar” está ativo ou não, sobre com qual máquina o manipulador está interagindo em determinado momento, etc. Outra parte importante é que o PEO possui duas telas para exibição de mensagens de alarmes, uma para os atuais e outra para um histórico, sendo que esta última pode armazenar dados por um mês.

Um outro conjunto de funções de grande importância está relacionado à produção. Em uma das telas é possível definir a quantidade de produção desejada, além de acompanhar em tempo real a quantidade que já foi finalizada ou que já passou por dois pontos importantes da linha de usinagem.

Por sua vez, o modo manual possui funcionalidades distribuídas nas seguintes telas:

- Alimentador: na tela de configuração do alimentador é possível, dentre outras funcionalidades, configurar as três posições importantes que o transportador deve adotar durante o ciclo nominal. A Posição 1, ou Ponto 1 como já mencionado anteriormente, é o local destinado à deposição do pistão advindo da máquina *Mazak*. A Posição 2 é onde o pistão deve permanecer parado por certo período de tempo para que um processo de gravação a laser aconteça. Já a Posição 3, ou Ponto 2 como dito anteriormente, é a posição onde o manipulador irá pegar o pistão para dar seguimento à produção.
- Manipulador: nessa tela é possível escolher quantas peças serão processadas a cada rodada de usinagem nas máquinas *Robodrill* e *Haas*. Outra opção disponível, importante em determinadas ocasiões, é a possibilidade de abrir e fechar manualmente as garras do manipulador.
- Dispositivos: existem três telas para a operação manual dos dispositivos mecânicos/pneumáticos que estão dentro das máquinas *Robodrill* e *Haas*. Mais especificamente, existem dois que funcionam dentro da máquina *Haas* e um dentro da máquina *Robodrill*. Todos esses são responsáveis por receber os pistões que são movimentados pelo manipulador. Cada dispositivo possui três espaços disponíveis como pode ser visto na Figura 32. É importante citar também que, apesar da máquina *Haas* possuir dois dispositivos, apenas um pode ser preenchido com pistões em cada rodada. Uma vez preenchido, o dispositivo é automaticamente girado 180° por uma mesa, que inicia a usinagem e mantém o

outro dispositivo livre para retirada de peças prontas ou para deposição de pistões a serem processados. Enquanto isso, a máquina *Robodrill*, que possui apenas um dispositivo, sempre que preenchido, fecha-se automaticamente uma porta e inicia a usinagem.

3.2.4.2. Interação CLP – Manipulador

Este relacionamento dá-se por meio de sinais elétricos binários, os quais o manipulador envia e recebe do CLP. Ou seja, o manipulador é condicionado a um ciclo de movimentos específicos regidos pelo estado das suas entradas digitais nas situações relacionadas aos seus movimentos de carregamento, troca de peças e descarregamento.

Antes de iniciar seus movimentos, o manipulador recebe quatro sinais digitais como setup de operação. Dois conjuntos de dois sinais informam quantas peças serão produzidas por rodada, em cada uma das máquinas. Por exemplo, se configurado for pelo PEO, que *Robodrill* e *Haas* devem usinar três e dois pistões por rodada, respectivamente, esses sinais iniciais se apresentariam como os dois em nível lógico alto para *Robodrill*, e apenas o segundo *bit* em nível lógico alto para *Haas*.

Então, desde que haja uma peça a espera no Ponto 2 do transportador, tal situação é percebida por uma das entradas digitais do manipulador e, se esse estiver iniciando a rotina de carregamento, poderá ir até o ponto 2 e assim carregar um novo pistão. Posteriormente, as garras do manipulador são fechadas pelo próprio de forma indireta, que envia um sinal binário ao CLP informando que está no local correto para a coleta, e esse último utilizando-se de duas saídas digitais, controla os movimentos das garras energizando a bobina da válvula responsável pela pressão de avanço e desenergizando a bobina da válvula responsável pelo movimento de recuo da garra.

Assim que o manipulador finaliza seu carregamento, ele fica à espera de dois sinais, “pedido de troca *Robodrill*” e “pedido de troca *Haas*”. Esses sinais indicam que as máquinas em questão precisam trocar os pistões que já finalizaram a usinagem por outros a serem usinados. Por exemplo, se a *Robodrill* terminou seu processo e abre sua porta, essa situação é interpretada pelo CLP, que mantém o sinal de “pedido de troca” em nível lógico alto. Assim, a cada rodada, sendo que o manipulador possui duas garras, um pistão é retirado de cada

posição do dispositivo e então é colocado outro no lugar. Posteriormente, o manipulador direciona e solta o pistão finalizado em uma caixa de saída e o ciclo recomeça desde o carregamento. Isso acontece até que o manipulador preencha a quantidade determinada pelo operador, a priori. E assim feito, a máquina *Robodrill* pode iniciar sua usinagem.

O mesmo ocorre com a máquina *Haas*, pois desde que a quantidade correta de pistões em um dos seus dispositivos seja preenchida, sua mesa é girada e é iniciada a usinagem. Ainda é importante mencionar que, caso aconteça de as duas máquinas precisarem receber peças, à máquina *Robodrill* é garantida prioridade.

É possível citar também que, nas garras do manipulador robótico foram utilizados dois sensores magnéticos, eles foram utilizados para a indicação se as garras estão abertas antes de iniciar algum movimento de captura dos pistões.

3.2.4.3. Interação CLP – Servomotor

O servomotor foi utilizado para a movimentação do transportador. Basicamente, o transportador funciona como uma base que está conectada a um fuso e a guias lineares, podendo assim se movimentar em uma única direção, afastando ou se aproximando do manipulador (Ponto 1 e Ponto 2, respectivamente, conforme mostrado na Figura 32). É importante mencionar que o servomotor se movimenta acoplado mecanicamente ao fuso, transmitindo assim o movimento para a base, onde podem ser depositados os pistões. Outro ponto relevante é que a interação entre o *driver* e CLP é regida por 3 sinais digitais e uma saída rápida. Os três primeiros representam, respectivamente, habilitação do servomotor, sentido de giro e emergência, enquanto o último sinal (saída rápida) controla, por modulação de pulsos, tanto a posição angular quanto a velocidade de movimento.

É importante citar também que, para a confirmação da posição da plataforma que carrega o pistão pelo transportador, foi adicionado três sensores indutivos, representam: a posição mais próxima a Mazak, mais próxima ao manipulador, e outra intermediária centralizada entre as duas.

3.2.4.4. Interação CLP – Máquinas

Assim como o manipulador, a interação entre o CLP e as máquinas *Mazak*, *Robodrill* e *Haas* se dá por sinais elétricos binários e, de forma geral, a programação das máquinas não mudou demasiadamente depois da implantação deste projeto, já que os processos de usinagem permaneceram inalterados. Foram colocados alguns sinais de entrada nas máquinas, com a função de início de ciclo, modo automático e rearme do sistema. Além disso, os botões de emergência das máquinas foram colocados em um mesmo circuito, se interligando com os botões de toda a linha. É interessante frisar que outros sinais também são recebidos do CLP, sendo esses utilizados para o controle de acionamento dos dispositivos que estão dispostos dentro de cada máquina, com a função de prender os pistões. Mais detalhadamente, a máquina *Robodrill* contém um conjunto de seis cilindros pneumáticos, ou seja, uma dupla de cilindros é responsável por prender cada um dos três pistões que são colocados na máquina em cada rodada de usinagem. Já para a máquina *Haas*, estão dispostos doze, já que possui seis posições para abrigar os pistões e possui o mesmo sistema de retenção.

Ainda é válido ressaltar que para a confirmação de acionamento adequado desses cilindros pneumáticos, foi adicionado uma dupla de sensores indutivos para indicar avanço e recuo dos cilindros responsáveis por prender os pistões nos dispositivos e dois sensores para indicar o movimento de subida e descida de todo o conjunto de cada dispositivo, movimento executado pelos três cilindros de cada posição, totalizando assim vinte e seis sensores indutivos para os cilindros para o sensoriamento dos dispositivos. É possível citar também que a máquina *Haas* possui uma forma de movimento a qual girava a mesa os dispositivos, onde os dispositivos 1 e 2 poderiam estar usinando ou disponível para serem acessados pelo manipulador. Assim foi colocado mais dois sensores indutivos para confirmar a posição de cada dispositivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a implantação do projeto, o sistema produtivo passou a integrar de forma automática as três máquinas que eram utilizadas para finalizar a usinagem dos mesmos. Reduziu-se a necessidade de mão de obra para a operacionalização, de três para um operador. Cumprindo assim umas das demandas do cliente.

O software desenvolvido no CLP, juntamente com a interface do PEO, se mostrou satisfatório para cumprir um papel de configuração da produção, *setups* iniciais, operação manual dos dispositivos, assim como acompanhamento da produção em tempo real. Como exemplo, é possível observar a tela “Modo Automático” e suas funcionalidades (Figura 33). É possível por exemplo, selecionar uma quantidade de peças a ser produzida ou produzir livremente, até que se acione o modo esvaziar. Esse modo garante que a produção continue até que o último pistão que veio a entrar na linha seja finalizado, e então todos os componentes voltam a sua posição inicial, deixando o sistema pronto para uma nova batelada.

Caso a produção pare por motivos inesperados, como queda de energia, situação de emergência, não é possível que o operador inicie a operação da linha de usinagem sem que realize procedimentos manuais sequencias que garantem o início seguro e correto da produção. O operador é ainda orientado por alarmes que informam posicionamentos não conformes para início do ciclo. É possível observar nas sessões em anexo (A, C) uma sub-rotina do software desenvolvido para o CLP e as telas desenvolvidas para o PEO.

O conjunto transportador/manipulador se mostrou eficiente para a movimentação de pistões e garantiu a precisão necessária para a colocação dos mesmos nos dispositivos receptores dentro das máquinas. Nos Anexos A e B é possível observar, respectivamente, a sub-rotina de controle do transportador e a rotina principal, desenvolvida para o manipulador.

Nas Figuras 34, 35 e 36 é possível ver 3 momentos distintos do manipulador: indo a ao ponto de encontro com o transportador; segurando dois pistões ao mesmo tempo durante a troca em umas das máquinas; e colocando um novo pistão no dispositivo de uma das máquinas.

Figura 33 - Exemplo de uma das telas do PEO – Modo Automático.



Fonte: Do Autor (2021)

Figura 34 - Pistão sendo passado do transportador para o manipulador.



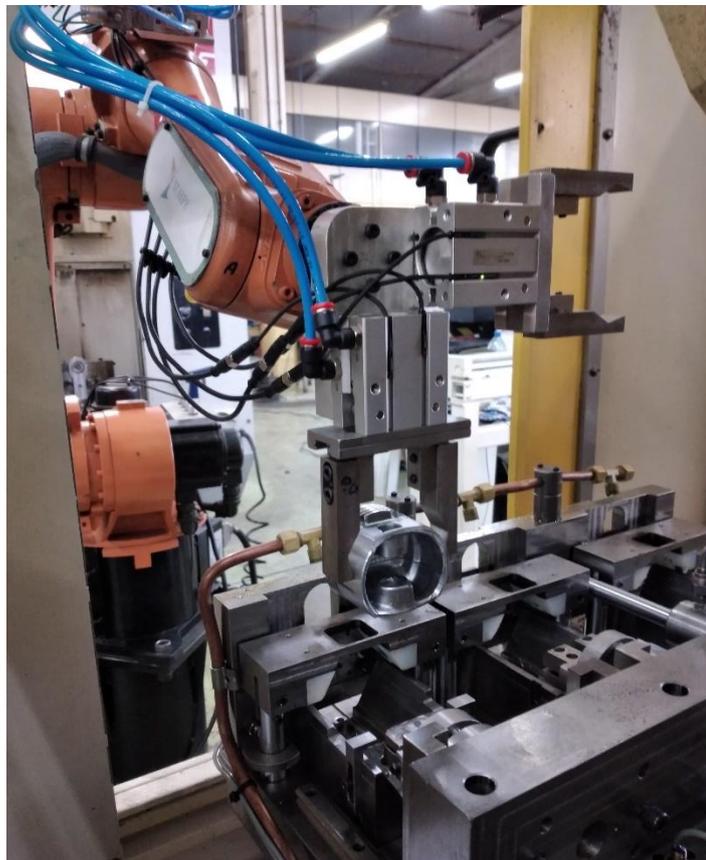
Fonte: Do Autor (2021)

Figura 35 - Manipulador trocando pistões na máquina Robodrill, um já usinado e o outro não.



Fonte: Do Autor (2021)

Figura 36 - Manipulador colocando um novo pistão para usinagem máquina Robodrill.



Fonte: Do Autor (2021)

Faz-se importante também a análise quanto a produção dos pistões, que segundo o cliente, não deveria ser interrompida durante a implantação do projeto e muito menos ser inferior do que a que ocorria no cenário anterior.

Antes do sistema de automação ser implantado, a produção era satisfatória somente quando a linha contava com três operadores, entretanto nem sempre isso era possível e como consequência, com dois operadores, ou no pior caso, com apenas um operador, a produtividade era intensamente reduzida. Foi feito então, uma análise e simulação dos tempos e produtividade do sistema de integração e automação das máquinas, com a finalidade de comparação entre o cenário atual e o anterior. Para isso, com o sistema já em operação, foram mensurados os dados que embasaram a composição das Tabelas 1, 2 e 3, que podem ser observadas a seguir.

Tabela 1 - Produtividade de pistões antes do sistema de automação ser implantado.

Sequência de processos para produção de 120 pistões, com 3 operadores.		Produção da máquina Robodrill	Produção da máquina Haas
		Tempo (s)	Tempo (s)
1°	Usinagem realizada pela Máquina Mazak de 120 pistões	3360	3360
2°	Carregamento do carrinho transportador da Mazak até respectivas Máquinas	120	120
3°	Retirada e colocação de novos pistões	3000	3000
4°	Usinagem de pistões pelas respectivas Máquinas	7560	6400
5°	Virada do Palete	-	80
6°	Carregamento do carrinho das respectivas Máquinas à área da limpeza	60	60
Total (s)		14100	13020
Total (h)		3,92	3,62
Peças/hora		30	33
Quantidade de turnos		2	
Horas/turno		8	
Tempo de intervalo por turno (h)		-1	
Produção diária		422	462

Fonte: Do Autor (2021)

Tabela 2 - Simulação da produtividade do sistema de automação

Produção de 1 peça pela célula simulada, com 1 operador.		Produção da máquina Robodrill	Produção da máquina Haas
		Tempo (s)	Tempo (s)
1°	Usinagem realizada pela Máquina Mazak	28	28
2°	Movimentação pelo transportador	12	12
3°	Troca de pistões pelo manipulador	18	23
4°	Usinagem de pistões pelas respectivas Máquinas	63	53
5°	Virada do Palete	-	2
6°	Descarregamento pelo manipulador	7	7
Total (s)		128	125
Peças/hora		27	28
Quantidade de turnos		2	
Horas/turno		8	
Produção diária		439	448

Fonte: Do Autor (2021)

Tabela 3 - Produtividade do sistema de automação implantado

Produção de 1 peça pela célula real, com um operador.		Produção por máquina Robodrill	Produção por máquina Haas
		Tempo (s)	Tempo (s)
1°	Usinagem realizada pela Máquina Mazak	28	28
2°	Movimentação pelo transportador	7	7
3°	Troca de pistões pelo manipulador	15	19
4°	Usinagem de pistões pelas respectivas Máquinas	63	53
5°	Virada do Palete	-	2
6°	Descarregamento pelo manipulador	5	5
Total (s)		118	114
Peças/hora		30	31
Quantidade de turnos		2	
Horas/turno		8	
Produção diária		480	496

Fonte: Do Autor (2021)

É possível observar na primeira tabela a sequência de processo e os tempos associados a esses, respectivamente. Foi considerado uma estimativa de 120 pistões (suficientes para encher o transportador), respeitando o funcionamento contextualizado na sessão anterior. Além disso, na tabela ainda há uma consideração referente aos intervalos para refeição dos operadores, associados a cada turno de trabalho, que diminuía duas horas ao todo da produção diária. A máquina *Haas* apresenta uma peculiaridade da necessidade de girar uma mesa antes da usinagem e isso também foi contabilizado no cálculo. Assim, com essas considerações, foi possível calcular o número da produção de pistões de cada máquina, sendo que o resultado foi de 422 e 462 pistões, da máquina *Robodrill* e *Haas*, respectivamente. Além disso, os dados referentes aos intervalos de tempo envolvidos nesta questão foram disponibilizados pelo próprio cliente, ainda na fase de considerações iniciais de projeto.

Na Tabela 2, pode-se observar uma outra sequência de passos executados, agora considerando uma simulação do sistema automatizado de produção. Destaca-se os tempos associados a movimentos relacionados ao transportador e ao manipulador. Nesta análise, foi desconsiderado a perda de duas horas associada ao intervalo de refeição, já que o sistema pode ser executado sem supervisão por certo tempo, desde que a entrada de pistões esteja abastecida. A partir de uma estimativa dos tempos necessários para a finalização de uma peça, foi possível calcular a produção de cada máquina, sendo que o resultado obtido foi de 439 e 448 pistões. Esses valores foram suficientes dar continuidade na produção, sendo superiores ao melhor caso da produção manual e se mostraram importantes para dar continuidade do projeto.

Por fim, na Tabela 3 é possível ver os dados reais da integração e automação da linha de usinagem. Esses valores foram coletados em campo, com o funcionamento completo da célula. Utilizando os mesmos passos do sistema simulado, pode-se notar que os tempos de movimentação pelo transportador, troca de pistões e descarregamento pelo manipulador se mostraram melhores. Isso pode ser explicado, durante o comissionamento do sistema, aos poucos foram aumentadas as velocidades dos dispositivos, tornando o sistema mais rápido, sem que os atuadores sofressem esforço mecânico demasiado.

Outro ponto relevante é que, apesar dos dispositivos estarem bem dimensionados e as garras do manipulador possuírem uma interface de borracha para melhor aderência, a superfície de contato entre a garra e o pistão não se mostrou inicialmente suficiente, já que o pistão possuía um perfil circular e a garra um perfil plano. Então, existia uma preocupação que em determinadas velocidades, os pistões poderiam escapar quando movimentados. Assim, quando o manipulador foi “treinado”, as velocidades associadas aos seus movimentos foram gradualmente elevadas até que um *setup* adequado foi encontrado.

Dessa forma, o sistema de automação se mostrou melhor que o simulado e também que anterior a implantação do projeto, conseguindo produzir em média valores de 480 e 496 peças por dia pelas máquinas *Robodrill* e *Haas*, respectivamente. Outro ponto relevante da mudança do processo foi a redução do custo de estoque relativo à lógica de *buffer*, nessa, como foi visto nas sessões anteriores, era necessário a produção de certo número de pistões em uma primeira máquina para dar continuidade na sequência de operações. Com a

implantação do sistema de automação, foi visto uma linha de produção mais balanceada e fluida, na medida que assim que um pistão foi finalizado na primeira operação, será encaminhado para as demais, sem a necessidade de estoque.

5. CONCLUSÃO

Visando transformar uma sequência de procedimentos que anteriormente dependia fortemente de recurso humano em um sistema automatizado, que garantisse o mesmo nível de produtividade das máquinas envolvidas e fosse constituído atendendo padrões de segurança estabelecidos pela Norma Regulamentado 12, foi desenvolvido um projeto que se mostrou satisfatório.

Como analisado anteriormente, no sistema implantado é necessário apenas um operador, responsável por alimentar a primeira máquina da linha de usinagem e operar toda a célula por meio do PEO. Por meio desta interface, é possível obter dados da produção em tempo real, assim como configurar um conjunto de *setups* das máquinas. Outro ponto a ser destacado é que a utilização do transportador e do manipulador para movimentação dos pistões não só manteve o mesmo nível de produção das máquinas, como o elevou. Por fim, o sistema de segurança se mostrou eficaz e adequado, ao monitorar continuamente se as portas da célula permanecem fechadas, assim como, verificar se os botões de emergência não estejam pressionados. Caso alguma dessas condições não esteja satisfeita o ciclo de produção da linha de usinagem não inicia (ou é paralisado). Além disso, a utilização do botão de rearme se mostrou um fator importante para o sistema de segurança, representando uma confirmação dada pelo operador para que as condições de trabalho sejam reestabelecidas.

Diante do exposto nas sessões anteriores e retomando o objetivo de relatar o desenvolvimento de um sistema de automação para uma linha de usinagens de pistões, pode-se concluir que esta meta também foi cumprida ao mostrar de forma detalhada um conjunto de soluções que podem ser extrapolados para diferentes cenários encontrados na indústria.

REFERENCIAS

- ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo C. **Automação Industrial**. 1 ed. Santa Maria: E-Tec Brasil. 2016.
- DU, Winncy Y. **Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies**. 1 ed. San José: CRC Press, 2015.
- THOMAZINI, D.; Albuquerque, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2012.
- SILVEIRA, C. B. **O que é um Cilindro Pneumático? E quais os tipos?**. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/cilindro-pneumatico/>> Acesso em: 26/09/2021.
- BALLUFF. **Sensores indutivos**. 2021. Disponível em: <<https://www.balluff.com/pt-BR/products/areas/A0001/groups/G0101>>. Acesso em: 20/09/2021.
- GHPC. **Cilindro pneumático**. 2021. Disponível em: <<https://www.ghpc.com.br/cilindro-pneumatico>>. Acesso em: 20/09/2021.
- KEYENCE. **Sensore a laser**. 2021. Disponível em: <<https://www.keyence.com.br/products/sensor/laser/>>. Acesso em: 22/09/2021.
- BONACORSO, G. Nelson; NOLL, Valdir. **Automação Eletropneumática**. 9. ed. São Paulo: Editora Eriça, 2006.
- SILVEIRA, C. B. **Servo Motor: Veja como Funciona e Quais os Tipos**. 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>> Acesso em: 06/10/2021.
- SIEMENS. **Seu sistema de servo acionamento ideal**. 2021. Disponível em: <<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/drives/inversores/sinamics-v90.html>>. Acesso em: 20/09/2021.
- DELTA. **Delta Standard AC Servo Drive for General Purpose Applications ASDA - B2 Series User Manual – Manual de programação e operação**. 337 p., 2012.
- CARVALHO, Geraldo Mota de. **Máquinas elétricas teoria e ensaios**. São Paulo: Érica, 2011.
- SANTOS, Vítor M. F. **Robótica Industrial**. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Aveiro, 2014.

LOPES, A. M. **Robótica Industrial**. Dissertação (Mestrado em Automação, Instrumentação e Controle) - Universidade do Porto. Porto, 2002.

STEP. **SA Series Robot Instruction Manual**. 22 p., 2015.

SILVA, Joaquim N. C. P. da. **Realização de Controlo de Força em Robôs Manipuladores Industriais**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

CRAIG, John J. **Introduction to robotics: mechanics and control**. 3 ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, c2005. viii, 400p.

COELHO, R.T.; BRAGHINI Jr., A.; MARTINS, R. O. **Curso de programação e operação em máquinas-ferramentas CNC – nível básico**. Apostila – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1999.

FERRAZ Jr., Fábio. **Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e supervisão para o processo de torneamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2002.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. de. **Controladores Lógicos - Programáveis: Sistemas Discretos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008.

CEI/IEC - COMISSÃO ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. **Programmable Controllers: Part 3: Programming Languages**. First edition. International Standard IEC 1131-3, 1993.

PUPO, Maurício S. **Interface Homem-Máquina para supervisão de Um CLP em Controle de processos Através da www**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2002.

GOV. **Norma Regulamentadora No. 12 (NR-12)**. 2021. Disponível em: <
<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>>. Acesso em: 05/12/2021.

GOV. **Norma Regulamentadora No. 10 (NR-10)**. 2021. Disponível em: <
<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>>. Acesso em: 05/12/2021.

CAMARGO, Jhon W. de. **Atualização tecnológica de um robô carteziano para encaixotamento automático**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

ZHANG, George; ZHANG, Hui; WANG, JianJun; CHEN, Heping; FUHLBRIGGE, Tom. **Automated Engine Piston Installation Using Industrial Robots**. Artigo apresentado em International Conference on Mechatronics and Automation. Harbin, 2007.

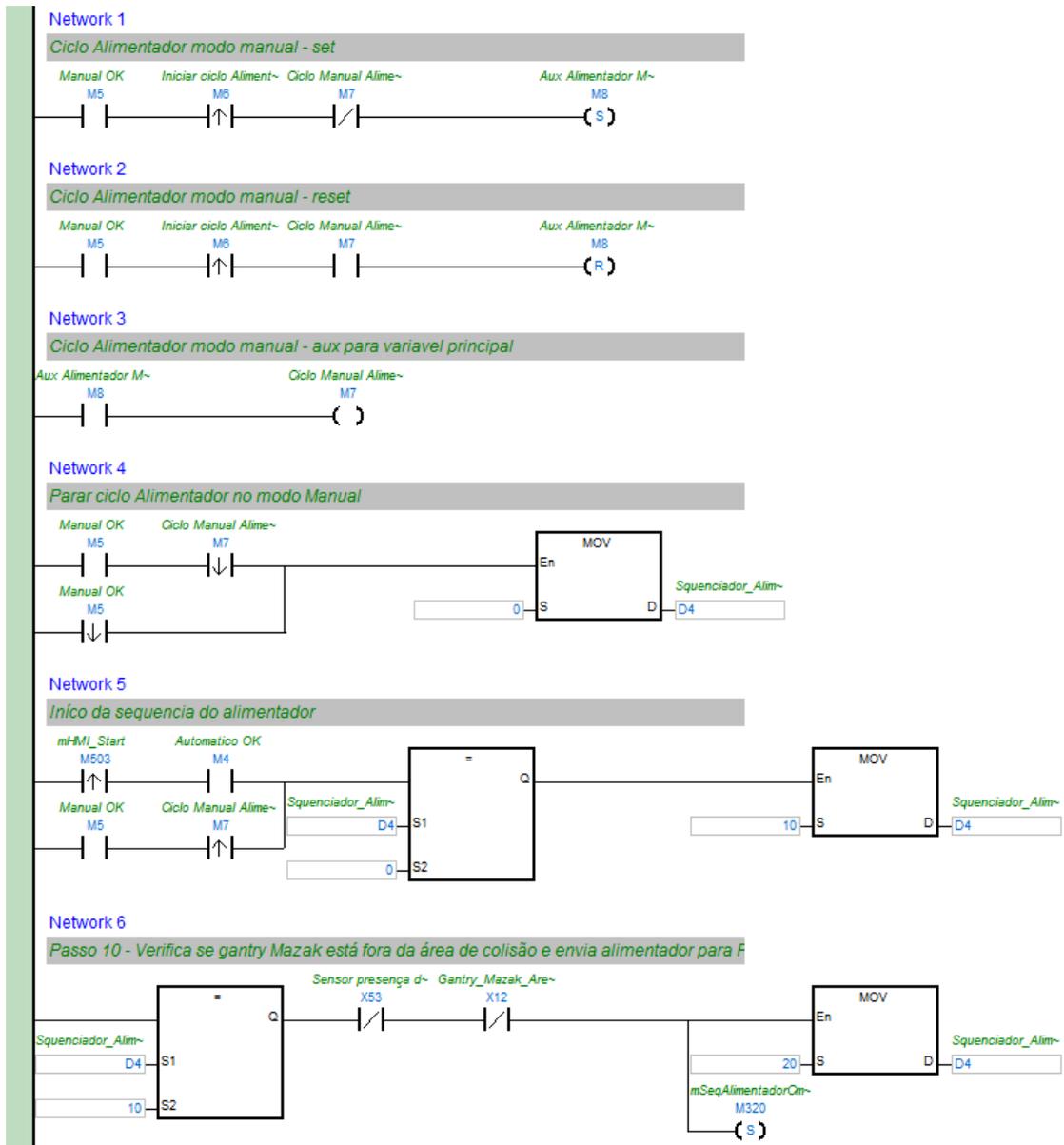
GUIDA, Lucas M. Nogueira. **Automação de soldagem de pinos em cabines automotivas utilizando um robô manipulador de seis graus de liberdade**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2018.

MORAES, Diones F. de; CASTANHEIRA, Nelson P.; SAKOVICZ, Reginaldo; PINO, Sandra R. **Estudo para viabilização da automação de uma célula de usinagem de bielas automotivas, com a implementação da robótica: estudo de caso**. Artigo apresentado em Revista Eletrônica Multidisciplinar Unifacear. 2013.

FONTES, Guilherme S. **Automação e robotização de uma célula de produção de rotores de motores elétricos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

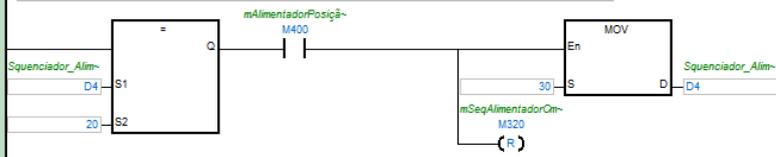
BARROS, Marcelo R. de Albuquerque. **Estudo da Automação de Células de Manufatura para Montagens e Soldagem Industrial de Carrocerias Automotivas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestre em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 2006.

ANEXO A – ROTINA EM LADDER DE CONTROLE DO TRANSPORTADOR



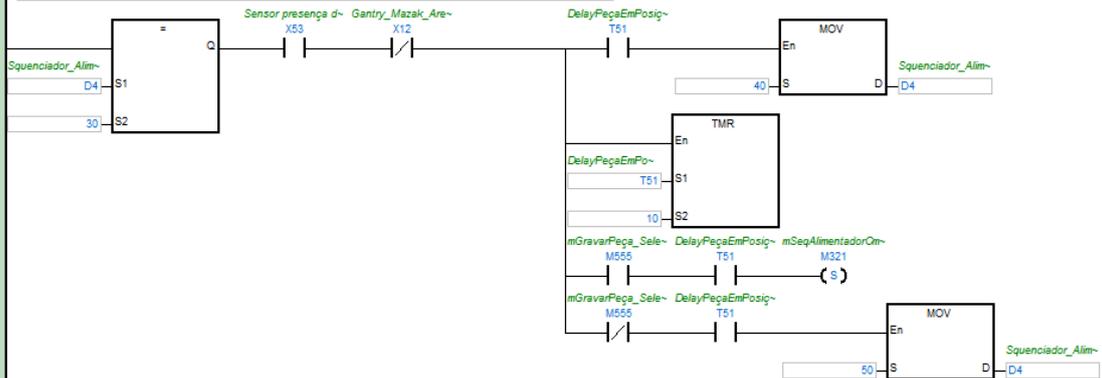
Network 7

Passo 20 - Aguarda Alimentador em posição



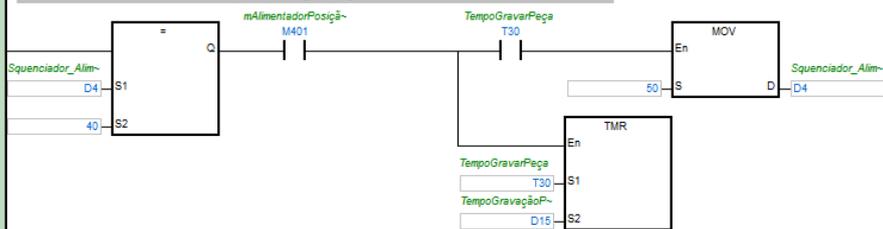
Network 8

Passo 30 - Aguarda peça em posição (sensor laser) e mazak fora da área de colisão, se Gravar Peça estiver selecionado avança para Pos 2, senão avança passo



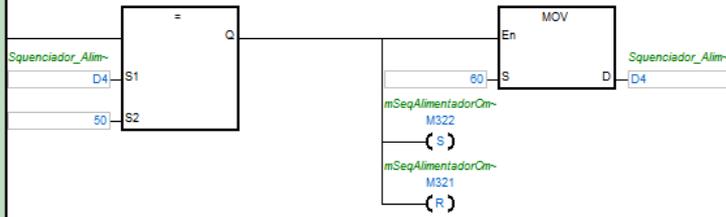
Network 9

Passo 40 - Verifica Pos 2 ok e espera gravação peça ok



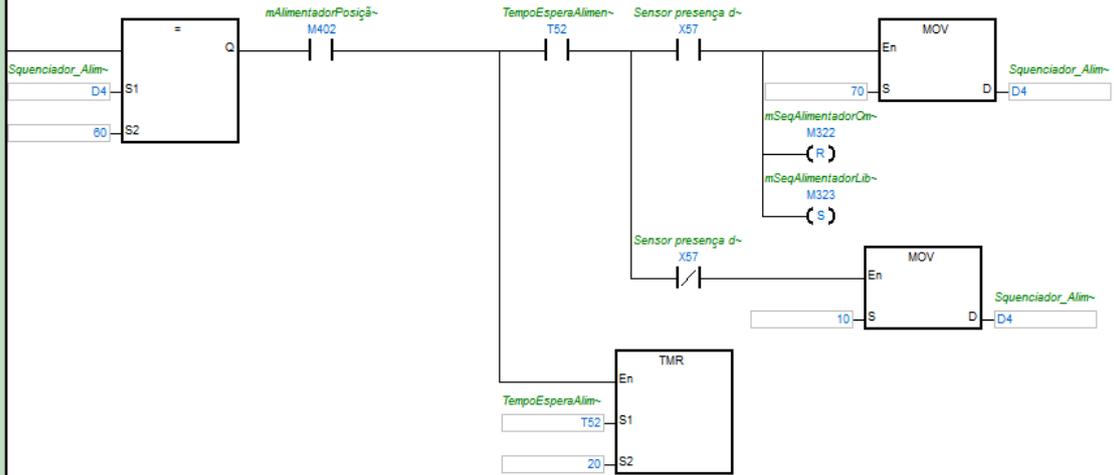
Network 10

Passo 50 - Alimentador para Pos 3



Network 11

Passo 60 - Aguarda alimentador em posição e libera robô para descarga



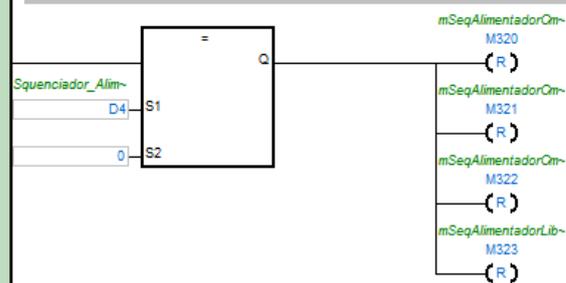
Network 12

Passo 70 - Aguarda sinal de peça retirada e robo sam e envia para o início



Network 13

Reset variáveis



ANEXO B – ROTINA PRINCIPAL DO MANIPULADOR

```
LP:INICIO;
RefSys (FRENOBRAS);
N_DISP_HAAS:=DIRead(DISP_HAAS);
TROCA_ROBODRILL:=DIRead(PED_TROCA_ROB);
TROCA_HAAS:=DIRead(PED_TROCA_HAAS);
QTD_ROBODRILL:=GDIRead(QTD_P_ROBODRILL);
QTD_HAAS:=GDIRead(QTD_P_HAAS);
EZVACIAR_MAQUINAS:=DIRead(ESVAZIAR,CONT);
IF(robo_carregado==0) THEN
  ProgCall(POSICAO_INICIAL_MAZAK);
  IF(EZVACIAR_MAQUINAS==1) THEN
    ProgCall(ESVAZIAR);
    DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
    ProgCall(POSICAO_INICIAL_MAZAK);
    DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
    GOTO(INICIO);
  END_IF
  IF(EZVACIAR_MAQUINAS==0) THEN
    IF(robo_carregado==0) THEN
      ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
      robo_carregado := 1;
    END_IF
    IF(robo_carregado==1) THEN
      IF(TROCA_ROBODRILL==1) THEN
        LP:DESC_CARGA_ROBODRILL;
        SWITCH(QTD_ROBODRILL)
        CASE 1:
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);robo_carregado := 0;
        CASE 2:
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS1);
          ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
          ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);
          DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
          ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
          DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
          robo_carregado := 0;
        CASE 3:
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS1);
          ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
          ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS2);
          ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
          ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
          ProgCall(TROCA_ROB_DISP3_POS3);
          DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
          ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
          DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
          robo_carregado := 0;
        END_SWITCH
      END_IF
    END_IF
  END_IF
END_IF
```

```

        GOTO (INICIO) ;
END_IF
IF (TROCA_HAAS==1) THEN
    LP:DESC_CARGA_HAAS;
    IF (N_DISP_HAAS==0) THEN
        SWITCH (QTD_HAAS)
        CASE 1:
            ProgCall (TROCA_HAAS_DISP1_POS2);
            DOSet (ROBO_SAM, TRUE);
            ProgCall (DESCARGA_1PP_SAIDA);
            DOSet (ROBO_SAM, FALSE);
            robo_carregado := 0;
        CASE 2:
            ProgCall (TROCA_HAAS_DISP1_POS1);
            ProgCall (DESCARGA_1PP_SAIDA);
            IF (TROCA_ROBODRILL==1) THEN
                ProgCall (PEGA_PB_MAZAK);
                GOTO (DESC_CARGA_ROBODRILL);
            END_IF
            ProgCall (PEGA_PB_MAZAK);
            ProgCall (TROCA_HAAS_DISP1_POS2);
            DOSet (ROBO_SAM, TRUE);
            ProgCall (DESCARGA_1PP_SAIDA);
            DOSet (ROBO_SAM, FALSE);
            robo_carregado := 0;
        CASE 3:
            ProgCall (TROCA_HAAS_DISP1_POS1);
            ProgCall (DESCARGA_1PP_SAIDA);
            IF (TROCA_ROBODRILL==1) THEN
                ProgCall (PEGA_PB_MAZAK);
                GOTO (DESC_CARGA_ROBODRILL);
            END_IF
            ProgCall (PEGA_PB_MAZAK);
            ProgCall (TROCA_HAAS_DISP1_POS2);
            ProgCall (DESCARGA_1PP_SAIDA);
            IF (TROCA_ROBODRILL==1) THEN
                ProgCall (PEGA_PB_MAZAK);
                GOTO (DESC_CARGA_ROBODRILL);
            END_IF
            ProgCall (PEGA_PB_MAZAK);
            ProgCall (TROCA_HAAS_DISP1_POS3);
            DOSet (ROBO_SAM, TRUE);
            ProgCall (DESCARGA_1PP_SAIDA);
            DOSet (ROBO_SAM, FALSE);
            robo_carregado := 0;
        END_SWITCH
    GOTO (INICIO) ;
END_IF

```

```

IF(N_DISP_HAAS==1) THEN
  SWITCH(QTD_HAAS)
  CASE 1:
    ProgCall(TROCA_HAAS_DISP2_POS2);
    DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
    ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
    DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
    robo_carregado := 0;
  CASE 2:
    ProgCall(TROCA_HAAS_DISP2_POS1);
    ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
    IF(TROCA_ROBODRILL==1) THEN
      ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
      GOTO(DESC_CARGA_ROBODRILL);
    END_IF
    ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
    ProgCall(TROCA_HAAS_DISP2_POS2);
    DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
    ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
    DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
    robo_carregado := 0;
  CASE 3:
    ProgCall(TROCA_HAAS_DISP2_POS1);
    ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
    IF(TROCA_ROBODRILL==1) THEN
      ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
      GOTO(DESC_CARGA_ROBODRILL);
    END_IF
    ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
    ProgCall(TROCA_HAAS_DISP2_POS2);
    ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
    IF(TROCA_ROBODRILL==1) THEN
      ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
      GOTO(DESC_CARGA_ROBODRILL);
    END_IF
    ProgCall(PEGA_PB_MAZAK);
    ProgCall(TROCA_HAAS_DISP2_POS3);
    DOSet(ROBO_SAM,TRUE);
    ProgCall(DESCARGA_1PP_SAIDA);
    DOSet(ROBO_SAM,FALSE);
    robo_carregado := 0;
  END_SWITCH
  GOTO(INICIO);
END_IF
ELSE
  ProgCall(POSICAO_ESPERA_);
  GOTO(INICIO);
END_IF
END_IF
END_IF

```

ANEXO C – TELAS DESENVOLVIDAS PARA IHM

FRENOBRAS
Célula de furação de pistão

dd/mm/yy
HH:MM:SS

Full Service **Principal**

Selecionar modo de trabalho:

Modo Automático

Modo Manual

Informações do ciclo:

Ciclo parado Gravação

Esvaziar desligado

Status dispositivos:

Haas

Disp 1

Abrindo

Fechando

Disp 2

Abrindo

Fechando

Robodrill

Disp 3

Abrindo

Fechando

Interação de troca de peça:

Robô e Haas

Robô e Robodrill

Modo Manual

Modo Automático

Status Segurança

Alarmes

FRENOBRAS
Célula de furação de pistão

dd/mm/yy
HH:MM:SS

Full Service **Alarmes atuais**

No	Hora	Descrição
1	hh:mm dd/mm/yy	####

Voltar

Principal

Histórico de alarmes

Reset



FRENOBRAS

Célula de furação de pistão

dd/mm/yy

HH:MM:SS

Full Service Histórico de alarmes

No	Hora	Descrição
1	hh:mm dd/mm/yy	#####

Voltar
Principal



FRENOBRAS

Célula de furação de pistão

dd/mm/yy

HH:MM:SS

Full Service Modo Automático

Robô

Início Robô

Ciclos:

Início de ciclo

Ciclo parado

Ligar esvasiar

Reset Ciclos

Lavagem Robodrill

Lavagem Haas

Status dispositivos:

Haas

Robodrill

Disp 1

Abrindo

Fechando

Disp 2

Abrindo

Fechando

Disp 3

Abrindo

Fechando

Interação de troca de peça:

Robô e Haas

Robô e Robodrill

Principal
Opções produção

● Alarmes

 Full Service	FRENOBRAS Célula de furação de pistão		dd/mm/yy HH:MM:SS
	Opções Produção		
Quantidade de peças que chegaram ao alimentador		<input type="text" value="12345"/>	Definir quantidade a ser produzida: <input type="text" value="12345"/> <input type="button" value="Definir a quantidade de Produção"/>
Quantidade de peças carregadas pelo Robot		<input type="text" value="12345"/>	
Quantidade de peças Finalizadas		<input type="text" value="12345"/>	
<input type="button" value="Resetar Contadores"/>		Tempo Gravação em seg	<input type="text" value="12345"/> <input type="button" value="Gravação Laser"/>
<input type="button" value="Principal"/>		<input type="button" value="Modo Automático"/>	<input checked="" type="radio"/> <input type="button" value="Alarmes"/>

 Full Service	FRENOBRAS Célula de furação de pistão		dd/mm/yy HH:MM:SS
	Modo Manual		
<input type="button" value="Alimentador"/>			
<input type="button" value="Robô"/>			
<input type="button" value="Dispositivo 1"/>			
<input type="button" value="Dispositivo 2"/>			
<input type="button" value="Dispositivo 3"/>			
<input type="button" value="Principal"/>		<input checked="" type="radio"/> <input type="button" value="Alarmes"/>	


 Full Service

FRENOBRAS
 Célula de furação de pistão

dd/mm/yy
 HH:MM:SS

Alimentador Célula

Eixo X

123456

- Jog - Jog + +

1234567891 mm/min

Setup de posições

Posição 1 OK	Posição 2 OK	Posição 3 OK
Salvar Posição 1	Salvar Posição 2	Salvar Posição 3

Salvar posições...

Pressionar por 3 seg para salvar posições...

Posição 1	1234567891
Posição 2	1234567891
Posição 3	1234567891

Para funcionamento Manual:

Modo Manual

Iniciar ciclo Alimentador

Principal

Modo Manual

Alarmes


 Full Service

FRENOBRAS
 Célula de furação de pistão

dd/mm/yy
 HH:MM:SS

Robô

Haas:

Carregamento/Descarregamento

1 Peça

2 Peças

3 Peças

Maquina Carregada

Maquina Descarregada

Robodrill:

Carregamento/Descarregamento

1 Peça

2 Peças

3 Peças

Maquina Carregada

Maquina Descarregada

Abrir/Fechar Garra A

Garra A aberta

Garra A fechada

Abrir/Fechar Garra B

Garra B aberta

Garra B fechada

Principal

Modo Manual

Alarmes



FRENOBRAS

Célula de furação de pistão

dd/mm/yy
HH:MM:SS

Full Service Dipositivo 1

Selecionar modo de trabalho:

Modo Manual

Soltar peças

Prender peças

Retornar Cilindro

Avançar Cilindro

1234

Tempo Fechamento

0 - 50 (s)

Peça solta 1

Peça presa 1

Peça solta 2

Peça presa 2

Peça solta 3

Peça presa 3

Cilindro retornado

Cilindro avançado

Principal
Modo Manual

Alarmes



FRENOBRAS

Célula de furação de pistão

dd/mm/yy
HH:MM:SS

Full Service Dipositivo 2

Selecionar modo de trabalho:

Modo Manual

Soltar peças

Prender peças

Retornar Cilindro

Avançar Cilindro

1234

Tempo Fechamento

0 - 50 (s)

Peça solta 1

Peça presa 1

Peça solta 2

Peça presa 2

Peça solta 3

Peça presa 3

Cilindro retornado

Cilindro avançado

Principal
Modo Manual

Alarmes



Full Service

FRENOBRAS

Célula de furação de pistão

dd/mm/yy

HH:MM:SS

Dipositivo 3

Selecionar modo de trabalho:

Modo Manual

Soltar peças

Prender peças

Retornar Cilindro

Avançar Cilindro

1234

Tempo Fechamento
0 - 50 (s)

Peça solta 1





Peça presa 1

Peça solta 2





Peça presa 2

Peça solta 3





Peça presa 3

Cilindro retornado





Cilindro avançado

Principal

Modo Manual

 Alarmes



Full Service

FRENOBRAS

Célula de furação de pistão

dd/mm/yy

HH:MM:SS

Status Segurança e funcionamento OK

Parada de Emergência
Rele de Segurança



Porta Fechada - Célula



Estado da
Pressão Geral:



 Alarmes

Principal

Modo Manual