



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

LUCAS MONTEIRO CHEVALLIER

**DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO PARA GANHO DE PRODUTIVIDADE, AUMENTO
DA SEGURANÇA E DA CONFIABILIDADE EM PRENSAS DE FABRICAÇÃO DE
POLOS DE CHUMBO PARA BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO**

Recife
2023

LUCAS MONTEIRO CHEVALLIER

DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO PARA GANHO DE PRODUTIVIDADE, AUMENTO DA SEGURANÇA E DA CONFIABILIDADE EM PRENSAS DE FABRICAÇÃO DE POLOS DE CHUMBO PARA BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. Márcio Evaristo da Cruz Brito
Coorientador(a): MSc. Valdemar Moreira Cavalcante Junior

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Chevallier, Lucas Monteiro.

Desenvolvimento de solução para ganho de produtividade, aumento da segurança e da confiabilidade em prensas de fabricação de polos de chumbo para baterias de chumbo-ácido / Lucas Monteiro Chevallier. - Recife, 2023.

90 p. : il., tab.

Orientador(a): Márcio Evaristo da Cruz Brito

Coorientador(a): Valdemar Moreira Cavalcante Junior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e Automação - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. CLP. 2. Dados. 3. Monitoramento. 4. Produtividade. 5. Segurança. I. Brito, Márcio Evaristo da Cruz. (Orientação). II. Cavalcante Junior, Valdemar Moreira. (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)

LUCAS MONTEIRO CHEVALLIER

DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO PARA GANHO DE PRODUTIVIDADE, AUMENTO DA SEGURANÇA E DA CONFIABILIDADE EM PRENSAS DE FABRICAÇÃO DE POLOS DE CHUMBO PARA BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 25/09/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Evaristo da Cruz Brito (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

MSc. Valdemar Moreira Cavalcante Junior (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Douglas Pimentel Contente Barbosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Calebe Hermann de Oliveira Lima (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Aqui, neste humilde agradecimento, quero deixar registrado o meu muito obrigado a todas as pessoas que passaram em minha vida e, que de alguma forma, contribuíram para minha evolução pessoal ou profissional.

À Françoise, Nairon, Tatiana e Robin;

À Gualter, Henrique, Netinho, Vanda, Verúcia e Alexandre;

À Pedro, Mago, Maya e Marcus Vinícius;

À Thaísa, Luciana e Marcelo;

À Bruno e Moisés;

À Elma e Manuel;

À Márcio e Valdemar;

E por fim, à fonte de toda vida, Deus.

RESUMO

Este trabalho foi realizado em ambiente industrial de produção de baterias de chumbo-ácido, em uma unidade dedicada à fabricação dos acessórios que compõem a bateria. A máquina na qual foi realizado o trabalho é uma prensa dedicada à prensagem e usinagem de buchas de chumbo, que fazem parte do conjunto de componentes injetados na tampa da bateria com o objetivo de prover uma interface entre o circuito elétrico da bateria com o veículo. O estudo atuou diretamente na análise das condições relacionadas à programação do equipamento, o que permitiu identificar melhorias e correções associadas ao ganho de produtividade, monitoramento dos dados de produção, segurança e confiabilidade do processo. Essas condições apresentavam falhas relacionadas ao sincronismo dos movimentos dos componentes entre as etapas da máquina, além de questões relacionadas à variação de tempo e eficiência da máquina, perda de dados para monitoramento e gestão e, preocupações relacionadas à adequação da NR12 e segurança. As soluções desenvolvidas tiveram como estrutura, programações realizadas no CLP e implementações feitas diretamente na interface homem máquina da máquina. Foram alcançados resultados significativos no aumento da eficiência produtiva, gerenciamento das informações e eliminação dos riscos relacionados à segurança dos mantenedores que atuavam nas manutenções da máquina.

Palavras-chave: CLP; dados; monitoramento; produtividade; segurança.

ABSTRACT

This research was conducted in an industrial setting for the production of lead-acid batteries, in a unit dedicated to manufacturing the accessories that compose the battery. The machine on which the study was carried out is a press used for pressing and trimming lead bushings, which are part of the set of components injected into the battery cap to provide an interface between the battery's electrical circuit and the vehicle. The study directly addressed the analysis of conditions related to the equipment programming, allowing for the identification of improvements and corrections linked to productivity gains, production data monitoring, safety, and process reliability. Those conditions presented issues related to the synchronization of component movements between the machine's stages, as well as concerns about time variation, machine efficiency, data loss for monitoring and management, compliance with NR12 standards, and general safety. The solutions developed were based on programming carried out on the PLC and implementations made directly on the machine's human-machine interface. Significant results were achieved in enhancing production efficiency, information management, and eliminating risks related to the safety of maintenance personnel working on the machine.

Keywords: PLC; data; monitoring; productivity; safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Projeção de veículos elétricos x veículos à combustão interna em operação nos Estados Unidos: 2020 - 2030.	21
Figura 2 - Bateria de Gaston Planté.	23
Figura 3 - Elementos de uma bateria de chumbo-ácido.	24
Figura 4 - Arquitetura de rede industrial segundo o padrão IEC 62264-1.	27
Figura 5 - Exemplos de sensor e atuador pneumáticos.	30
Figura 6 – CLP Omron CP-series CP1E.	31
Figura 7 - Arquitetura de um CLP.	33
Figura 8 - Exemplo de um código em <i>Ladder</i>	34
Figura 9 - Conjunto de braços.	37
Figura 10 – Estação I (Alimentador).	37
Figura 11 - Bucha fundida.	38
Figura 12 - Estação II (Prensagem).	38
Figura 13 – Comparativo entre as buchas fundida e prensada.	39
Figura 14 - Estação III (Corte).	39
Figura 15 - Comparativo entre as buchas prensada e cortada.	40
Figura 16 - Estação IV (Usinagem).	40
Figura 17 - Comparativo entre as buchas cortada e usinada.	41
Figura 18 - Rotina original dos braços.	44
Figura 19 - Produção diária e média ao longo do mês.	45
Figura 20 - Arquitetura do MES da unidade.	47
Figura 21 - Lógica em <i>Ladder</i> da dependência do fim das rotinas das estações de prensagem, corte e usinagem.	51
Figura 22 - Lógica em <i>Ladder</i> do Step 5, reinício da rotina macro.	52
Figura 23 - Lógica em <i>Ladder</i> do Step 1, ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, original.	52
Figura 24 - Lógica em <i>Ladder</i> do início das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, original.	53
Figura 25 - Lógica em <i>Ladder</i> da liberação das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, sem a interdependência com o fim das rotinas das estações.	54

Figura 26 - Lógica em <i>Ladder</i> da ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços I, modificado.	55
Figura 27 - Lógica em <i>Ladder</i> da ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços II, modificado.	55
Figura 28 - Lógica em <i>Ladder</i> da ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços III, modificado.	55
Figura 29 - Lógica em <i>Ladder</i> do início das rotinas de retirada de bucha dos braços I, modificado.	56
Figura 30 - Lógica em <i>Ladder</i> do início das rotinas de retirada de bucha dos braços II, modificado.	56
Figura 31 - Lógica em <i>Ladder</i> do início das rotinas de retirada de bucha dos braços III, modificado.	56
Figura 32 - Nova rotina dos braços.	57
Figura 33 - Lógica em <i>Ladder</i> da ativação das memórias de start e stop do monitoramento da rotina de colocação de bucha do Braço I.	59
Figura 34 - Lógica em <i>Ladder</i> do temporizador que monitora a rotina de colocação de bucha do Braço I.	59
Figura 35 - Tela de monitoramento de tempo na IHM da máquina.	60
Figura 36 - Produção diária e média ao longo do mês após implementação do monitoramento de tempo.	61
Figura 37 - Lógica em <i>Ladder</i> do tempo decorrido do turno.	62
Figura 38 - Lógica em <i>Ladder</i> do tempo efetivo de trabalho da máquina no turno. ..	64
Figura 39 - Lógica em <i>Ladder</i> do número de buchas produzidas no turno.	65
Figura 40 - Lógica em <i>Ladder</i> do tempo decorrido entre a produção de duas buchas consecutivas.....	66
Figura 41 - O radar de produção apresentado na IHM da máquina.	67
Figura 42 - Lógica em <i>Ladder</i> da comparação feita entre os valores na IHM e os valores de referência no CLP.....	69
Figura 43 - Lógica em <i>Ladder</i> do botão para salvar os valores atuais na IHM como os valores de referência.....	69
Figura 44 - Tela de parâmetros apresentado na IHM da máquina em que alguns foram alterados.....	70
Figura 45 - Representação do histórico de mudança de parâmetros presente na IHM da máquina.....	70

Figura 46 - Esquema proposto para implementação do sistema de segurança contra movimento repentino devido a volta do ar comprimido.	72
Figura 47 - Lógica em <i>Ladder</i> para abertura e fechamento da válvula de segurança do ar comprimido.....	73
Figura 48 - Instalação dos equipamentos necessários para garantir a segurança na volta do ar comprimido.	74
Figura A.1 – Instruções do bloco SET e RESET.....	80
Figura A.2 – Instruções dos blocos SETB e RSTB exclusivos para <i>bits</i>	81
Figura A.3 – Instruções dos blocos comparadores.	82
Figura A.4 – Instruções do bloco matemático de subtração para <i>word</i> e <i>double word</i>	83
Figura A.5 – Instruções do bloco matemático de multiplicação para <i>word</i> e <i>double word</i>	84
Figura A.6 – Instruções do bloco para movimento de dado MOV.	85
Figura A.7 – Instruções do bloco de contagem invertida CNTRX.	86
Figura A.8 – Instruções do bloco temporizador decremental de base 100 milissegundos TIM.	87
Figura A.9 – Instruções do bloco temporizador decremental de base 10 milissegundos TIMH.	88
Figura A.10 – Instruções do bloco temporizador decremental <i>double word</i> de base 100 milissegundos TIML.	89
Figura A.11 – Instruções do bloco temporizador incremental de base 100 milissegundos TTIM	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre diferentes tipos de bateria.....	25
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade Central de Processamento
DCS	<i>Distributed Control System</i>
DIN EN	<i>German Institute for Standardisation</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
Grafcet	<i>Graphe Fonctionnel de Commande Etapes/Transitions</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IL	<i>Instruction List</i>
IoT	Internet das Coisas
ISA	<i>International Society of Automation</i>
MÊS	<i>Manufacturing Execution System</i>
MOM	<i>Manufacturing Operations Management</i>
NR12	Norma Regulamentadora 12
PIMS	<i>Plant Information Management System</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
ST	<i>Structured Text</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

LFP	Lítio, Ferro e Fósforo
LiCoO ₂	Óxido de Cobalto de Lítio
V	Volts
Wh/kg	Watt-hora por quilograma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Geral	17
1.1.2	Específicos.....	17
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	19
2.2	BATERIAS.....	22
2.3	AUTOMAÇÃO	26
2.4	ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	27
2.5	PNEUMÁTICA	29
2.6	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP).....	30
2.6.1	Estrutura e funcionamento de CLPs.....	31
2.6.2	Linguagem de programação do CLP	33
2.7	MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES).....	34
3	PROBLEMÁTICA.....	36
3.1	ELEMENTOS DA LINHA	36
3.1.1	Prensa.....	36
3.1.2	Estações.....	37
3.1.3	Os braços	41
3.1.4	Transportador	42
3.2	PROBLEMÁTICA DA PRENSA.....	42
3.2.1	Ganho de produtividade	43
3.2.1.1	Mudança no início da rotina dos braços I, II e III	43
3.2.1.2	Monitoramento de sincronismo dos movimentos da máquina	45
3.2.2	Gerenciamento de dados.....	46
3.2.2.1	Desenvolvimento de um radar de produção	46
3.2.2.2	Rastreabilidade de mudança de parâmetro	48
3.2.3	Otimização dos sistemas de segurança durante a operação.....	49
3.2.3.1	Desenvolvimento de programação de segurança contra o movimento repentino devido à volta do ar comprimido.....	49
4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	51

4.1	MUDANÇA NO INÍCIO DA ROTINA DOS BRAÇOS I, II E III.....	51
4.2	MONITORAMENTO DE SINCRONISMO DOS MOVIMENTOS DA MÁQUINA.....	57
4.3	DESENVOLVIMENTO DE UM RADAR DE PRODUÇÃO	61
4.4	RASTREABILIDADE DE MUDANÇA DE PARÂMETRO.....	68
4.5	DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA O MOVIMENTO REPENTINO DEVIDO À VOLTA DO AR COMPRIMIDO.....	71
5	CONCLUSÃO.....	75
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	77
	REFERÊNCIAS	
	APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da indústria automobilística, a demanda por carros elétricos vem fomentando um crescente desenvolvimento tecnológico no estudo de baterias. Apesar disso, é importante ressaltar que os veículos à combustão ainda são predominantes e utilizam uma tecnologia de armazenamento de energia já maturada, através das baterias de chumbo-ácido.

Para que os veículos elétricos sejam comercialmente viáveis, há a necessidade de ações governamentais, como: bônus aos compradores, descontos em tributos, adoção de restrições a veículos convencionais e implementação de uma infraestrutura de carregamento (DE CASTRO E FERREIRA, 2010). Portanto, uma alternativa são os veículos híbridos, compostos tanto por motores elétricos quanto por motores à combustão interna. Devido a essas características, os veículos híbridos são uma significativa tendência de mercado, no entanto, por não ser objeto de estudo deste trabalho, serão mencionados apenas os veículos à combustão interna e os elétricos.

Considerando que os novos carros à combustão estão se tornando cada vez mais eficientes quando comparados aos veículos antigos, há projeções que indicam ser possível que os 300 milhões de veículos existentes no ano de 2030 venham a poluir menos que os atuais, o que é uma estimativa de grande relevância, pois substituir completamente os veículos à combustão ainda é um desafio considerando fatores econômicos, políticos, sociais e tecnológicos em muitas partes do mundo (MCDONALD, 2021).

Os obstáculos tecnológicos para o total desuso dos veículos à combustão são desafiadores, pois a tecnologia dos veículos elétricos depende do desenvolvimento de baterias com armazenamento e fornecimento de energia suficiente, de infraestrutura de recarga, fornecimento de energia da rede, reutilização e reciclagem das baterias. Ou seja, a competição não é apenas entre as tecnologias, mas entre os ecossistemas que suportam os veículos de combustão interna e os veículos elétricos. A redução significativa dos custos para tornar os veículos elétricos acessíveis só pode ser alcançada com a economia de escala (MCDONALD, 2021).

Projetando-se para o entendimento no cenário brasileiro, apesar de cerca de 85% do carregamento dos veículos elétricos serem domésticos, uma rede de carregamento pública adequada faz-se necessário para atender aos requisitos

essenciais, que consistem em estações públicas de carregamento com carregadores de nível 2 e de nível 3, de 4,5 kW a 22 kW e 100 kW de potência, respectivamente. Construir as infraestruturas de carregamento é um grande desafio em países de grandes dimensões como o Brasil. O custo de instalação de um equipamento para recarga de veículos elétricos pode variar de 30 a 80 mil dólares e, de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), seria necessário a instalação de 150 mil pontos de carregamento, totalizando um investimento de 4,5 a 12 bilhões de dólares, até 2035 (YAMAMURA et al, 2022). Este fato corrobora significativamente com a manutenção e domínio dos veículos à combustão.

Para suprir essa exigência da indústria automobilística, torna-se imprescindível que as instalações de produção de baterias reconfigurem suas práticas de manufatura. Essa reconfiguração envolve a implementação da automação industrial, o que acarreta benefícios notáveis em aspectos como aumento de produtividade, aprimoramento da qualidade, reforço da confiabilidade, análise de dados refinada e otimização da gestão.

Até a década de 60 do século passado, os recursos mais utilizados para os controles lógicos nas linhas de produção eram dispositivos eletromecânicos, que tiveram uma especial importância na indústria automotiva. Os processos produtivos exigiam instalações com grandes painéis a relé e várias interligações entre eles, caracterizando dispositivos complexos, principalmente para as mudanças de *setup* na produção de novos modelos de montagem. Surgiu, então, o primeiro Controlador Lógico Programável (CLP), com o objetivo de diminuir o tempo de montagem e manutenção dos antigos painéis elétricos. Com o uso do CLP, as mudanças de controle na linha de montagem passaram a ser realizadas via programação, dispensando então alterações físicas nas conexões dos painéis elétricos (GROOVER, 2015).

Com a utilização dos CLPs, viu-se a necessidade de monitorar inúmeros aspectos como ganhos de desempenho, qualidade e eficiência de processo. Portanto, esses dados passaram a ser monitorados e gerenciados através do *Manufacturing Execution System* (MES), responsável por fazer a ligação entre os resultados operacionais de manufatura com os sistemas gerenciais, possibilitando a tomada de decisões estratégicas ligadas ao processo produtivo. (MANTRAVADI e MØLLER,

2019). Ou seja, a importância do MES na automação é a possibilidade de substituir antigos sistemas de monitoramento básico por um *software* de gestão com potencial de visibilidade e direcionamento de melhorias no processo e alcance de metas (ZHONG et al, 2017).

A partir dessas premissas e demandas apresentadas referentes ao desenvolvimento da indústria automotiva, este trabalho irá aplicar os conceitos da automação industrial na melhoria do processo produtivo relacionado ao acabamento e usinagem das buchas, também conhecidas como terminais ou polos, que são peças que compõem o conjunto de componentes que fazem a interface da bateria de chumbo-ácido com o veículo para o fornecimento de energia. Além de trazer soluções que garantam o monitoramento dos dados do processo produtivo da máquina e o desenvolvimento de um sistema que apoia a adequação de segurança em conformidade com a Norma Regulamentadora 12 (NR12), que define os requisitos fundamentais e medidas de proteção para a garantia da integridade física dos trabalhadores.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção são resumidas as principais contribuições deste trabalho.

1.1.1 Geral

Diante de todas as necessidades e evoluções apontadas na indústria automotiva, o objeto de estudo deste trabalho visa à aplicação da automação industrial para melhorias no processo produtivo das baterias de chumbo ácido, realizado numa indústria nacional de produção de baterias, com foco na produção das peças acessório, dentre elas os polos, que é realizada em uma linha automatizada de prensagem e usinagem de buchas.

1.1.2 Específicos

- Otimizar os resultados de produtividade, por meio da correção do sincronismo do movimento dos componentes da máquina.

- Disponibilizar uma tela de monitoramento de dados, diretamente na IHM da máquina, garantido a confiabilidade dos dados e base de informação para gerenciamento dos resultados da produção.
- Garantir a segurança dos mantenedores quando da realização de atividades de manutenção da máquina.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é organizado nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 2:** Neste capítulo, são apresentadas a revisão do conteúdo referente aos conceitos básicos da indústria automotiva e de manufatura de baterias, arquitetura de automação industrial e das projeções acerca da continuidade da bateria de chumbo-ácido.
- **Capítulo 3:** Neste capítulo, são abordadas a problemática e as propostas de solução a serem aplicadas.
- **Capítulo 4:** Neste capítulo, traz-se o desenvolvimento do estudo, demonstrando as correções e implementações realizadas, juntamente com os resultados obtidos.
- **Capítulo 5:** Neste capítulo, traz-se uma breve recapitulação sobre os problemas identificados, as implementações realizadas e os resultados obtidos, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos e os estudos que norteiam o desenvolvimento deste trabalho, destacando a indústria automotiva e de fabricação de baterias, a automação industrial e os aspectos que embasam a permanência das baterias de chumbo-ácido como predominantes na indústria.

2.1 INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A Revolução Industrial representou um profundo processo de mudanças no sistema econômico, cultural e na estrutura social. Antes baseados na mão-de-obra artesanal, esses sistemas passaram a ser dominados pela mecanização dos processos de produção. Essa transformação continua influenciando a forma de trabalho e o modo de viver em sociedade, introduzindo novos meios de produção, distribuição e consumo de bens (SCHWAB, 2016).

O marco característico das revoluções industriais é o desenvolvimento de novas tecnologias, incluindo o desenvolvimento das máquinas a vapor, eletricidade, automação e robótica e, digitalização e Internet das Coisas (IoT). O uso de novos materiais, recursos, a invenção de máquinas e aplicações tecnológicas, como *softwares* de gestão da produção, que modificaram o processo produtivo, reduzindo a dependência da força humana (SCHWAB, 2016).

A Primeira Revolução Industrial (1760 – 1840) marcou uma transformação fundamental na dinâmica da força de trabalho, transitando do labor manual para a maquinaria mecânica. Esse período testemunhou a introdução do sistema a vapor, a construção de instalações industriais de manufatura e a adoção do sistema ferroviário como um meio revolucionário de transporte (SCHWAB, 2016).

No final do século XIX e início do século XX, emergiu a Segunda Revolução Industrial, caracterizada pela modernização radical do setor industrial, graças à implementação de novas fontes de energia e materiais sintéticos. Adicionalmente, assistiu-se ao desenvolvimento prolífico de novas máquinas, ferramentas e computadores, catalisando a automação dos processos de fabricação (SCHWAB, 2016).

A Terceira Revolução Industrial, com início na década de 1960, foi definida pelo advento dos semicondutores, computadores pessoais e a internet, estabelecendo assim o cenário para a Revolução Digital (SCHWAB, 2016).

Na atualidade, estamos imersos na Quarta Revolução Industrial, também identificada como Indústria 4.0. Este estágio se caracteriza pela convergência engenhosa de tecnologias que amalgamam os domínios da digitalização de dados, infraestruturas físicas e aplicações biológicas (SCHWAB, 2016).

A trajetória da indústria automobilística evoluiu paralelamente à necessidade de criar um sistema de energia portátil, dotado de potência suficiente e confiabilidade para atender às demandas dos veículos. Inicialmente, os veículos eram impulsionados por meio de sistemas de energia a vapor, contudo, ao longo do tempo, as pesquisas progrediram transitando de veículos abastecidos por células primárias de energia não recarregáveis até os modelos amplamente adotados nos dias de hoje (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015).

Um ponto de partida crucial no desenvolvimento do primeiro automóvel é a invenção de Nicolas-Joseph Cugnot em 1672. Ele concebeu o pioneiro veículo movido a vapor com capacidade para transportar pessoas. No final do século XIX, o enfoque nos estudos para implementar o motor de combustão interna ganhou relevância, destacando-se o ano de 1885, quando Carl Benz concretizou uma etapa marcante. Ele inventou o primeiro automóvel movido à gasolina, um veículo apto para uso cotidiano e comercialmente viável para a produção em série (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015).

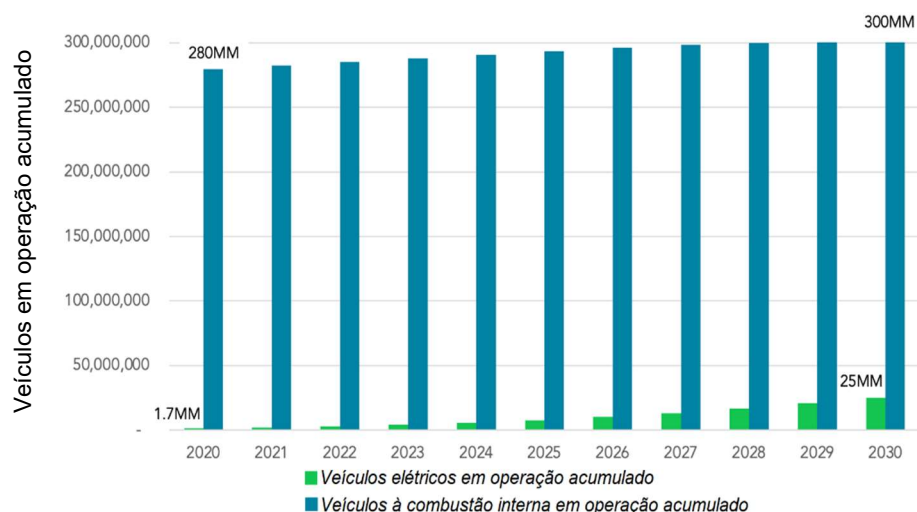
A busca por veículos automotivos evoluiu por meio de diferentes frentes de estudo. Em 1834, surgiu o primeiro carro elétrico capaz de percorrer uma curta distância numa pista eletrificada. Posteriormente, outros veículos aumentaram a autonomia com o desenvolvimento das primeiras células de bateria, baseadas nos estudos de Alessandro Volta, que criou um sistema de produção de energia capaz de gerar potência e contribuiu para o atual sistema de baterias de chumbo ácido (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015).

Todavia, foi somente com Henry Ford que a indústria automobilística atingiu uma produção de larga escala, ganhando significativo espaço no setor industrial, no mercado, na economia e na sociedade. Isso se deve, em grande parte, ao preço do

veículo que custava menos da metade do valor dos veículos elétricos existentes, além da rapidez e facilidade de reabastecimento (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015).

Atualmente, questões importantes relacionadas ao impacto ambiental dos automóveis movidos a combustíveis fósseis trazem à tona novos estudos para implementação de tecnologias que visam o desenvolvimento e a ampla adoção dos veículos elétricos. Essa abordagem representa uma oportunidade para promover a consciência ecológica, reduzindo os danos ao meio ambiente e tornando a manutenção mais econômica. Nesse contexto, em 2021, foi realizada uma projeção mostrada na Figura 1, que ilustra o aumento progressivo da produção desses veículos nos Estados Unidos de 2020 a 2030 (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015).

Figura 1 - Projeção de veículos elétricos x veículos à combustão interna em operação nos Estados Unidos: 2020 - 2030.



Fonte: Adaptado de MCDONALD (2021).

À medida que a tecnologia e a infraestrutura dos carros elétricos continuam avançando, espera-se uma transição gradual para essa forma de mobilidade. A projeção indicada na Figura 1 mostra que até 2030, o crescimento dos carros elétricos em operação será cerca de 190 vezes maior do que o crescimento dos carros à combustão. No entanto, os carros à combustão ainda permanecerão predominantes durante esse período (MCDONALD, 2021).

Com base no cenário apresentado em (MCDONALD, 2021), é previsto um aumento de 7,14% no total de veículos de combustão interna entre 2020 e 2030, enquanto o número de veículos elétricos apresenta um aumento significativamente

maior, de 1370,58% no mesmo período. Portanto, mantendo essa tendência, pode-se realizar uma estimativa do número de veículos elétricos versus o número de veículos à combustão em 2040, onde se prevê que 321 milhões de veículos à combustão interna contra 367 milhões de veículos elétricos. Por essa razão, as vendas de baterias de chumbo-ácido permanecerão consideráveis, pelo menos, pelas próximas duas décadas.

2.2 BATERIAS

Conforme mencionado anteriormente, o setor automobilístico possui uma relação intrínseca com a evolução das baterias pela necessidade de desenvolvimento de um sistema capaz de gerar potência elétrica para alimentar os motores, com capacidade suficiente de autonomia, recarga e portabilidade (MERRIMAN, 1985).

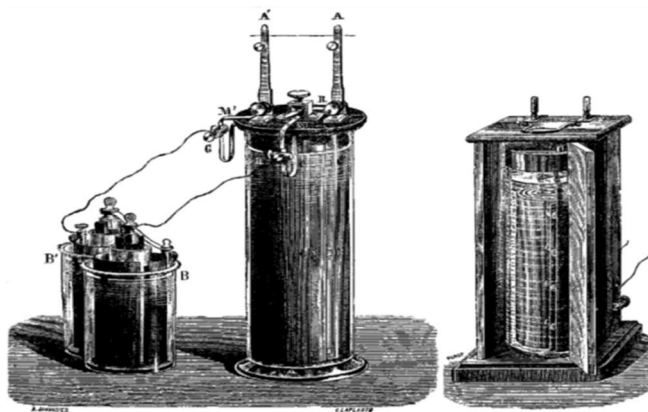
A bateria, também conhecida como célula eletroquímica, desempenha um papel fundamental na transformação direta da energia química armazenada em seus materiais em energia elétrica, gerando potência. Essa reação ocorre por meio da transferência de elétrons de um material, chamado ânodo, para outro, denominado cátodo, utilizando uma solução condutora como meio, chamada eletrólito. (MERRIMAN, 1985).

Em 1800, o cientista italiano Alessandro Volta descobriu que ao empilhar discos de metais diferentes (prata e zinco) separados por um tecido embebido de água com sal, uma corrente elétrica era gerada. Posteriormente, em 1836, um avanço significativo foi alcançado através do experimento de John Daniell, em que uma haste de zinco envolta em uma membrana animal, embebida em ácido sulfúrico, foi imersa em um vaso de cobre contendo sulfato de cobre. Em 1866, o francês Georges Leclanché inventou a célula primária que utilizava uma haste de zinco como o eletrodo negativo e uma haste de carbono como o eletrodo positivo, ambos imersos numa solução de cloreto de amônio, gerando um potencial elétrico de 1,5V (DELL e RAND, 2001).

No entanto, a demonstração mais efetiva de geração de energia, com potencial para uso em automóveis ocorreu em 1859, com o químico francês Gaston Planté, que desenvolveu a segunda célula de energia que consistia em duas espirais e uma folha de chumbo, separadas por um material poroso imersos em ácido sulfúrico, que rendeu

um potencial elétrico de 2V (DELL e RAND, 2001). O desenho da bateria de Planté está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Bateria de Gaston Planté.

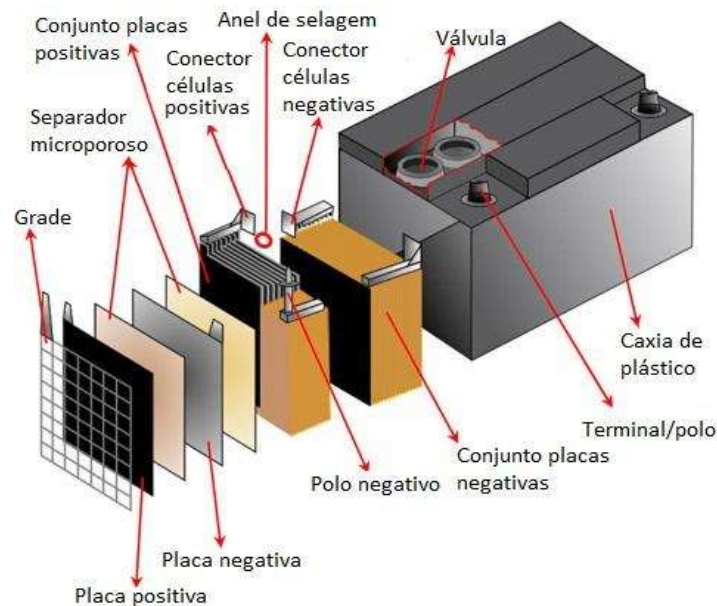


Fonte: UPSBATTERYCENTER (2022).

A busca pelo melhor dispositivo para aplicação nos veículos automotivos levou a diferentes frentes de estudo ao longo do tempo. Em 1912, o lítio começou a ser experimentado como potencial energético para as baterias de carros, embora esse material já tivesse sido descoberto em 1817. No entanto, somente a partir de 1970 as células primárias de lítio passaram a ser amplamente comercializadas devido à sua alta capacidade energética e, especialmente, à relação peso versus energia armazenada, que se mostrou vantajosa para diversas aplicações, incluindo a indústria automotiva (REDDY et al, 2020).

Atualmente, as baterias de chumbo-ácido, como a ilustrada na Figura 3, são amplamente utilizadas devido principalmente ao baixo custo, confiabilidade e desempenho aceitável numa ampla faixa de temperatura de trabalho. Essas baterias são fabricadas em diferentes tamanhos e capacidades, variando desde poucos amperes-hora até milhares de amperes-hora. A célula de armazenamento é composta por chumbo esponjoso reativo como eletrodo negativo, peróxido de chumbo como eletrodo positivo e ácido sulfúrico como solução eletrolítica. Os materiais dos eletrodos são frágeis e precisam ser suportados por placas ou telas de chumbo, que também atuam como condutores para a conexão do terminal com todas as partes dos materiais ativos (MERRIMAN, 1985). O objeto de estudo desse trabalho tem como foco atividades relacionadas ao processo produtivo dos terminais ou polos, também conhecidos como buchas.

Figura 3 - Elementos de uma bateria de chumbo-ácido.



Fonte: Adaptado de DOITPOMS (2023).

A bateria de chumbo-ácido tornou-se a primeira opção comercialmente viável e dominante do mercado por mais de um século, devido ao seu baixo custo e à tecnologia completamente desenvolvida, especialmente para as funções de iluminação, partida e ignição dos veículos. Com avanços satisfatórios em termos de energia específica, potência específica e velocidade de recarga adequada para a indústria automotiva, essa tecnologia consolidou sua posição no mercado (LIU et al, 2022).

O estudo das tecnologias relacionadas ao lítio inaugurou uma nova era para a produção de baterias de alta potência e densidade energética, com potencial de substituir as baterias à base de chumbo, de níquel-cádmio e níquel hidreto metálico. Dessa pesquisa surgiram os sistemas de baterias de lítio-metal e lítio-íon, durante a década de 70. As baterias de lítio metálico foram os primeiros experimentos a não utilizar meio aquoso como eletrólito, sendo compostas por um ânodo de lítio metálico e um cátodo com diversos materiais testados, como iodina, óxido de manganês e pirita. Embora esses testes tenham demonstrado características positivas, como alta capacidade energética e baixo peso, a bateria de lítio metálico não foi considerada comercialmente viável devido às graves preocupações relacionadas à segurança (LIU et al, 2022).

A partir da década de 80, iniciou-se uma nova fase nos estudos da tecnologia de baterias à base de lítio, que pode ser dividida em três grandes momentos: (i) utilização do óxido de cobalto de lítio (LiCoO_2) como cátodo e coque de petróleo como ânodo, (ii) transição do carbono bruto para o grafite como ânodo e (iii) melhorias significativas em termos de densidade energética, com a utilização de camadas de óxidos de manganês, cobalto e níquel como cátodo (LIU et al, 2022).

Por fim, as baterias de lítio-íon do tipo LFP (Lítio, Ferro e Fósforo) estão se tornando muito populares, apesar de possuírem baixa densidade energética. No entanto, elas se destacam positivamente por suas características como segurança, longo ciclo de vida e baixo custo para aplicações automotivas (LIU et al, 2022).

Uma das grandes vantagens das baterias de íon-lítio é a sua alta capacidade de armazenamento de energia, conhecida como energia específica ou potência específica. Em termos práticos, enquanto uma bateria de chumbo-ácido possui uma energia específica entre 30 a 50 Wh/kg, uma bateria de íon-lítio varia entre 120 a 300 Wh/kg, como mostrado na Tabela 1. Além disso, outra qualidade importante é a quantidade de ciclos de vida que uma bateria de íon-lítio pode suportar, podendo ser até 4 vezes maior do que a de chumbo-ácido (LIU et al, 2022).

Tabela 1 - Comparativo entre diferentes tipos de bateria.

Tipo	Energia específica (Wh/kg)	Potência específica (W/kg)	Ciclo de vida	Prós	Contras
Chumbo-ácido	30 a 50	150 a 200	400 a 800	Baixo custo, boa performance em baixas e altas temperaturas	Baixa eficiência energética, baixa energia específica, efeito de memória
Base-Níquel	35 a 80	150 a 450	800 a 2000	Baixo custo, alta potência específica	Baixa eficiência energética, baixa energia específica
Lítio a temperatura ambiente	120 a 300	200 a 450	600 a 3000	Alta energia específica, alta potência específica, ciclo de vida longo	Custo moderado, perigo de incêndio
Sódio-beta	115 a 200	120 a 150	800 a 2000	Alta energia específica, alta energia específica	Alta temperatura de operação, risco à segurança, alto custo
Lítio a alta temperatura	130 a 180		1000 a 1200		
Metal-ar	75 a 250	240 a 400	300 a 800	Baixo custo, alta energia específica, fácil recarga	Alto custo, baixa potência específica, faixa de operação estreita
Zinco-halogênio	65 a 75	100 a 200	200 a 400	Recarga líquida, baixo custo	Manutenção frequente, baixa energia e potência específica

Fonte: Adaptado de LIU et al (2022).

2.3 AUTOMAÇÃO

As baterias de chumbo-ácido enquadram-se entre os sistemas mais comuns de armazenamento de energia devido ao baixo custo de produção e processo de reciclagem bem estabelecido. Por essas características, a bateria de chumbo ácido tem uma relevante importância econômica e tecnológica, sendo objeto de várias pesquisas científicas, estudos e avaliações técnicas (ZANCONATO et al, 2017).

A formação da bateria de chumbo-ácido é uma das etapas mais importantes da fabricação, e em grande parte, ainda é realizada manualmente na maioria das indústrias brasileiras que estão investindo na automatização desses processos. Quando se utiliza recursos de automação, há ganhos no controle preciso dos parâmetros de produção e qualidade. Além disso, a indústria automotiva requer cada vez mais qualidade e eficiência, o que traz a necessidade de adaptação de maneira mais rápida e controlada (ZANCONATO et al, 2017).

O termo automação tem origem na palavra grega *automatos* que significa “aquele que atua por si mesmo”. Esse conceito ganhou efetiva difusão a partir da década de 40, especialmente na indústria automotiva americana. A automação, em sua essência, é alcançada através do uso de uma variedade de dispositivos, sensores, atuadores, técnicas e equipamentos que são capazes de observar uma atividade, tomando decisões e controlando as mudanças necessárias que precisam ser feitas na operação ou processo (GUPTA et al, 2017).

A efetiva consolidação da automação como uma necessidade teve início com a ascensão da Terceira Revolução Industrial. Nesse contexto, os sistemas de automação emergiram como um fator crucial, agregando uma série de vantagens. Tais sistemas têm o potencial de ampliar exponencialmente a produtividade, ao mesmo tempo em que reduzem substancialmente os custos associados à mão de obra. Além disso, eles almejam eliminar ou minimizar tarefas repetitivas de cunho manual, aprimorar a segurança dos trabalhadores e garantir uma maior qualidade dos produtos (GROOVER, 2015).

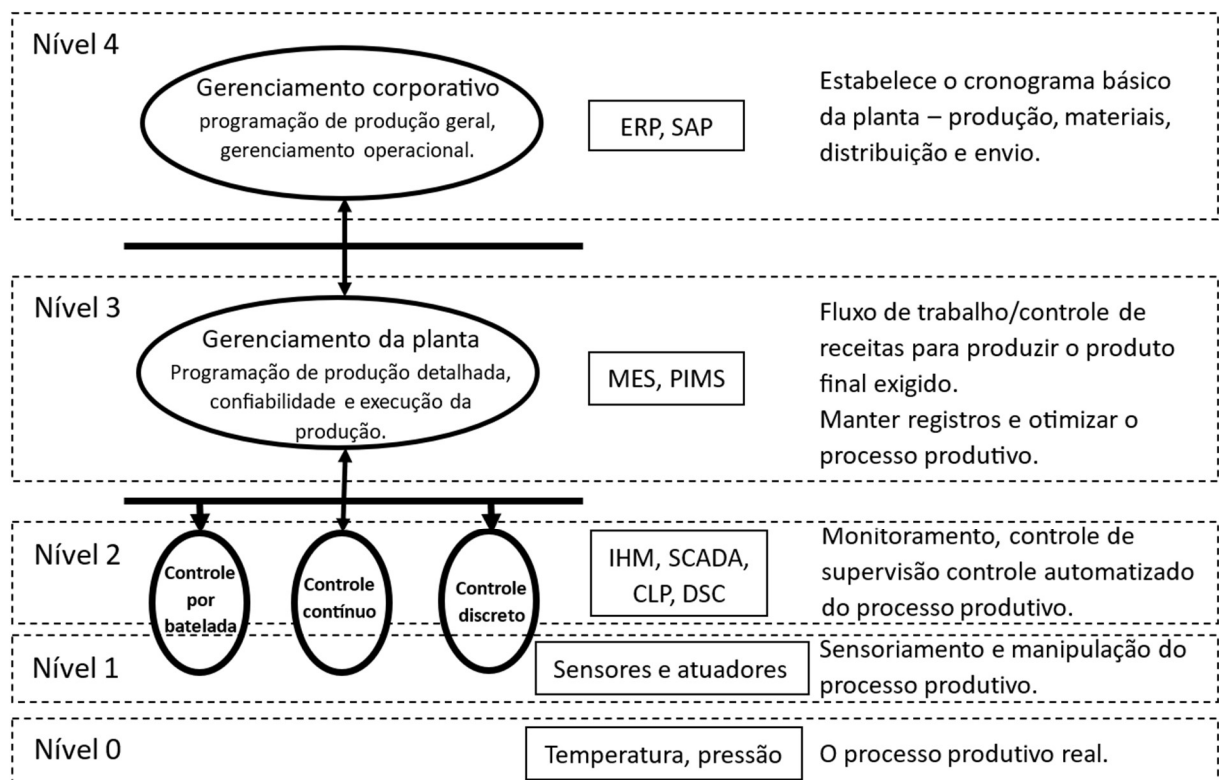
Ademais, essa transição para a automatização habilita a execução de processos que previamente se mostravam inviáveis mediante métodos manuais. A concretização de tais benefícios deriva essencialmente da integração sinérgica entre sensores e sistemas computacionais, os quais detêm a capacidade de orquestrar processos em tempo real, garantindo eficiência e eficácia inigualáveis (GROOVER, 2015).

Portanto, a automação acarreta numa redução da quantidade de mão de obra para a realização dos processos. No entanto, mesmo em sistemas de produção altamente automatizados, os seres humanos ainda serão peças fundamentais na indústria de manufatura, pois ao invés realizar a manufatura diretamente, irão supervisionar a máquina que realiza a tarefa. Além disso, há a necessidade de realizar as programações de manutenção preventiva, mantendo os equipamentos em bom estado de funcionamento (GROOVER, 2015).

2.4 ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A depender do investimento, tipo de projeto, mão de obra disponível e outros fatores diversos, existem diferentes maneiras de aplicação da automação nas indústrias, assim como, qual nível de automação será viável na implementação. Considerando esses aspectos, de acordo com a IEC 62264-1, pode-se classificar a automação industrial em cinco níveis, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura de rede industrial segundo o padrão IEC 62264-1.



Fonte: Adaptado de IEC 62264-1 (2010).

Nível 0 ou nível do processo real: É o nível mais baixo da arquitetura de automação industrial, onde estão presentes grandezas físicas reais do processo, como temperatura, pressão, nível, velocidade, vazão, pH etc.

Nível 1 ou nível de sensoriamento e manipulação do processo: É o segundo nível da arquitetura de automação industrial, onde a maior parte dos dispositivos e componentes é responsável pela aquisição de dados. É composto pelos dispositivos e componentes mais básicos presentes no chão de fábrica, como: sensores, transmissores de dados, atuadores, chaves, relés e válvulas.

Nível 2 ou nível de controle e monitoramento da planta: É o nível que compreende os equipamentos que realizam o controle automatizado dos processos de forma isolada, garantindo a sequência das operações de cada máquina. O controle deste nível é feito através de CLPs e do Distributed Control System (DCS). Além de ser o nível onde são supervisionados os processos da planta como um todo, sendo ainda o banco de dados, otimizando as informações ligadas à planta e aos processos, servindo de suporte à operação. Utiliza Interfaces Homem-Máquina (IHMs) para fornecer as informações no chão de fábrica próximas às máquinas, além de sistemas supervisórios do tipo Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) em salas de comando.

Nível 3 ou nível de gerenciamento operacional: É o nível de controle das máquinas em uma planta industrial, sendo responsável por planejar os processos, realizar o controle de inventário e controle de qualidade. É normalmente operacionalizado a partir de salas de controle, utilizando sistemas como MES e o *Plant Information Management System* (PIMS) que são capazes de coletar e centralizar dados de diferentes unidades em uma única base de dados, disponibilizando relatórios a diferentes níveis de usuários.

Nível 4 ou nível de gerenciamento corporativo: É o nível mais alto da arquitetura de automação industrial, onde são administrados os recursos através de *softwares* de gestão, para a tomada de decisões estratégicas baseadas na avaliação dos dados e resultados dos níveis anteriores. Normalmente é realizado por sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP), capazes de integrar em uma única base os dados e processos da empresa, para o gerenciamento estratégico, envolvendo todas as áreas de gestão como marketing, vendas, pesquisa, design, manutenção, planejamento e controle macro de produção.

2.5 PNEUMÁTICA

É de conhecimento que o sistema de ar comprimido tem um potencial significativo para fornecer desempenho energético em larga escala e é aplicável a uma ampla gama de situações e tecnologias nos processos industriais. Esse sistema apresenta diversas vantagens, como, baixo custo, confiabilidade e potência, especialmente devido à robustez e facilidade de instalação dos equipamentos pneumáticos. Portanto, eles podem ser utilizados sob sobrecargas prolongadas e em ambientes com condições adversas, tais como, poeira, umidade, corrosão e 45 condições explosivas, o que resulta em vantagens expressivas em termos de custo e rendimento (BRANDÃO, 2017).

De acordo com a Figura 4, um dos principais elementos da arquitetura industrial do nível 1 são os atuadores, em especial na indústria de baterias, onde utiliza-se bastante dispositivos pneumáticos.

O ar comprimido é ar atmosférico compactado por meios mecânicos, chamados de compressores, e retido em um reservatório a uma determinada pressão. A palavra pneumática tem origem grega, que significa respiração ou vento. Ou seja, é basicamente o uso de ar pressurizado para produzir um movimento mecânico ou provocar algum controle de processo (MOREIRA, 2012).

Os sistemas de automação pneumática são amplamente aplicados na indústria devido à sua simplicidade de estrutura, em comparação a sistemas hidráulicos, e à variedade de possibilidades de aplicação em operações industriais. Outra vantagem é que o transporte de ar comprimido não requer vias de retorno, pois pode ser devolvido ao ambiente, já que utiliza o próprio ar atmosférico (MOREIRA, 2012).

Além disso, a automação pneumática possui outras vantagens, como a capacidade de operar em amplas faixas de temperatura sem prejuízo operacional. É também indicada para ambientes explosivos ou com risco de incêndio, pois o ar comprimido não é inflamável e não produz faíscas. No entanto, por ser um fluido compressível, não é recomendado para aplicações que exigem velocidades e posicionamentos precisos. Além disso, o sistema pneumático apresenta possibilidades de vazamentos, devido ao elevado número de engates e conexões, o que requer um trabalho contínuo dos compressores (MOREIRA, 2012).

Atualmente, os sistemas pneumáticos são amplamente utilizados na indústria e podem ser aprimorados com o uso de sistemas eletrônicos de controle, como CLPs e DCSs (MOREIRA, 2012). Essa combinação permite a realização de operações mais complexas e eficientes, tornando a automação pneumática uma opção versátil para diversas aplicações industriais. Exemplos de dispositivos pneumáticos estão mostrados na Figura 5.

Figura 5 - Exemplos de sensor e atuador pneumáticos.



Fonte: O Autor (2023).

2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O CLP (nível 2) foi introduzido na indústria automotiva americana, na década de 70, com o objetivo de substituir os sistemas eletromecânicos a relé, que antes eram responsáveis pela lógica de controle. Essa implementação foi fundamental para aprimorar o controle dos processos de automação. O CLP pode ser definido como um computador, que utiliza instruções armazenadas em sua memória programável para implementar lógica, sequenciamento, temporização, contagem e funções aritméticas no controle de máquinas e processos, ou seja, é um computador industrial adaptado para o controle dos processos de produção (GROOVER, 2015). Um exemplo de CLP está mostrado na Figura 6.

Dentre os benefícios da implementação do CLP em comparação aos controladores eletromecânicos a relé, destacam-se:

- É versátil, sendo reprogramável, enquanto os controladores a relé requerem remontagem;
- É compacto, ocupando menos espaço no chão de fábrica em comparação aos painéis de controle com relés;

- Elevada confiabilidade decorrente do emprego do controle eletroeletrônico, e que se enaltece ainda por exigir escassa manutenção, atribuído tanto à sua robustez quanto à sua natureza eminentemente elétrica;
- Possibilidade de realizar uma ampla variedade de funções de controle, pois podem ser facilmente integrados a sistemas de computadores.

Figura 6 – CLP Omron CP-series CP1E.



Fonte: Omron (2023).

2.6.1 Estrutura e funcionamento de CLPs

Os CLPs se distinguem dos computadores pessoais em termos das tarefas que precisam realizar, além dos componentes e programas necessários para a realização destas tarefas. Independente da aplicação, todos os CLPs compartilham a mesma função: monitorar variáveis e entradas de dados, tomar decisões baseadas em instruções programadas e controlar as saídas do processo através de atuadores (SIEMENS, 2016).

Um CLP possui um microprocessador associado a uma memória programável. Esse dispositivo reúne componentes essenciais que operam em conjunto para viabilizar o armazenamento de dados, controle e automatização de processos industriais de forma eficiente. Entre os elementos fundamentais estão os módulos de entrada, a Unidade Central de Processamento (CPU), responsável por interpretar as entradas, executar os comandos e emitir sinais de saída, além dos módulos de saída,

utilizados para a troca de informações com dispositivos externos. Complementando o conjunto, existe o módulo de programação, que permite configurar o comportamento do CLP (SIEMENS, 2016).

Além desses componentes, o sistema de controle pode abranger IHMs pertencentes ao nível 2. Essas interfaces desempenham o papel de monitorar e gerenciar a máquina ou o processo em questão. Embora não sejam uma parte intrínseca do CLP, elas atuam em cooperação para proporcionar uma interface gráfica, por meio da qual os operadores têm a capacidade de supervisionar e regular a operação da máquina ou processo. Isso possibilita uma interação direta com o sistema, permitindo a resolução de problemas e o ajuste de parâmetros conforme necessário (SIEMENS, 2016). Na Figura 7 é mostrado um diagrama que ilustra a arquitetura do CLP.

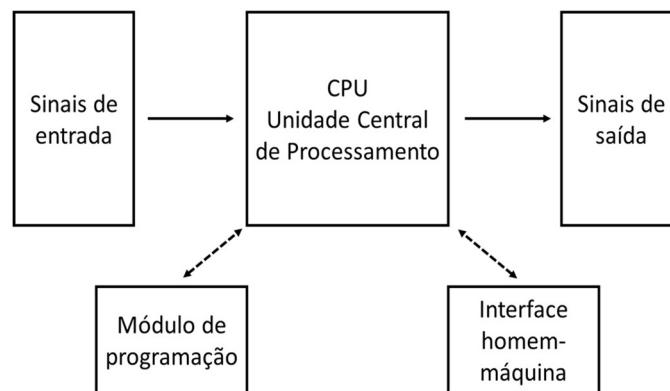
Dentro do CLP, os módulos de entrada desempenham um papel crucial ao converter os sinais recebidos de dispositivos externos em sinais lógicos que podem ser processados pela CPU. Esses dispositivos externos podem variar dependendo da aplicação e incluem sensores, interruptores ou outros dispositivos que fornecem dados sobre o processo em questão (SIEMENS, 2016).

A CPU é o cérebro do CLP e executa as instruções pré-programadas armazenadas na memória. Ela utiliza os valores de entradas, saídas e outras variáveis para tomar decisões e controlar o processo. A CPU verifica continuamente as entradas, executa as operações lógicas com base nas instruções do programa e gera sinais de saída apropriados (SIEMENS, 2016).

Os módulos de saída são os responsáveis pela conversão dos sinais da CPU em sinais digitais ou analógicos que podem efetivamente controlar os atuadores. Esses dispositivos de saída podem incluir motores, válvulas solenoides, relés ou quaisquer outros componentes que executam ações físicas com base nas instruções do CLP (SIEMENS, 2016).

O módulo de programação é utilizado para inserir ou modificar o programa do CLP e para monitorar ou ajustar os valores armazenados. Este módulo permite que o usuário crie ou modifique a lógica que define o comportamento do CLP. Uma vez que o programa é embarcado, ele é armazenado na memória não volátil junto com as variáveis associadas (SIEMENS, 2016).

Figura 7 - Arquitetura de um CLP.



Fonte: Adaptado de SIEMENS (2023).

2.6.2 Linguagem de programação do CLP

A programação é o método pelo qual o usuário insere as instruções de controle através de um dispositivo de programação. Essas instruções são implementadas utilizando-se de linguagens de programação definidas pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), publicadas no padrão IEC 61131-3, trazendo três linguagens gráficas: *Ladder Logic Diagrams* (Ladder), *Function Block Diagram* (FBD), *Sequential Function Chart* (SFC), e duas linguagens escritas: *Instruction List* (IL) e *Structured Text* (ST) (GROOVER, 2015). Por fim, existe também a linguagem *Graphe Fonctionnel de Commande Etapes/Transitions* (Grafcet), implementada pelo padrão europeu DIN EN 60848:2011, utilizada para descrever as funções para o controle de processos sequenciais de máquinas.

A linguagem *Ladder* teve sua origem como um método para documentar a arquitetura dos projetos e a estrutura dos relés utilizados no controle de processos. Com o tempo, ela evoluiu para uma linguagem de programação que representa um programa, por meio de um diagrama gráfico, baseado nos circuitos eletromecânicos (GROOVER, 2015).

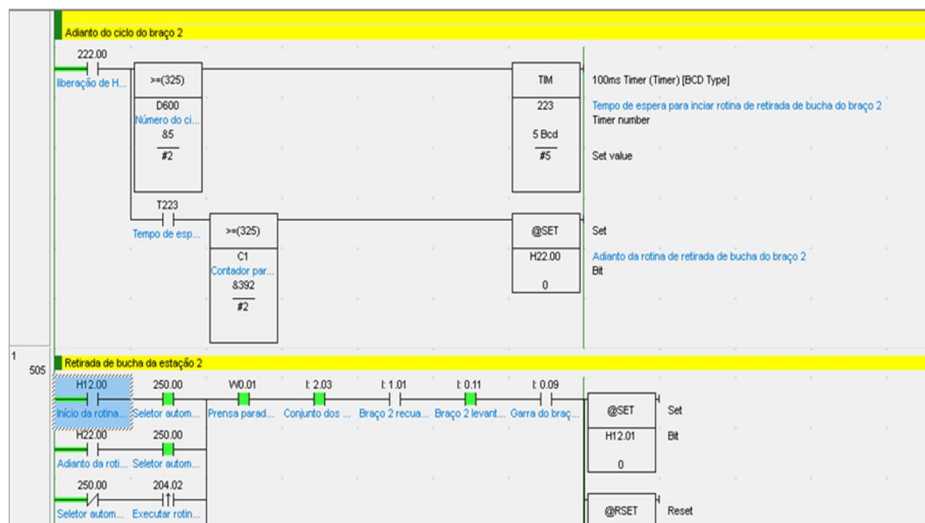
No estudo realizado, a linguagem utilizada no CLP foi a *Ladder* por ser a linguagem mais popular em CLPs e que não necessita de um conhecimento prévio de linguagem de programação, já que simula um circuito elétrico representado por uma lógica de controle sequencial, tornando-a mais intuitiva para os operadores e programadores.

A representação gráfica da linguagem *Ladder* é feita através de um diagrama que possui elementos e componentes inseridos ao longo de linhas horizontais, que

são conectadas em suas extremidades por linhas verticais, denotando o formato de uma escada. Na estrutura, os elementos de entrada, representados por contatos, ficam localizados à esquerda, enquanto os elementos de saída, representados por bobinas, ficam à direita do diagrama (GROOVER, 2015).

Na Figura 8, é mostrado um exemplo da linguagem *Ladder* utilizada no CLP da máquina em que foi realizado o estudo deste trabalho.

Figura 8 - Exemplo de um código em *Ladder*.



Fonte: O Autor (2023).

2.7 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES)

O MES, nível 3, tem se mostrado um sistema fundamental no desempenho, qualidade e agilidade dos processos de manufatura. Desenvolvido na década de 70, esse sistema foi criado com o objetivo de apoiar a execução de produção e promover o gerenciamento *online* das atividades no chão de fábrica. É considerado um dos principais sistemas que compõem o nível 3 da arquitetura de rede industrial definido pela *International Society of Automation 95* (ISA 95), o padrão internacional para o desenvolvimento de uma interface automatizada entre sistemas corporativos e de controle.

Basicamente, o MES faz a ligação entre os dados operacionais de manufatura da planta com os dados gerenciais, que possibilitam a tomada de decisões estratégicas do processo de produção, através do acompanhamento de recursos materiais, de pessoas e de equipamentos de uma planta. Os elementos do *Manufacturing Operations Management (MOM)* são os que norteiam o gerenciamento

das operações de produção, manutenção, qualidade, acompanhamento de inventário, dentre outras atividades relacionadas ao processo (MANTRAVADI e MØLLER, 2019).

A relevância do MES, na era da Indústria 4.0, está na capacidade de substituir sistemas tradicionais de monitoramento por um *software* de gestão de alta categoria dentro da estrutura de rede avançada. Esse *software* possui a habilidade de direcionar e conferir visibilidade aos avanços em direção às metas, bem como às melhorias operacionais do processo industrial. Como parte de seu compromisso em proporcionar serviços superiores aos clientes, fábricas inteligentes têm adotado a IoT para coletar e analisar informações oriundas de dispositivos e aplicativos inteligentes (ZHONG et al, 2017).

Através dessa abordagem, as fábricas da Indústria 4.0 estão capacitando os próprios clientes a se envolverem em seus processos de produção, permitindo uma conexão mais direta e participativa. Essa integração possibilita uma compreensão mais profunda dos processos, além de promover uma interação significativa entre as partes envolvidas (ZHONG et al, 2017).

3 PROBLEMÁTICA

Neste capítulo, será apresentada de forma detalhada a planta de manufatura deste estudo, cujo nome é linha automatizada de prensagem e usinagem de buchas, ou seja, os terminais ou polos que são componentes da bateria, além dos problemas encontrados durante a execução das atividades deste trabalho. A função da planta consiste em transformar buchas fundidas, provenientes de fundidoras de chumbo, em peças já finalizadas para injeção em injetoras de plástico.

A linha de prensagem e usinagem é composta por três máquinas aglutinadas numa mesma carcaça: a prensa, onde são realizadas as etapas de prensagem, corte e usinagem das buchas; a laminadora, onde as buchas são laminadas (acabamento); e, por fim, o robô (*pick-and-place*), responsável por colocar as buchas em bandejas, onde são armazenadas e transportadas para outra etapa da montagem.

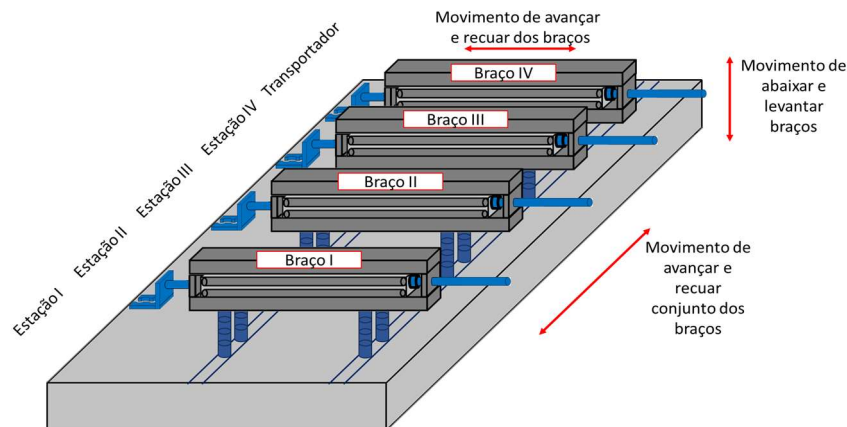
3.1 ELEMENTOS DA LINHA

O objetivo desse tópico é a descrição de cada um dos componentes específicos da linha de prensagem e usinagem, com a representação das funções das máquinas, estrutura e etapas dentro de cada rotina, desde a entrada até o acabamento das buchas.

3.1.1 Prensa

A Prensa é composta por quatro estações: alimentador, prensagem, corte e usinagem e dispõe de quatro braços que fazem o transporte das buchas entre as estações. A máquina foi projetada para produzir duas buchas de cada vez, portanto, cada estação e cada braço são capazes de receber e manusear uma dupla simultaneamente. A Figura 9 mostra a disposição do conjunto de braços e as estações da Prensa.

Figura 9 - Conjunto de braços.



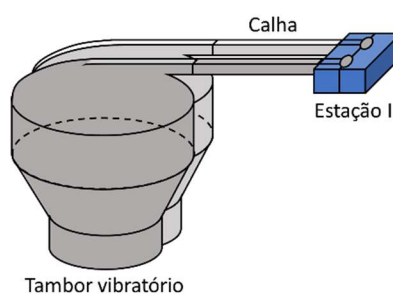
Fonte: O Autor (2023).

3.1.2 Estações

As estações são as etapas da linha onde as buchas fundidas, ainda em sua forma bruta, passam por tratamentos até a finalização da peça, ou seja, a usinagem.

A primeira etapa, que marca o início do processo na linha, é a Estação I (alimentador), mostrada na Figura 10. Para iniciar o processo, as peças são colocadas em tambores vibratórios e conduzidas por duas calhas até a primeira estação, que possui duas entradas designadas para receber a dupla de buchas provenientes das calhas. Aqui, há dois sensores ópticos que são os responsáveis por identificar a presença ou ausência da dupla de buchas. Ambas as buchas devem chegar à estação para que o processo possa iniciar. Quando isso acontece, o alimentador avança para a posição de entregar as buchas para o Braço I. A bucha fundida que inicia esse processo é mostrada na Figura 11.

Figura 10 – Estação I (Alimentador)



Fonte: O Autor (2023).

Figura 11 - Bucha fundida.

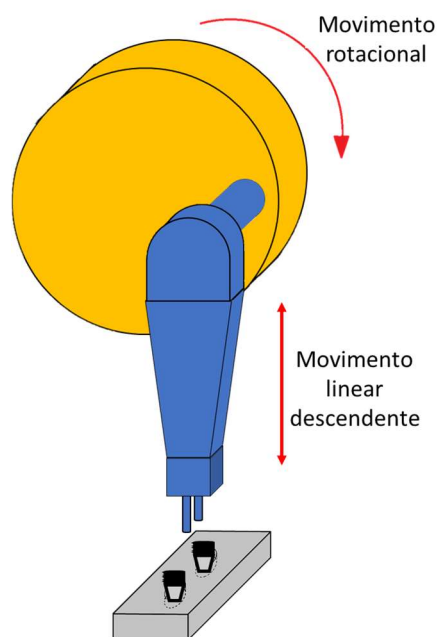


Fonte: O Autor (2023).

As buchas são fundidas em um formato cônico e apresentam três anéis, como é mostrado na Figura 11, cuja função é permitir a adesão na tampa da bateria. Em seguida, passam por uma etapa de prensagem para adquirir sua forma e dimensões finais. A Estação II, também conhecida como Estação de Prensagem, possui uma prensa mecânica acionada por uma embreagem acoplada a um volante de inércia (*flywheel*). Um motor elétrico mantém o volante de inércia em uma velocidade constante e, quando ativado, a energia cinética rotacional armazenada é transferida para um movimento linear descendente.

A prensa é acionada apenas quando existem duas buchas na estação e os braços I e II estão recuados. Essas são as condições necessárias para o acionamento. Um esboço simplificado da Estação II é mostrado na Figura 12

Figura 12 - Estação II (Prensagem).



Fonte: O Autor (2023).

Após o processo de prensagem, a bucha resultante contém várias rebarbas, um excesso de material que se acumula na extremidade superior e entre os anéis da peça. Essa rebarba precisa ser removida por meio de processos de corte e usinagem. A Figura 13 mostra a bucha prensada, destacando a presença da rebarba.

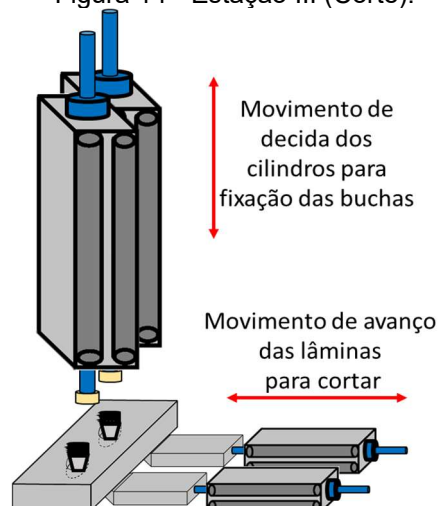
Figura 13 – Comparativo entre as buchas fundida e prensada.



Fonte: O Autor (2023).

A Estação III (corte) desempenha a função de remover a rebarba localizada na parte superior da bucha. Essa estação utiliza uma lâmina acionada por um cilindro pneumático, que avança e recua em linha reta, para facear o topo da peça, eliminando o excesso de material (rebarba). A ativação da Estação III ocorre apenas quando os sensores de presença detectam as buchas em suas posições corretas e os cilindros de fixação prendem as peças de forma adequada. As Figuras 14 e 15 mostram, respectivamente, o esboço simplificado da Estação III e a bucha após o corte.

Figura 14 - Estação III (Corte).



Fonte: O Autor (2023).

Figura 15 - Comparativo entre as buchas prensada e cortada.

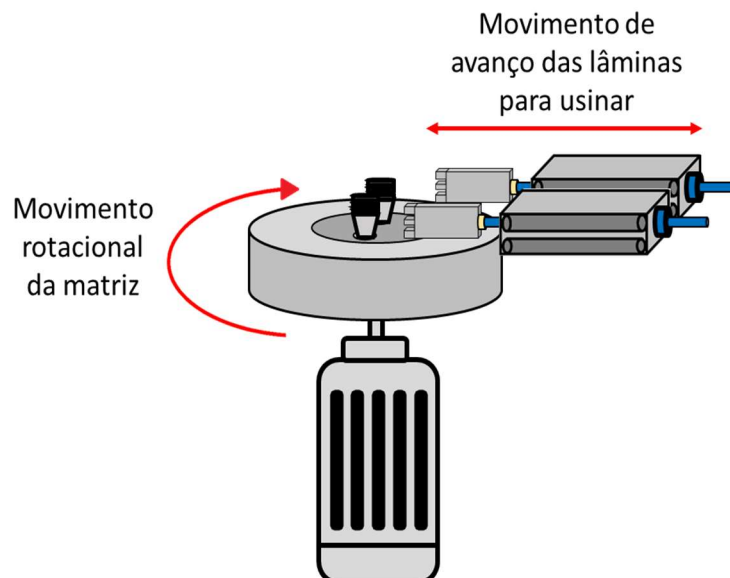


Fonte: O Autor (2023).

A Estação IV (usinagem) é a responsável por retirar a rebarba existente entre os anéis da bucha. Nessa estação, as peças são fixadas em uma matriz rotativa, que é acelerada juntamente com as buchas, enquanto lâminas avançam por meio de um cilindro pneumático encostando-se às peças e removendo a rebarba lateral presente entre os anéis da bucha.

A ativação da Estação IV ocorre somente quando os sensores de presença detectam as buchas em suas posições corretas e os cilindros de fixação prendem as peças de maneira adequada. As Figuras 16 e 17 mostram, respectivamente, um esboço simplificado da Estação IV e a bucha após o processo de usinagem.

Figura 16 - Estação IV (Usinagem).



Fonte: O Autor (2023).

Figura 17 - Comparativo entre as buchas cortada e usinada.



Fonte: O Autor (2023).

3.1.3 Os braços

A linha de prensagem e usinagem é composta por braços que desempenham um papel fundamental no processo de acabamento das buchas, movendo-as entre as estações da máquina. Esses braços são acionados por um sistema pneumático controlado por um CLP. Sua principal função é realizar as tarefas de inserção e retirada das buchas nas diferentes estações da máquina, garantindo um fluxo contínuo e eficiente no processo de produção.

Cada braço possui uma função específica dentro do sistema. O Braço I tem a responsabilidade de retirar as buchas da Estação I, e depositá-las na Estação II. No entanto, o Braço I só deve remover a dupla de buchas quando ambas estiverem devidamente posicionadas na Estação I e somente depositá-las na Estação II se não houver nenhuma peça dentro desta estação.

Já o Braço II é encarregado de retirar as buchas da Estação II, após a realização da etapa de prensagem, e transferi-las para a Estação III, onde ocorre o corte. Para desempenhar essa função, o Braço II só deve remover as buchas após a prensa executar sua rotina de descida e subida. Além disso, o Braço II só depositará as buchas na próxima etapa se a Estação III estiver vazia, garantindo um fluxo adequado no processo.

O Braço III é responsável por retirar as buchas da Estação III, onde ocorre o corte, e depositá-las na Estação IV, onde acontecerá a usinagem. Assim como os outros braços, o Braço III deve retirar a dupla de buchas somente após o corte executar sua rotina de avanço e recuo. Além disso, as buchas serão depositadas na estação de usinagem somente se não houver nenhuma peça dentro dessa estação.

Por fim, o Braço IV tem a função de retirar as buchas da Estação IV, onde ocorreu a usinagem, e depositá-las no transportador. No entanto, o Braço IV só deve retirar as buchas após a Estação IV concluir sua rotina. Além disso, para garantir a integridade do processo, as buchas apenas serão depositadas no transportador se este estiver na posição original, ou seja, recuado e vazio.

3.1.4 Transportador

O transportador desempenha um papel essencial na transição entre as máquinas de prensagem e usinagem e a máquina laminadora. Sua função é transportar as buchas usinadas para a etapa final de acabamento, que é a laminação. No entanto, a descrição detalhada da etapa de laminação não será abordada neste trabalho, pois não faz parte do escopo do objeto de estudo. Da mesma forma, o robô (*pick-and-place*), responsável por manipular e posicionar as peças finalizadas em bandejas para serem encaminhadas às etapas subsequentes do processo de montagem das baterias, também não será abordado.

3.2 PROBLEMÁTICA DA PRENSA

Considerando a descrição da linha de produção nos itens anteriores e suas diferentes etapas de processo, viu-se a necessidade de analisar as oportunidades de melhoria para maximizar a eficiência da produção e, ainda, melhorar os sistemas de segurança na operação da máquina. Ao analisar os problemas, destacam-se três melhorias gerais: ganho de produtividade, gerenciamento de dados e otimização dos sistemas de segurança durante a operação.

Entende-se que o ganho de produtividade e o gerenciamento de dados do processo são essenciais para a manutenção e alcance de resultados positivos em uma linha de produção. Portanto, nesse estudo, em particular, será dada ênfase em melhorias no processo de acabamento das buchas, considerando que os problemas nessa etapa impactam significativamente nos resultados como um todo.

3.2.1 Ganho de produtividade

O conceito de produtividade dentro da concepção de Indústria 4.0 é inevitavelmente baseado em tecnologia, eficiência nos processos e informação em tempo real, obtidas diretamente das máquinas e processadas em *softwares* que disponibilizam os dados de maneira contínua e sem atraso para as esferas produtivas e gerenciais. Sob essa ótica, a otimização da capacidade produtiva ultrapassa o conceito tradicional de maximização da produção. Analisar a capacidade produtiva ociosa e pensar em novas estratégias de melhoria contínua para o máximo resultado positivo é, portanto, base de fatores primordiais os quais, atualmente, podemos considerar uma quarta revolução industrial, que se utiliza de informação e tecnologia, elevando os níveis de automatismos nas indústrias (SANTANA et al, 2017).

Nesse contexto, os processos produtivos industriais tendem a buscar mais eficiência e autonomia, sendo facilmente adaptados e customizados, repercutindo um grande impacto na capacidade de otimização, sempre com foco na melhoria contínua, eliminação de desperdícios dos diversos recursos, melhora na qualidade dos produtos e redução de custos operacionais (SANTANA et al, 2017).

Portanto, diante do cenário descrito, esse trabalho expõe uma oportunidade de ganho de produtividade particularmente na etapa de acabamento das buchas, onde a capacidade produtiva ociosa era resultante de uma má definição na programação do sincronismo dos movimentos da máquina. Isto demandou uma solução que alterasse o início das rotinas de movimento dos braços I, II e III e um sistema de monitoramento dos movimentos da máquina.

3.2.1.1 Mudança no início da rotina dos braços I, II e III

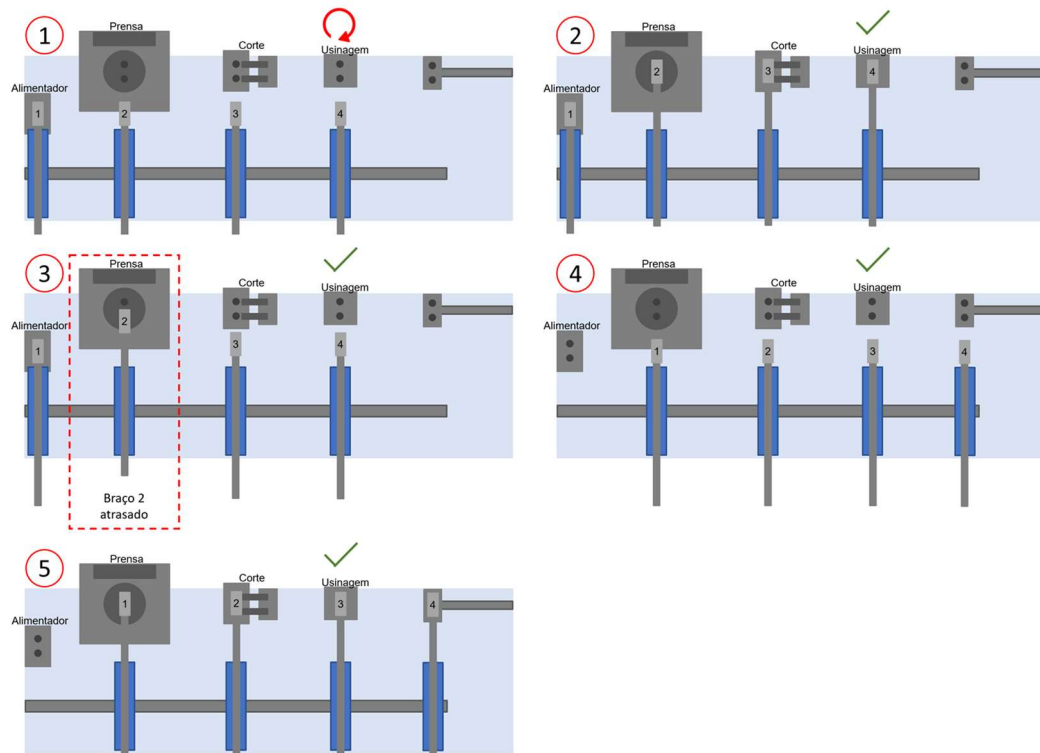
O processo de acabamento dos acessórios da bateria ocorre nas prensas e, a produtividade está diretamente ligada à eficiência dessas máquinas. Analisando o processo, foi identificada uma falha na otimização do sincronismo da máquina, resultando em perda de produtividade.

Como dito anteriormente, as etapas de acabamento desses acessórios consistem em três processos: prensagem, corte e usinagem, sendo esta última a etapa mais lenta. Observou-se que os quatro braços da máquina apresentavam uma

relação de interdependência e só iniciavam a retirada das buchas das estações após a conclusão do ciclo, ou seja, após a conclusão dessas três etapas.

Os braços I, II e III iniciavam sua rotina de retirada de buchas das estações somente após o término da etapa de usinagem (etapas 1 e 2). O Braço II, responsável por retirar as peças da prensa, percorria a maior distância para realizar sua função, enquanto os demais braços, que percorriam uma menor distância, aguardavam cerca de meio a um segundo pelo Braço II para dar continuidade ao ciclo da máquina (etapa 3). Essa espera variava de acordo com o ajuste manual das válvulas de fluxo de ar, que controlam os movimentos dos braços e que são realizados pelos mantenedores da máquina. A rotina original está mostrada na Figura 18.

Figura 18 - Rotina original dos braços.



Fonte: O Autor (2023).

Diante dessa constatação, percebeu-se a possibilidade de desenvolver uma melhoria na programação do CLP da máquina, eliminando a interdependência de todos os braços com todas as estações. Nesse sentido, uma possível solução pensada foi tornar cada braço dependente apenas da estação à qual ele está vinculado. Em outras palavras, o Braço I dependeria apenas do alimentador, o Braço

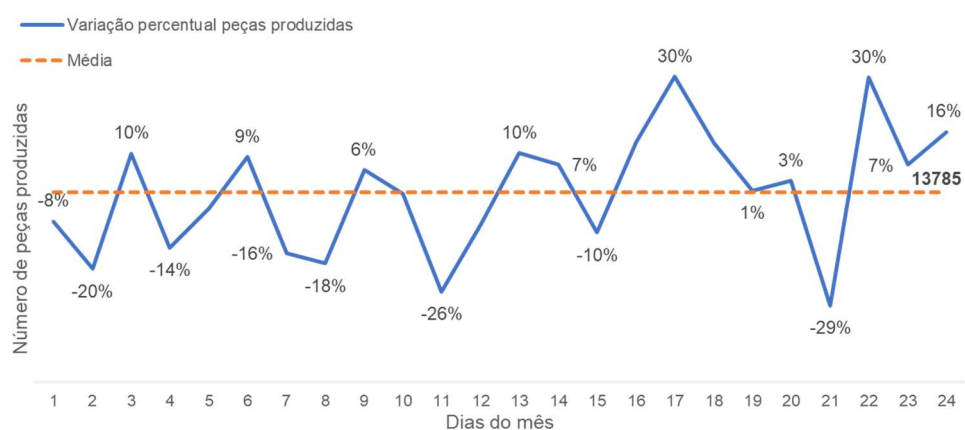
II apenas da prensagem, o Braço III apenas do corte e, por fim, o Braço IV apenas da usinagem.

3.2.1.2 Monitoramento de sincronismo dos movimentos da máquina

Na unidade fabril, onde foi realizado este estudo, é utilizado um sistema de ar comprimido para acionamento dos atuadores das máquinas através de blocos de válvulas pneumáticas. Na máquina em questão, a prensa, os movimentos de avançar, recuar, abaixar e levantar dos braços, abrir e fechar das garras, avanço das ferramentas, abaixar e levantar das guias de fixação das peças nas estações são todos impulsionados a partir do sistema de ar comprimido. Todos estes movimentos são realizados através de cilindros pneumáticos, cuja força é ajustada por meio de válvulas reguladoras de fluxo, que são calibradas manualmente pelos mantenedores.

No setor de produção das peças de buchas, existe um sistema de monitoramento em tempo real, o MES, que fornece informações sobre a eficiência operacional das máquinas, métricas de tempo de ciclo e gerenciamento da ordem de produção. Esses dados coletados pelo MES revelaram uma grande variação na produção diária, com impactos negativos nos resultados mensais, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Produção diária e média ao longo do mês.



Fonte: O Autor (2023).

Por se tratar de informações reais de produção, os números foram ocultados, optando-se apenas por identificar a média mensal, como um valor fictício, e a variação da produção diária em valores percentuais em relação à média.

Esses picos de variação são originados em decorrência dos ajustes manuais das válvulas reguladoras de fluxo de ar comprimido. Quando o mantenedor fazia um ajuste, permitindo uma maior vazão de ar, os movimentos da máquina eram mais rápidos e, conseqüentemente, resultava numa maior produtividade, representada pelas cristas na Figura 19. A própria vibração da máquina, gradualmente, gera o desajuste das válvulas, repercutindo na diminuição da velocidade de máquina, ocasionando em uma queda de produtividade, representada pelos vales na Figura 19.

Sendo assim, identificou-se a possibilidade de monitorar, através da programação do CLP, os tempos de movimento da máquina onde foi criada uma tela na IHM mostrando esses resultados. Desta forma, surgiu a percepção da viabilidade de desenvolver um comparador de tempos, em tempo real, que se adequasse perfeitamente aos movimentos da máquina. Com essa ideia em mente, uma solução proposta consistiu na programação do CLP para obter os tempos de movimento e exibi-los visualmente na IHM da máquina, facilitando a identificação dos problemas para correção.

3.2.2 Gerenciamento de dados

O processo industrial vem sendo transformado de mecanização para digitalização com a ajuda da informação e comunicação tecnológica. Com o avanço da Internet das Coisas, nuvem, *big data*, inteligência artificial, possibilitou-se o processo produtivo inteligente e automatizado. O conceito de Indústria 4.0 imprime um novo formato no processo produtivo, envolvendo essas novas tecnologias, novos padrões de produção, força de trabalho e organização, resultando numa produção inteligente, integrada e colaborativa, consumindo informações da condição de produção, performance e resultados, em tempo real (BOUSDEKIS et. al., 2021).

O gerenciamento eficiente dessas informações minimiza: custos, potenciais erros de processo e baixa produtividade. Além disso, permite a análise e interpretação de dados para demais tomadas de decisões estratégicas (BOUSDEKIS et. al., 2021).

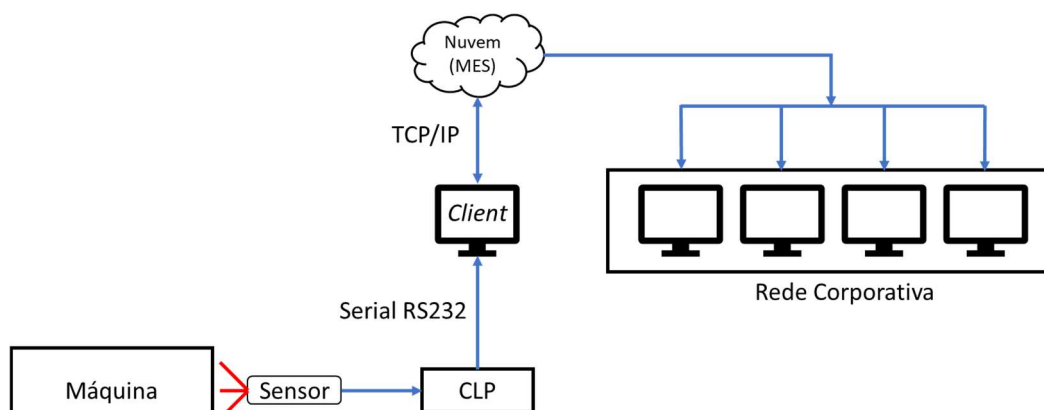
3.2.2.1 Desenvolvimento de um radar de produção

O MES desempenha um papel fundamental nas plantas industriais, proporcionando monitoramento e controle dos diversos aspectos da manufatura. Por

meio dessa aplicação de *software*, é possível monitorar os processos operacionais no momento em que eles acontecem e integrar essas informações a outros sistemas de produção e planejamento. Essa integração traz benefícios significativos para as empresas, auxiliando na tomada de decisões estratégicas (HENDERSON, 2016).

Na unidade fabril em que o estudo foi realizado, o MES desempenha um papel central na obtenção de dados essenciais para a operação. Ele permite o acompanhamento de informações como ordens de produção, paradas não programadas, duração das manutenções não programadas, detalhes das paradas de máquina, tempo de parada, tempo de produção e quantificação da produtividade. Esses dados são cruciais para o monitoramento do desempenho da planta, identificação de oportunidades de melhoria e avaliação do cumprimento das metas de produção. A estrutura do MES, desde a coleta do dado até a exibição das informações para o usuário final, está mostrada na Figura 20.

Figura 20 - Arquitetura do MES da unidade.



Fonte: O Autor (2023).

Baseado na posição de um componente na máquina, existe um sensor que monitora o movimento deste componente e gera pulsos para o CLP, onde é realizada uma contagem através de uma lógica de programação. Esses dados são transmitidos para um *client*, por meio de uma comunicação serial, onde está instalado o driver de comunicação com o CLP, para que esses dados sejam lidos. A partir desse *software*, os dados de produção são enviados para a nuvem (MES), em um servidor localizado na empresa que presta esse serviço, mediante protocolo TCP/IP, onde essas informações são tratadas, historiadas e disponibilizadas para os computadores das áreas de gestão na rede corporativa.

Em decorrência de problemas operacionais diversos, viu-se a necessidade de desenvolver um sistema de monitoramento que servisse como *backup*. Em geral, os problemas são de falha de comunicação entre a nuvem e o *client*, rompimento do cabo serial entre o CLP e o *client* e falta do serviço de internet da empresa, que geravam a perda de dados para a análise das informações de produção. Definiu-se, então, um sistema alternativo denominado “radar de produção”, que trabalhava paralelamente com o MES e, que foi programado através do CLP da máquina com o objetivo de fornecer o tempo efetivo de produtividade por turno, a quantidade e o percentual de peças produzidas por turno, o tempo de ciclo da máquina, as capacidades instantâneas de produção e média de produção por turno.

3.2.2.2 Rastreabilidade de mudança de parâmetro

Prolongar a continuidade do ciclo de vida dos componentes da máquina pode estar associado à redução de custos operacionais, especialmente os custos de manutenção, como uma tentativa de permanecer competitivo no mercado devido ao impacto direto no preço final do produto. No entanto, essa abordagem pode ter consequências potencialmente graves quando o programa de manutenção não é realizado, podendo gerar mau funcionamento e acarretar desgastes nas demais peças da máquina (LEE et. al, 2019).

Nas máquinas onde foi realizado o trabalho, existem parâmetros de processo de produção que estão associados a memórias internas na programação do CLP. Essas são acessadas via IHM da máquina, como por exemplo, tempo de atraso para avanço da Estação I (alimentador) após identificação de ambas as buchas e tempo de atraso para permitir que a matriz de usinagem atinja a velocidade adequada para usinar as buchas. O estabelecimento dos valores de cada um desses parâmetros é essencial para o correto funcionamento do processo de produção, para a qualidade na fabricação do produto conforme especificações, promovendo a proporção ideal para o maior desempenho da máquina, sem ocasionar travamentos ou defeitos.

O próprio funcionamento das máquinas ocasiona um desgaste natural das peças e componentes, o que acarreta defeitos de qualidade na produção das buchas, por isso, a necessidade das manutenções preventivas e corretivas. Percebeu-se que a alteração dos parâmetros de processo poderia ocultar a condição básica dos componentes, permitindo então que as máquinas operassem sem as devidas

programações de manutenção, com a consequente prorrogação indevida da vida útil dos itens. Essa manobra na alteração dos parâmetros era possível porque não havia controle de acesso dos usuários a IHM, ou seja, o sistema era livremente acessado pelos operadores e mantenedores.

Para eliminar essa falha operacional, surgiu a necessidade de desenvolver um sistema que limita os acessos por nível do usuário, conforme a responsabilidade de suas atividades, além de monitorar e identificar os parâmetros que foram alterados, trazendo informações de data e hora e quais mudanças foram realizadas.

3.2.3 Otimização dos sistemas de segurança durante a operação

Apesar de a segurança nas operações industriais ser um tema fundamental e merecedor de atenção, os índices de gestão de riscos ainda representam um desafio significativo nas indústrias há décadas. A ausência ou ineficiência nas barreiras de proteção durante a operação são fatores que contribuem para acidentes graves, tornando-se desafios potenciais nos processos industriais e na gestão das normas de segurança, saúde, auditoria e gestão de riscos e eficácia do processo (LEE et. al, 2019).

A implementação de medidas de segurança adequadas na operação é essencial para a minimização dos riscos e a Indústria 4.0 faz parte dessa evolução. Através do foco na automação avançada e na maior integração entre o homem e a máquina, a Indústria 4.0 possibilita o uso de dados, sensores e métodos que exploram ao máximo esses conceitos de segurança (LEE et. al, 2019).

3.2.3.1 Desenvolvimento de programação de segurança contra o movimento repentino devido à volta do ar comprimido

A NR12 define as referências técnicas, requisitos fundamentais e medidas de proteção para a garantia da integridade física dos trabalhadores, assim como sua saúde e, estabelece os princípios mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho, durante a utilização de máquinas e equipamentos, em todas as atividades (MTE, 2015).

Nesta fábrica, as máquinas são alimentadas por um sistema de ar comprimido que tem um compressor de ar para pressurização do sistema. É realizada,

semanalmente, a manutenção deste compressor para garantir o seu correto funcionamento. Dessa forma, com o desligamento do equipamento, a linha é despressurizada. Após a parada do serviço, o compressor é religado, pressurizando a linha.

Para que seja realizada a manutenção na prensa, é necessário parar completamente a máquina e abrir a gaiola de proteção, ou seja, desabilitar temporariamente o sistema de segurança. Essa ação é necessária para que os mantenedores tenham acesso aos componentes e peças da máquina e, assim, atuem conforme a ordem de manutenção prevista.

O problema surge quando o compressor é religado e os cilindros pneumáticos dos braços e estações ficam suscetíveis a movimentos, mesmo sem terem sido acionados, devido ao retorno da pressão do ar no sistema. Considerando que a prensa está com o sistema de segurança desativado, conforme necessário para a realização da manutenção, esse movimento repentino representa um potencial risco de acidentes para os mantenedores, incluindo o risco de esmagamento de membros.

Diante dessa problemática, tornou-se evidente a necessidade de desenvolver um sistema que garantisse a proteção dos mantenedores durante as manutenções, mesmo com o aparato de segurança desabilitado, evitando movimentos inesperados da máquina após a reativação do compressor. A solução idealizada consistiu em monitorar a pressão da linha por intermédio de um pressostato e, através de uma programação desenvolvida no CLP da máquina, passou-se a controlar a abertura ou fechamento da válvula de passagem do ar comprimido, além de implantar um botão de segurança, com acionamento manual, para que o operador indique que as condições de segurança estão garantidas para a liberação do ar comprimido.

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

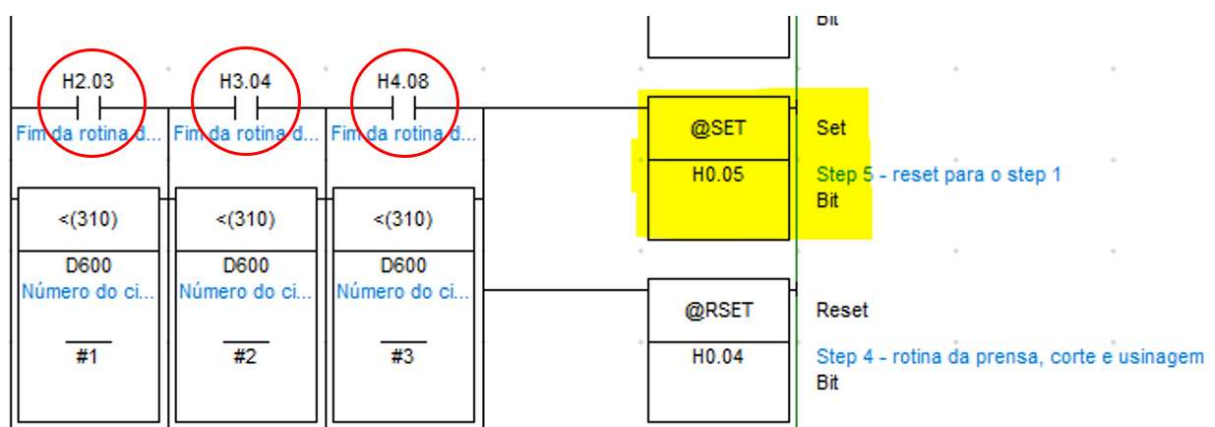
Neste capítulo, serão apresentadas, de forma detalhada, as programações realizadas no CLP da Prensa, assim como as implementações para monitoramento de dados feitas na IHM da máquina que auxiliam as tomadas de decisão. Por fim, são discutidos os resultados obtidos a partir destas alterações e melhorias.

As programações apresentadas nas figuras deste capítulo estão em linguagem *Ladder*, conforme o padrão Omron, tendo os devidos detalhamentos dos blocos das programações no Apêndice A.

4.1 MUDANÇA NO INÍCIO DA ROTINA DOS BRAÇOS I, II E III

Como mencionado no tópico 3.2.1.1, foi identificada uma falta de otimização no sincronismo da máquina, afetando, consequentemente, os resultados de eficiência e produtividades da máquina. Os braços possuíam uma interdependência em relação às estações de prensagem, corte e laminação, ou seja, os braços só buscavam as buchas dentro das estações depois que todas as estações haviam terminado as suas rotinas, conforme representado pelas memórias H2.03, H3.04 e H4.08, respectivamente, mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Lógica em *Ladder* da dependência do fim das rotinas das estações de prensagem, corte e usinagem.



Fonte: O Autor (2023).

A prensa possui uma rotina macro, programada no CLP, onde os inícios e fins das etapas importantes, como as rotinas de colocação e retirada de buchas, avanço e recuo do conjunto de braços, início e fim das rotinas das etapas de prensagem, corte

e usinagem, compõem uma ordem lógica para realizar o ciclo contínuo da máquina, representado pelas memórias H0.01 a H0.05, conforme mostrado na Figura 22.

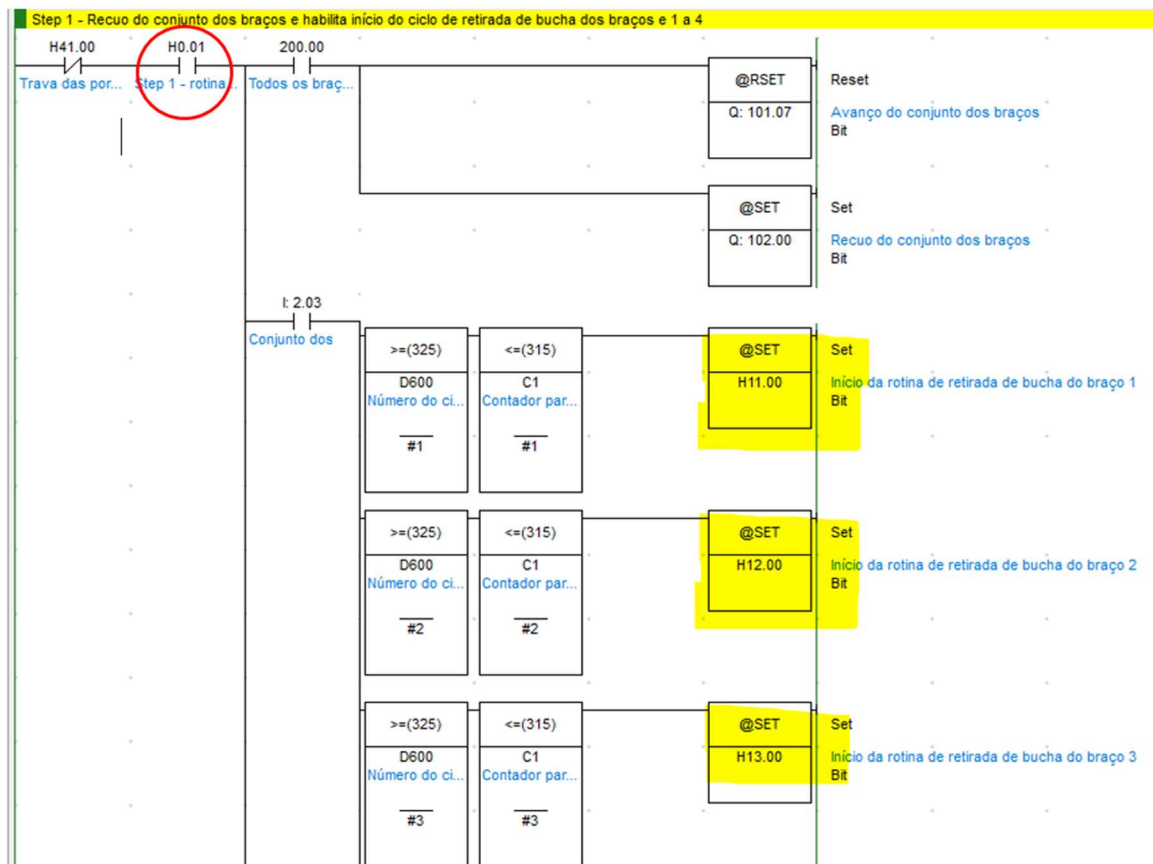
Figura 22 - Lógica em *Ladder* do Step 5, reinício da rotina macro.



Fonte: O Autor (2023).

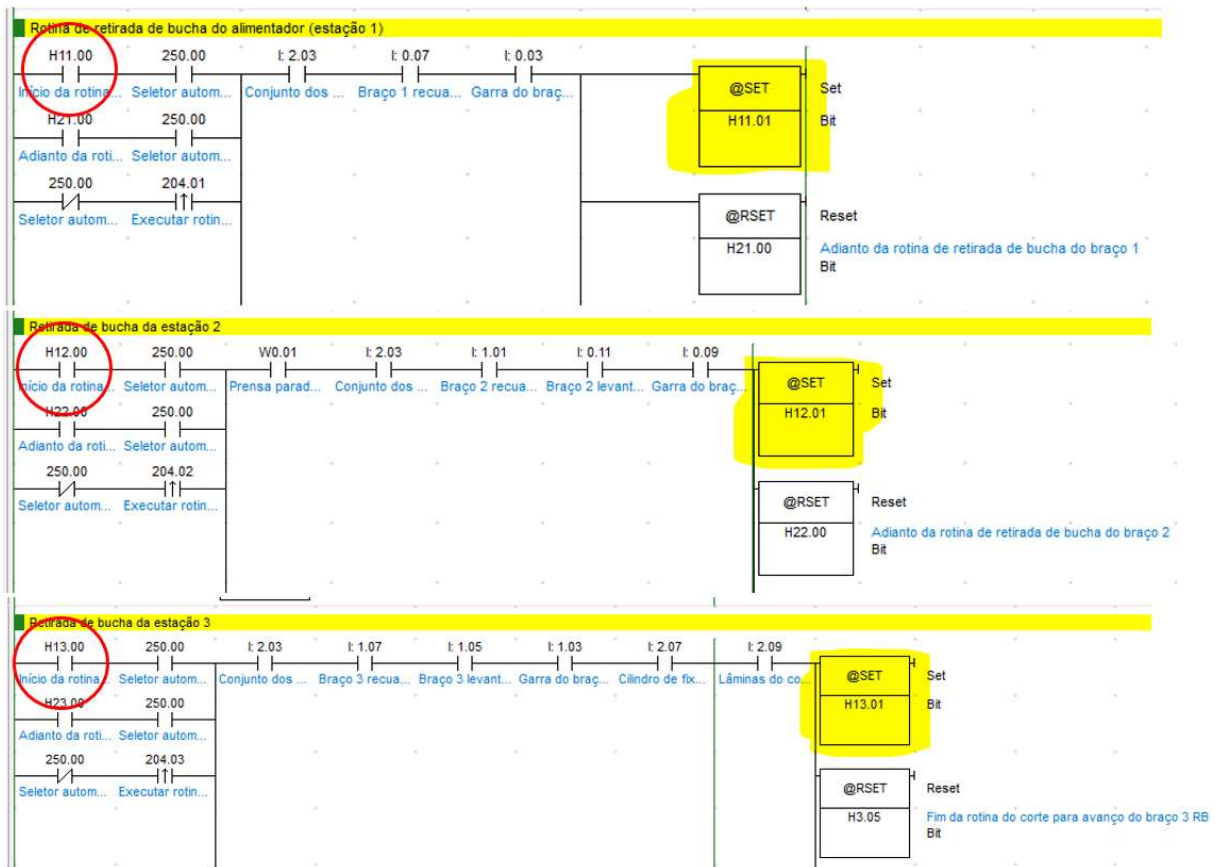
Quando a memória H0.01, associada à entrada I:2.03 (conjunto de braços recuados), encontram-se em nível alto, habilitam-se as etapas H11.00, H12.00, H13.00, referentes às rotinas de retirada de buchas dos braços I, II e III, respectivamente, conforme mostrado nas Figura 23 e 24.

Figura 23 - Lógica em *Ladder* do Step 1, ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, original.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 24 - Lógica em *Ladder* do início das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, original.

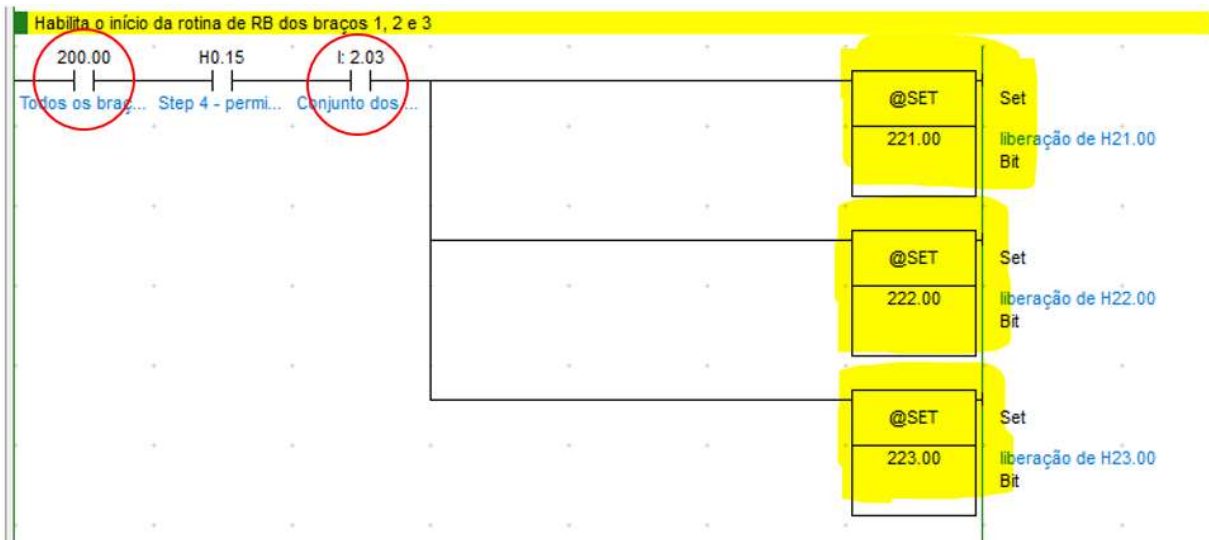


Fonte: O Autor (2023).

Essa condição fazia com que o braço II, responsável pela retirada das buchas da prensa, finalizasse a sua rotina com atraso em relação aos braços I e III, pois precisava percorrer a maior distância até a estação II (prensagem), enquanto os demais braços, que percorriam a menor distância, aguardavam cerca de 0,5 a 1 segundo para dar continuidade ao ciclo da máquina. Portanto, a solução pensada para essa correção consistiu em desenvolver uma melhoria na programação do CLP da máquina, de forma que fosse eliminada a interdependência de todos os braços com todas as estações, ou seja, relacionar o início das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III apenas com a sua respectiva estação.

Dessa forma, quando todos os braços se encontram na sua posição de origem, ou seja, memória 200.00, onde todos os braços estão recuados e levantados e a entrada I:2.03, com o conjunto de braços recuado, habilitam-se as memórias intermediárias 221.00, 222.00 e 223.00, que se referem aos novos acionamentos para adiantamento das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, respectivamente, como mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Lógica em *Ladder* da liberação das rotinas de retirada de bucha dos braços I, II e III, sem a interdependência com o fim das rotinas das estações.

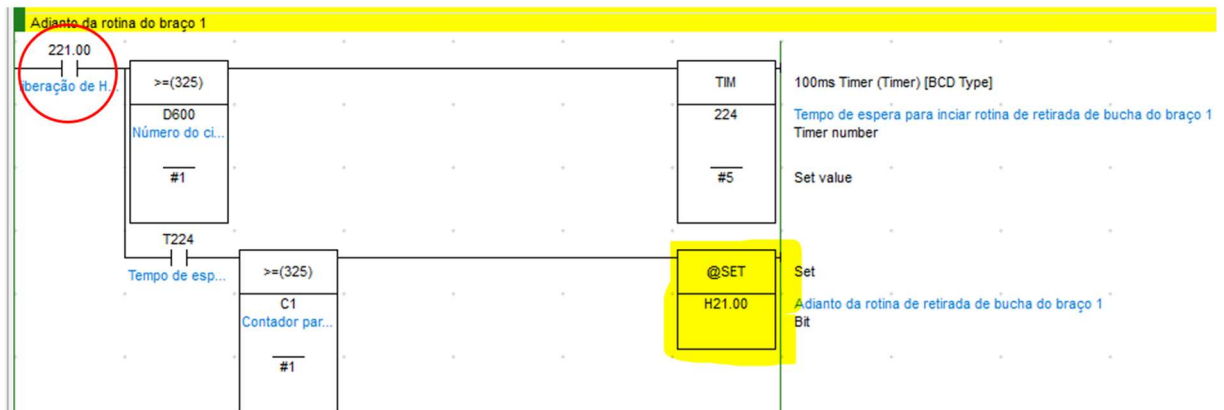


Fonte: O Autor (2023).

A partir dessa solução, cada memória intermediária irá habilitar, de forma adiantada, a rotina de retirada de bucha dos braços I, II e III, representados pelas memórias H21.00, H22.00 e H23.00, conforme mostrado nas Figuras 26, 27 e 28, respectivamente.

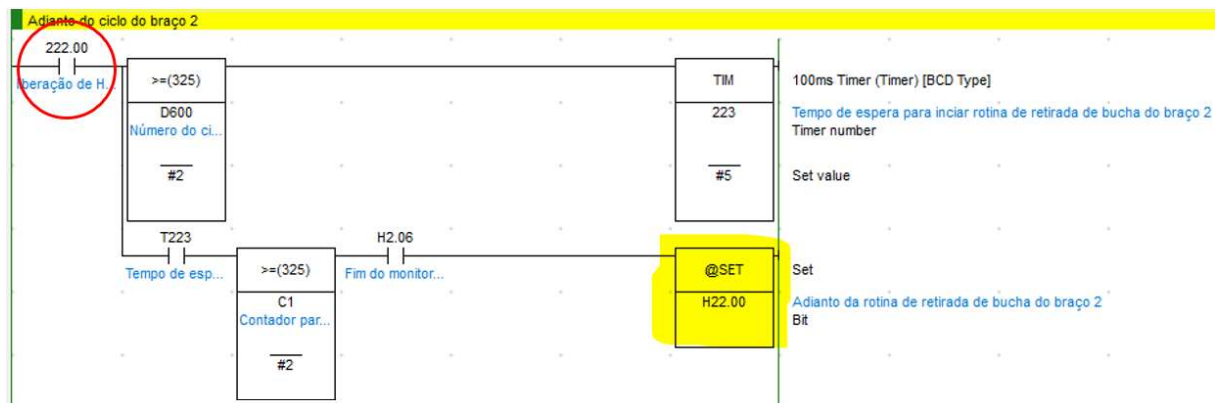
Assim, é eliminada a necessidade de cada braço esperar o término da rotina de cada estação, ou seja, quando cada etapa de acabamento conclui seu ciclo, o braço correspondente já está disponível para buscar as buchas dentro da estação. As memórias com o adiantamento da rotina de retirada de bucha H21.00, H22.00 e H23.00, substituem as antigas H11.00, H12.00 e H13.00, como mostrado nas Figuras 29, 30 e 31, respectivamente.

Figura 26 - Lógica em *Ladder* da ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços I, modificado.



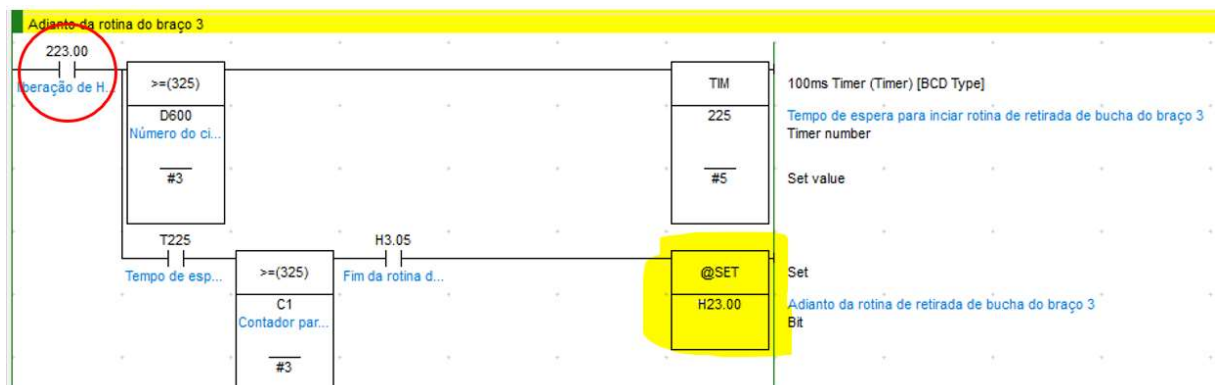
Fonte: O Autor (2023).

Figura 27 - Lógica em *Ladder* da ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços II, modificado.



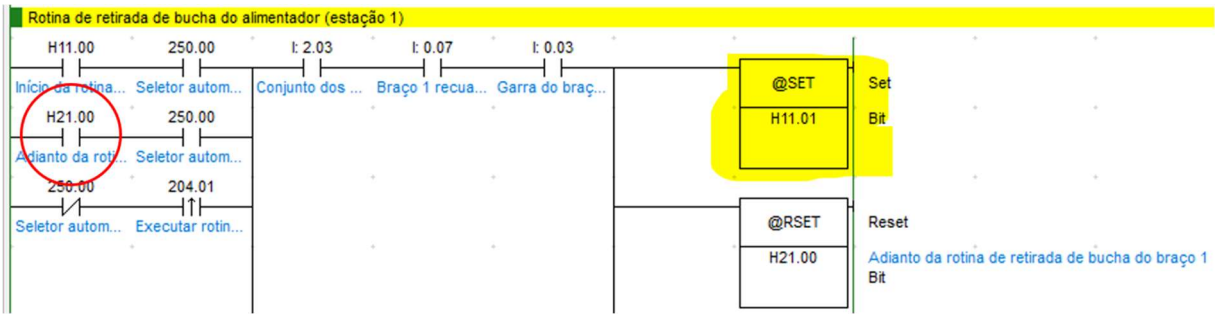
Fonte: O Autor (2023).

Figura 28 - Lógica em *Ladder* da ativação das rotinas de retirada de bucha dos braços III, modificado.



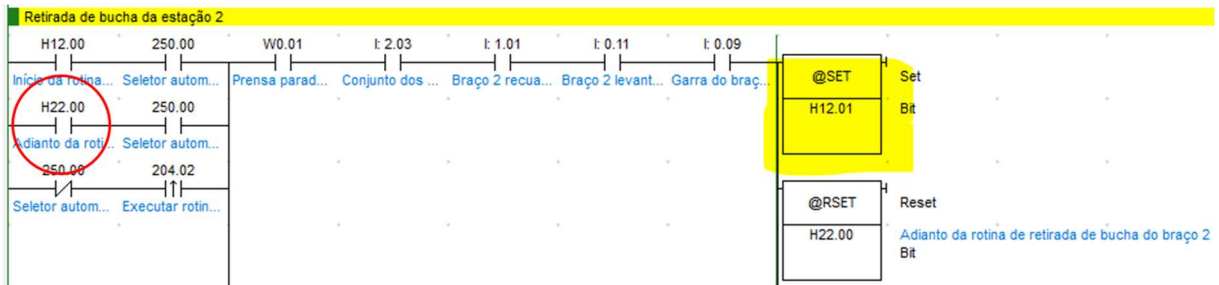
Fonte: O Autor (2023).

Figura 29 - Lógica em *Ladder* do início das rotinas de retirada de bucha dos braços I, modificado.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 30 - Lógica em *Ladder* do início das rotinas de retirada de bucha dos braços II, modificado.



Fonte: O Autor (2023).

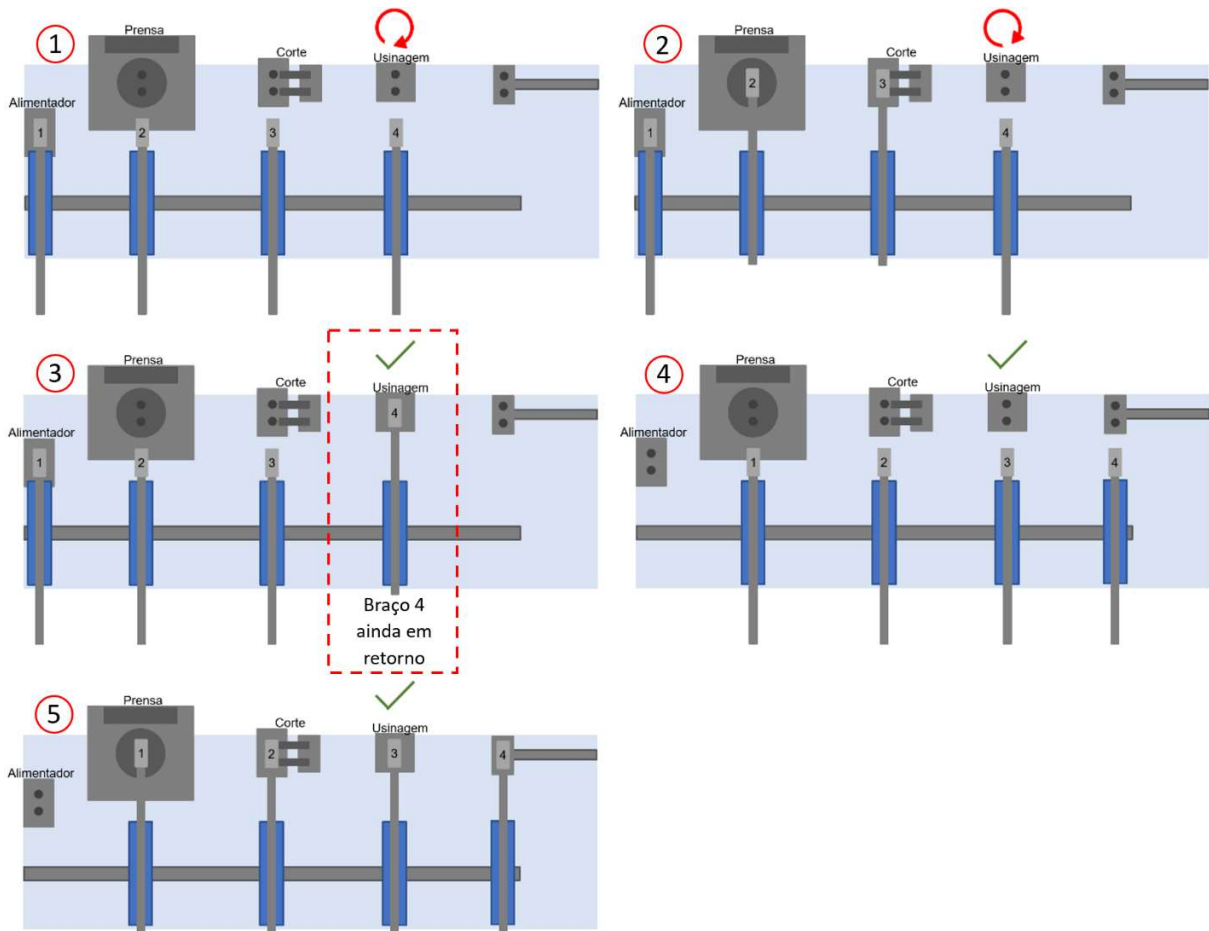
Figura 31 - Lógica em *Ladder* do início das rotinas de retirada de bucha dos braços III, modificado.



Fonte: O Autor (2023).

Essa mudança na programação do CLP fez com que o braço II finalizasse a sua rotina de retirada das buchas antes do braço IV, eliminando a espera que havia. A redução desse tempo de espera, que variava de meio a um segundo, resultou na diminuição do ciclo da máquina, que passou de oito para sete segundos, ocasionando um ganho de produtividade de até 12,5%. O movimento dos braços de retirada de bucha das estações está mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Nova rotina dos braços.



Fonte: O Autor (2023).

4.2 MONITORAMENTO DE SINCRONISMO DOS MOVIMENTOS DA MÁQUINA

Conforme abordado na seção 3.2.1.2, referente à máquina objeto do estudo, existe uma série de processos que tem os movimentos controlados mediante a utilização de cilindros pneumáticos, que são, essencialmente os movimentos de avanço, recuo, descida e elevação dos braços, deslocamento lateral do conjunto de braços, movimento de avanço e recuo das ferramentas de acabamento nas estações e, ainda, os movimentos de elevação e descida dos cilindros de fixação das buchas. A fim de possibilitar a regulação das velocidades desses cilindros, empregam-se válvulas reguladoras de fluxo, as quais são ajustadas manualmente pelos responsáveis pela manutenção da máquina.

Entretanto, devido às vibrações inerentes à própria máquina, ocorre um desajuste gradual dessas válvulas, resultando em possíveis variações, tanto para aumento quanto para redução na velocidade dos movimentos dos cilindros. Esse

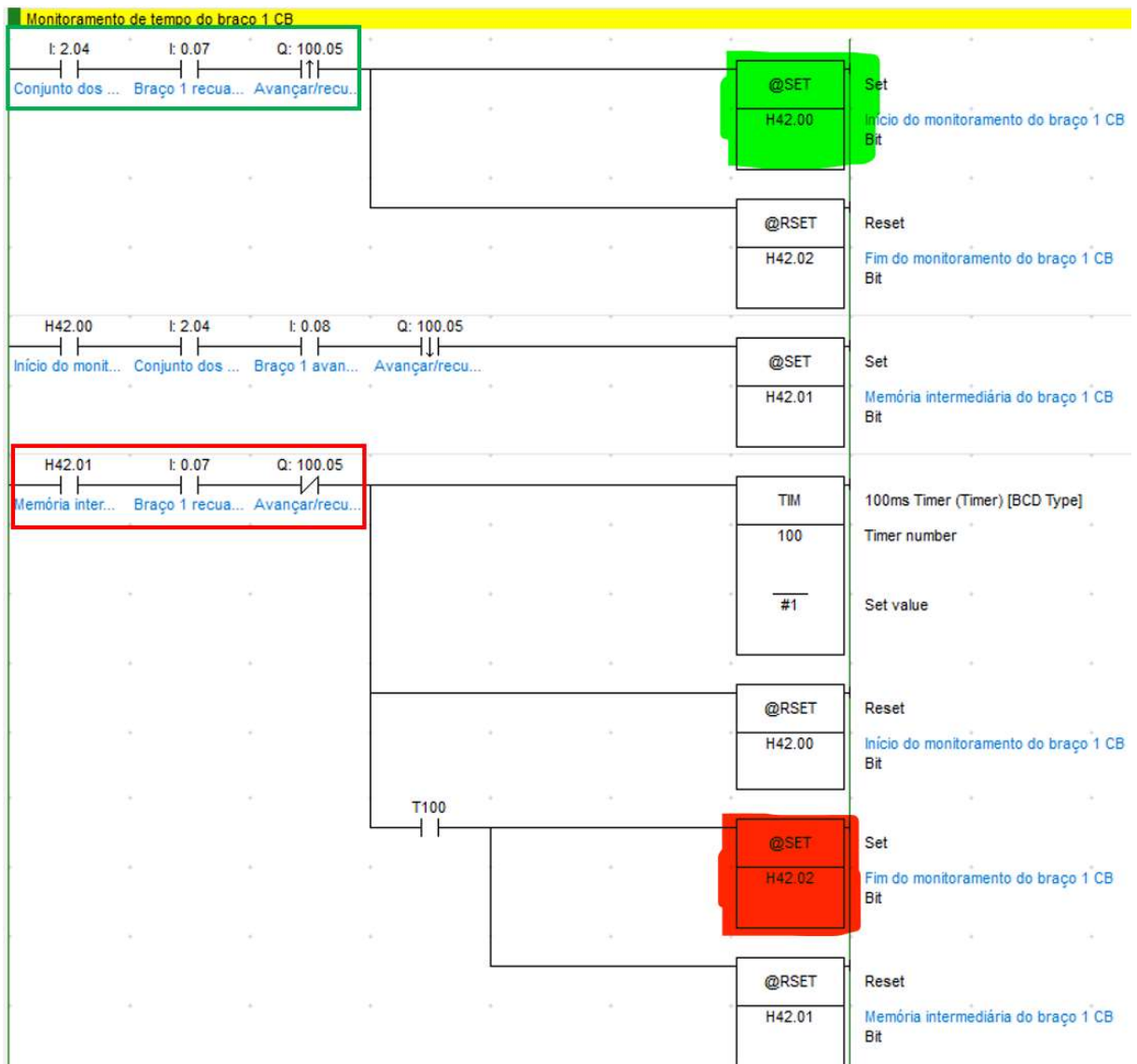
desregulamento progressivo das válvulas tem como consequência uma flutuação significativa na produção diária ao longo do mês, o que impacta negativamente o processo produtivo como um todo.

Portanto, diante da possibilidade de monitorar essas variações, teve-se a ideia de desenvolver uma programação no CLP para acompanhar os tempos de movimento da máquina, identificar exatamente a origem do problema que gerava as variações e apresentar, de forma simples, os resultados aos mantenedores para que eles venham a atuar de forma direcionada. Um dos problemas que havia, pela falta de experiência e conhecimento, era que os mantenedores atuavam em locais onde não apontava problema aparente, contribuindo para a crise de variação de produção diária. A partir do momento em que se tem dados e que estes são acompanhados, inclusive pelo mantenedor, este passa a direcionar exatamente a atuação e a identificar qual ajuste deve-se fazer, se aumentar ou reduzir a velocidade dos cilindros pneumáticos.

Na programação executada, para calcular o tempo de uma rotina específica, utilizou-se sempre a posição inicial daquele movimento, junto com um comando de iniciar o movimento, para dar o *start* do temporizador. Ao final da rotina do movimento, utilizou-se a mesma posição inicial daquele movimento para gerar um sinal de *stop* no temporizador.

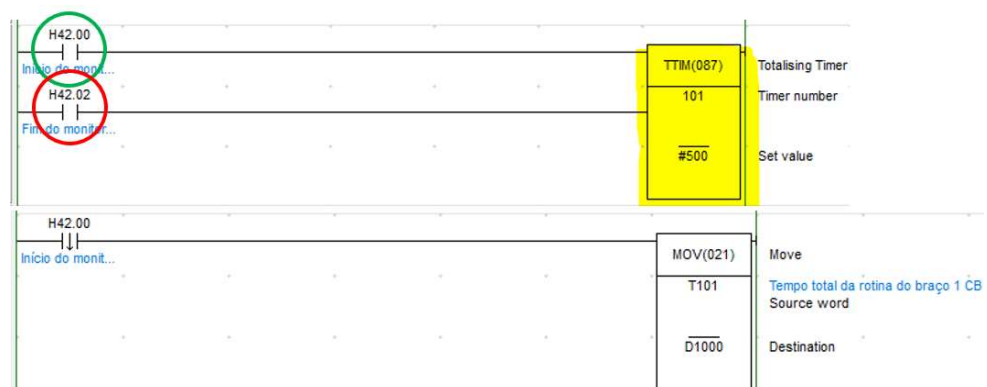
A Figura 33 mostra a explicação anterior, trazendo como exemplo o movimento de colocação de bucha do Braço I, mostrando que a posição inicial (I:2.04, I:0.07) junto com o comando de avançar (Q:100.06) dentro do retângulo verde, ativa a memória de início do monitoramento de colocação de bucha do braço I (H42.00). Da mesma forma, a posição inicial (I:2.04, I:0.07) somada com a lógica barrada do comando de avançar (Q:100.06) dentro do retângulo vermelho, sinaliza o fim da rotina de colocação de bucha do braço I (H42.02). Por fim, o valor marcado pelo temporizador (T101) é salvo em uma memória (D1000) para ser apresentado na IHM da máquina, como mostrado na Figura 34.

Figura 33 - Lógica em *Ladder* da ativação das memórias de start e stop do monitoramento da rotina de colocação de bucha do Braço I.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 34 - Lógica em *Ladder* do temporizador que monitora a rotina de colocação de bucha do Braço I.



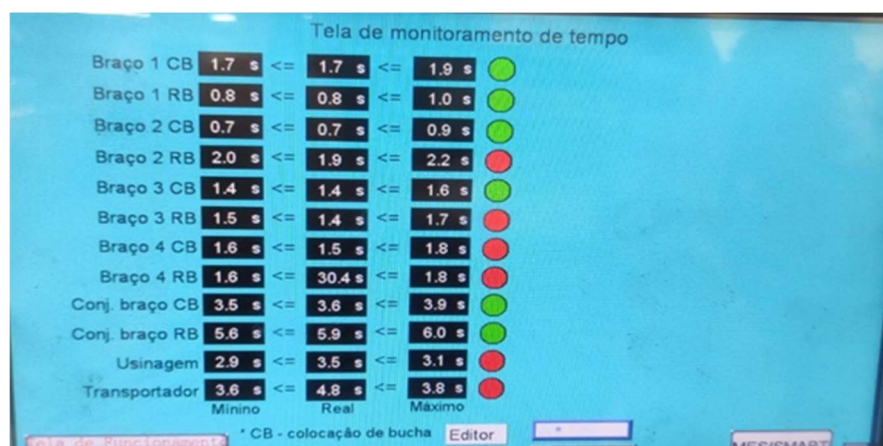
Fonte: O Autor (2023).

Todos os demais movimentos da prensa seguem o mesmo princípio fundamental. Após a elaboração da lógica do CLP, tornou-se necessário conceber uma abordagem clara e didática para apresentar os dados aos responsáveis pela manutenção. A solução reside na criação de uma interface de monitoramento de tempo, composta por três colunas que exibem os tempos correspondentes a cada movimento: tempo mínimo, tempo real e tempo máximo.

Nessa estrutura, sempre que o valor real se situasse abaixo do mínimo ou ultrapassasse o máximo estabelecido, a IHM seria acionada para alertar o mantenedor sobre a irregularidade. Os valores de mínimo e máximo foram determinados de maneira empírica, levando em conta que os cilindros pneumáticos não podem operar a altas velocidades, pois isso acarretaria um desgaste excessivo nos componentes. Por outro lado, a velocidade não pode ser excessivamente baixa, devido às implicações na produtividade, uma vez que essa variável influencia diretamente na eficiência e capacidade de produção da máquina.

A Figura 35 mostra a tela real da IHM, ou seja, a tela de monitoramento de tempo, onde podem ser vistos os limites de tempo mínimo, na coluna esquerda, os valores de tempo real, na coluna central e, os limites de tempo máximo na coluna da direita, executados para cada um dos movimentos mais críticos da máquina (colocação e retirada de bucha de cada braço, avanço e recuo do conjunto de braços, usinagem e transportador). Quando o valor de tempo real está dentro dos limites ideais, existe um *feedback* visual representado por um círculo verde. Caso o valor real esteja fora destes limites, um círculo vermelho é sinalizado na IHM, mostrando ao mantenedor exatamente em qual válvula retentora de fluxo ele precisa atuar.

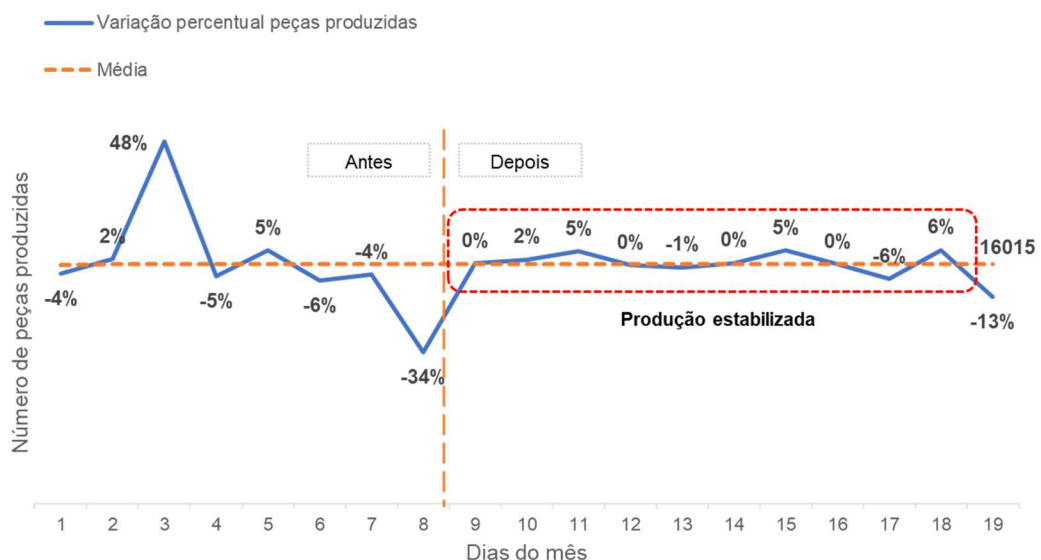
Figura 35 - Tela de monitoramento de tempo na IHM da máquina.



Fonte: O Autor (2023).

Com a implementação do sistema de monitoramento dos tempos de execução das rotinas, observou-se uma notável melhoria na estabilidade do processo. Isso se deve à redução das flutuações na produção, anteriormente visualizadas somente por meio do gráfico mensal de acompanhamento de resultados. Com o processo agora mais sólido e intervenções direcionadas, alcançou-se um aprimoramento nos índices médios de eficiência de produção, conforme mostrado na Figura 36. É importante mencionar que, por motivos de confidencialidade dos dados de produção, os valores reais foram ocultados. Optou-se apenas por representar a média de produção e as variações diárias, a título de ilustração demonstrativa.

Figura 36 - Produção diária e média ao longo do mês após implementação do monitoramento de tempo.



Fonte: O Autor (2023).

4.3 DESENVOLVIMENTO DE UM RADAR DE PRODUÇÃO

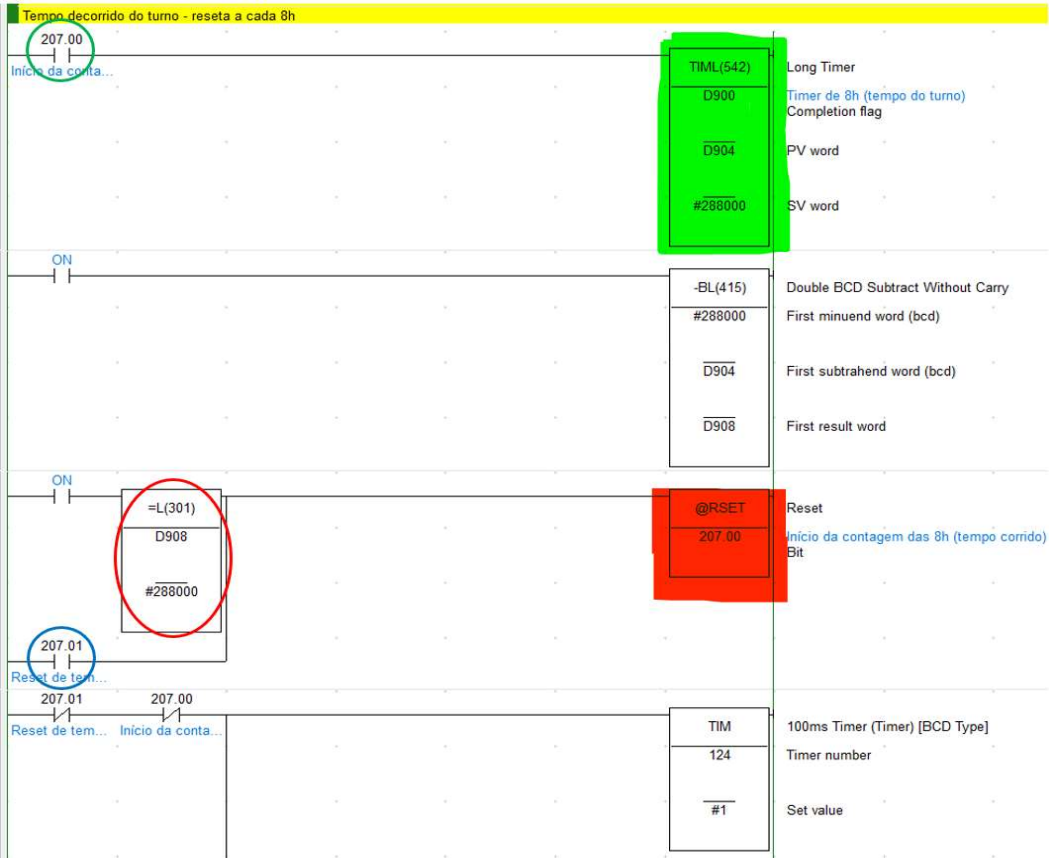
Como mencionado no tópico 3.2.2.1, através do MES é proporcionado o monitoramento e controle de diversos aspectos da manufatura, por isso, é tão fundamental para que os gestores da planta e/ou de área tenham disponíveis os dados para a leitura dos processos e tomada de decisão, tendo a visão do que está acontecendo em termos de produção, paradas por quebra, duração das manutenções etc. Por questões relacionadas à infraestrutura da rede de comunicação da unidade, dados importantes para monitoramento e gestão da produção eram perdidos, pois a

interrupção da chegada desses dados na nuvem impossibilitava o acompanhamento para mensurar e quantificar os parâmetros e resultados da máquina.

Para mitigar estes problemas, foi desenvolvido um radar de produção para indicar, por meio de uma tela, diretamente na IHM da máquina, alguns dos parâmetros produtivos essenciais, ou seja, em caso de perda de comunicação com o MES, ainda assim seria possível visualizar essas informações, possibilitando aos gestores de área o acesso irrestrito de dados para que pudessem tomar decisões baseadas em números efetivos. Para isso, foram criadas quatro lógicas que possibilitam a indicação, diretamente na IHM da máquina, dos principais indicadores de produção.

Considerando que o regime de produção da planta em questão trabalhava com turnos de oito horas de trabalho, é necessário coletar as informações para cada um dos turnos de forma independente, ou seja, ao fim de cada oito horas. Todos os valores de produção são resetados para que os novos valores do turno seguinte sejam computados. A Figura 37 mostra a lógica utilizada para fazer a contagem do tempo e o reset dos dados referentes ao final de cada turno.

Figura 37 - Lógica em *Ladder* do tempo decorrido do turno.



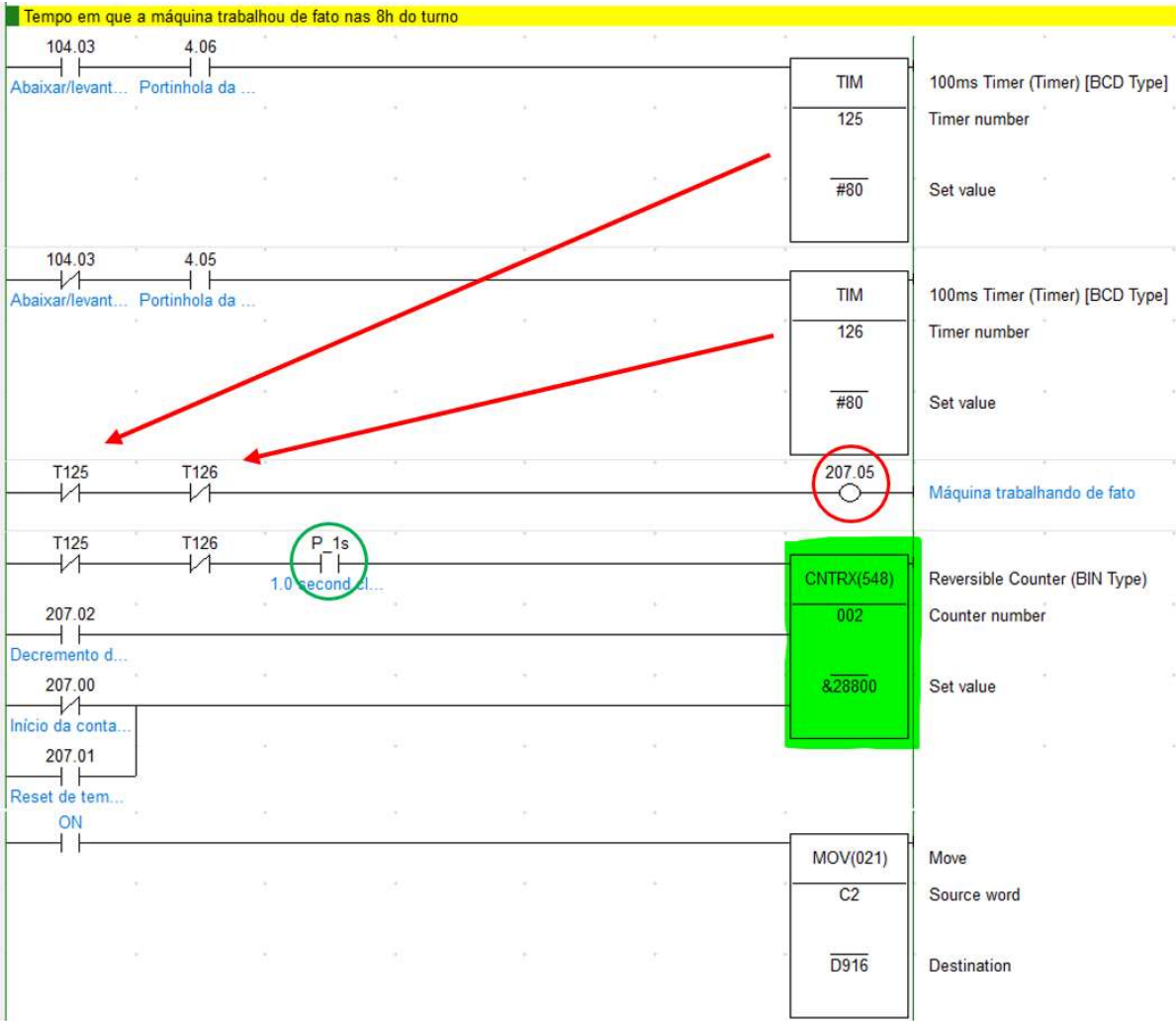
Fonte: O Autor (2023).

Quando a memória “início do turno” (207.00) é acionada, dá-se início a um temporizador (destacado em verde), cuja contagem foi programada para alcançar até 28.800 segundos. Ao atingir o valor, em segundos, referente às oito horas, é habilitada a saída de um comparador (destacado em vermelho), que reseta a memória “início do turno” (207.00) e, conseqüentemente, o temporizador, dando início a uma nova contagem. Para que a contagem do tempo seja iniciada exatamente com o horário real, foi disponibilizado um botão de *reset* diretamente na IHM (207.01), para realizar o sincronismo dos tempos.

A Figura 38 mostra a lógica utilizada para calcular o tempo efetivo de produção da máquina, ou seja, o tempo total por turno trabalhado. Para isso, utilizou-se o movimento da portinhola de proteção da usinagem como base para indicar se a máquina está em operação ou não. Considerando que a prensa produz um par de buchas em torno de sete segundos, o parâmetro estabelecido para o indicador de operação verifica se a portinhola está abaixada ou levantada por mais de oito segundos, indicados pelos temporizadores T125 e T126. Dessa forma, a lógica entende que a máquina parou, resetando então o *status* “máquina trabalhando” (207.05), gerando um *feedback* visual para o operador na IHM da máquina.

Para fazer a contagem do tempo efetivo de produção do turno, utilizou-se um gerador cíclico de pulsos de um segundo, associado às lógicas de T125 e T126. Quando a prensa está operando normalmente, o gerador de pulso (destacado em verde) incrementa um contador (CNTRX 002), simulando um temporizador convencional. O contador pode ser resetado tanto ao fim do turno através da memória (207.00), quanto pelo botão de *reset* da IHM (207.01) da máquina.

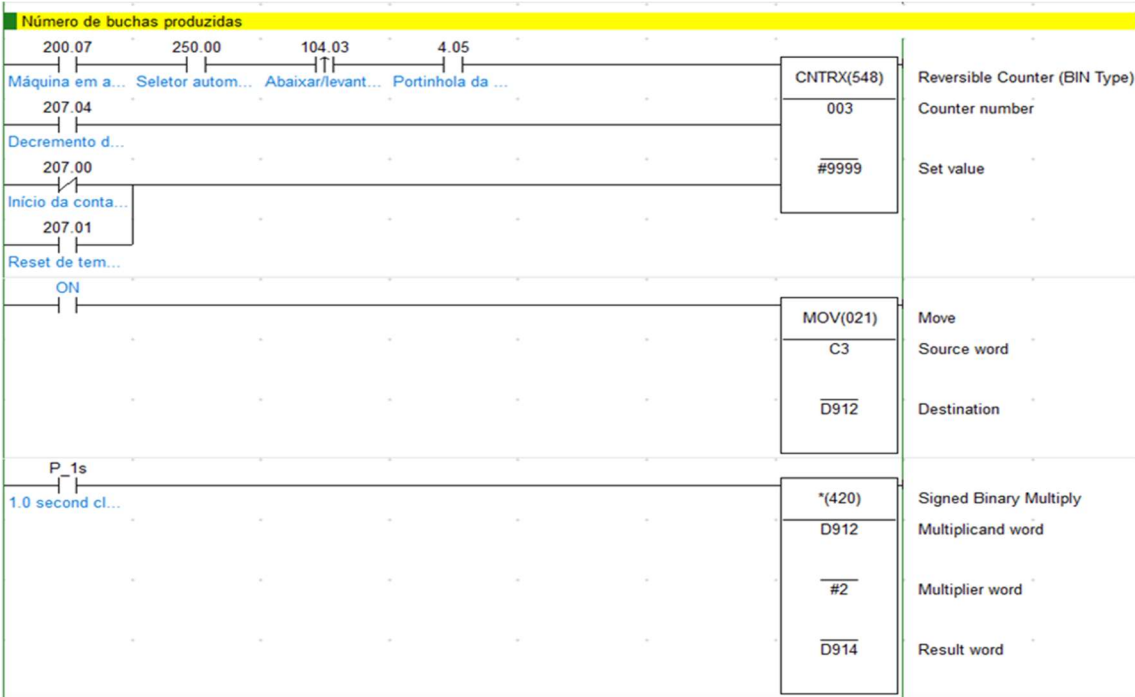
Figura 38 - Lógica em *Ladder* do tempo efetivo de trabalho da máquina no turno.



Fonte: O Autor (2023).

A Figura 39 mostra a lógica para calcular o número de buchas produzidas ao longo do turno. Assim como na solução anterior, utilizou-se como parâmetro o movimento da portinhola. Quando o sinal de entrada “portinhola levantada” (4.05) está ativado e é dado o comando “descer portinhola” (104.03), é gerado um pulso no contador (CNTRX 003), incrementando-o. Considerando que a máquina opera com pares de buchas, o valor da contagem é, em seguida, multiplicado por dois (destacado em azul) para ser exibido na IHM. O contador pode ser resetado tanto ao fim do turno através da memória (207.00), quanto pelo botão de *reset* da IHM (207.01) da máquina.

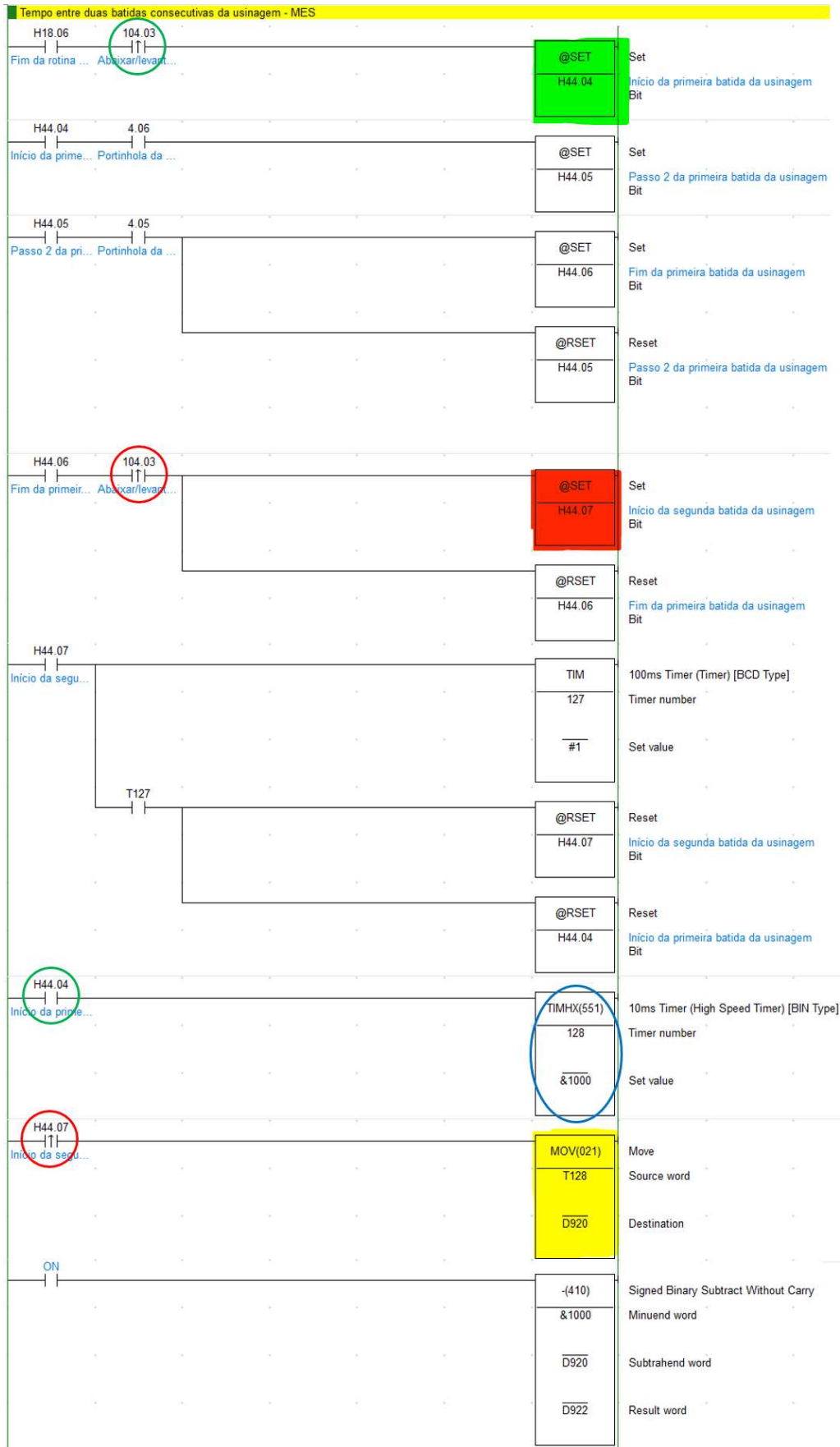
Figura 39 - Lógica em *Ladder* do número de buchas produzidas no turno.



Fonte: O autor (2023).

Seguindo a sequência de programações aplicadas, a Figura 40 mostra a lógica para calcular o tempo de ciclo da máquina, ou seja, o tempo para produzir dois pares de buchas consecutivas. Novamente, foi usado como parâmetro de programação o movimento da portinhola da usinagem. Dessa forma, quando a memória “fim da rotina de colocação de bucha do braço III” (H18.06) e o comando “abaixar portinhola da usinagem” (104.03) estão ativados, é acionada a memória “iniciar a contagem de tempo” (H44.04), que inicia o temporizador TIMHX 128 (destacado em azul). No instante em que o comando “abaixar portinhola da usinagem” (104.03) é acionado pela segunda vez, a memória H44.07 é ativada, movendo o valor atual do temporizador para a memória D920 (destacado em amarelo), que será exibida na IHM.

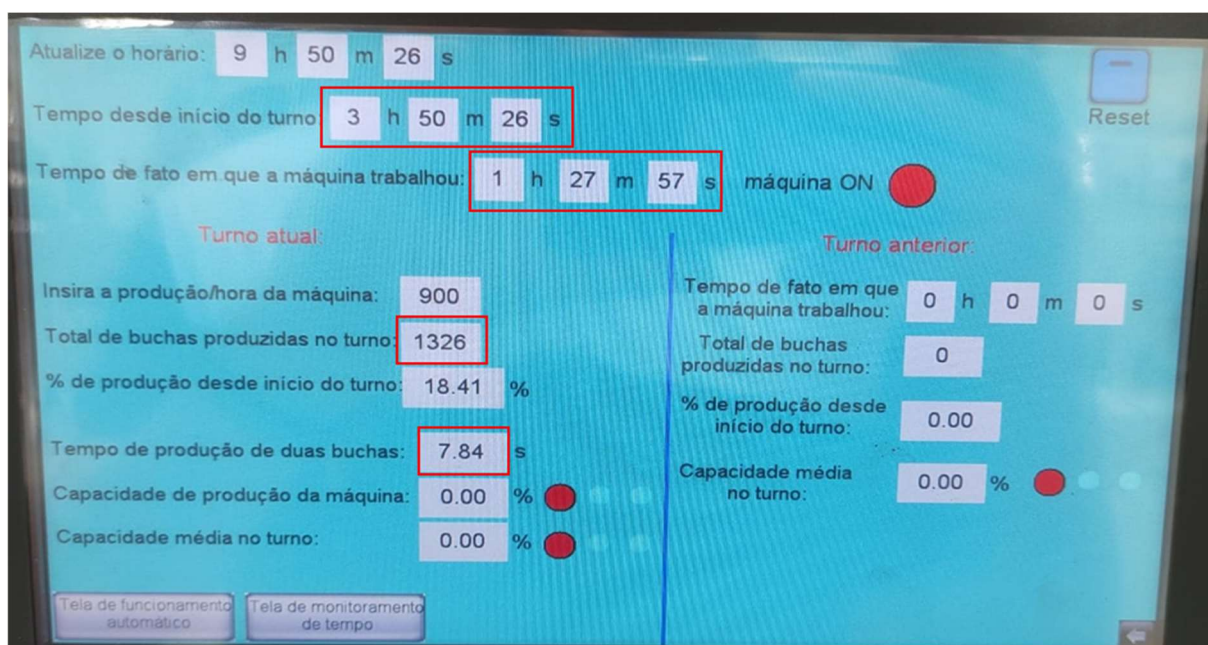
Figura 40 - Lógica em *Ladder* do tempo decorrido entre a produção de duas buchas consecutivas.



Fonte: O Autor (2023).

As quatro lógicas desenvolvidas exibem na IHM os valores de tempo total do turno, tempo em que a máquina operou efetivamente, total de buchas produzidas por turno e o ciclo da máquina (destacados em vermelho), além dos dados de status da máquina em operação, conforme mostrado na Figura 41. Através desses valores e da capacidade de produção por hora da máquina, são realizados cálculos na IHM para indicar outras informações, como: a porcentagem de peças produzidas no turno, a capacidade instantânea de produção da máquina e a capacidade média de produção ao longo do turno. Assim, ao final de um turno, os valores obtidos são salvos e ficam na lateral do painel, dando espaço para as novas coletas de dados.

Figura 41 - O radar de produção apresentado na IHM da máquina.



Fonte: O Autor (2023).

Portanto, as soluções aplicadas para o monitoramento e exibição de todas essas informações foram pensadas para fornecer aos gestores de área o cenário da produção por turno e ao final de um dia. Por falta de infraestrutura de rede que possibilite uma comunicação do CLP com um sistema de supervisão, não é possível enviar essas informações para um computador por meio de um protocolo industrial como, por exemplo, Profinet ou Profibus, obrigando que o colaborador precise se deslocar até a IHM da máquina para coletar as informações manualmente.

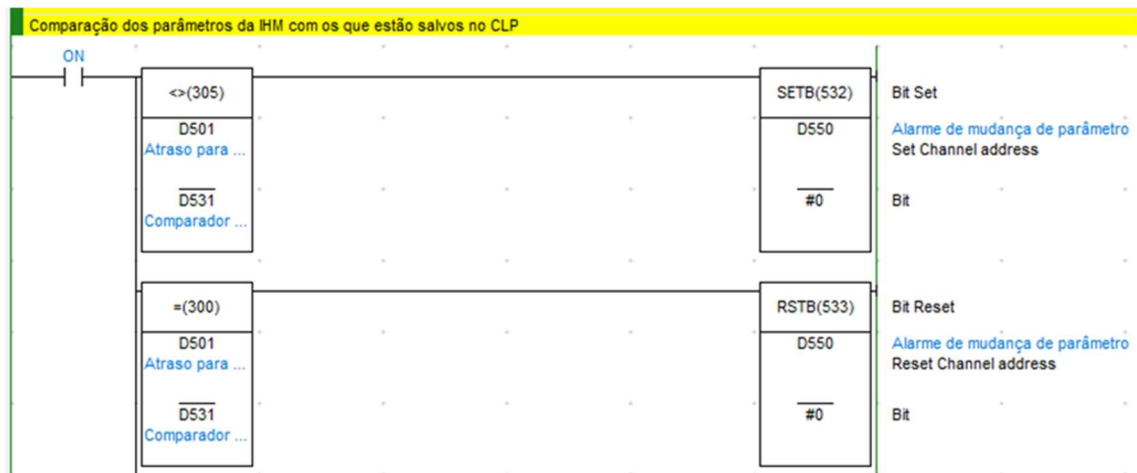
4.4 RASTREABILIDADE DE MUDANÇA DE PARÂMETRO

Como mencionado no tópico 3.2.2.2, percebeu-se que o acompanhamento da condição básica dos componentes e o programa de manutenção da máquina não eram fidedignos, pois os parâmetros de processo da prensa podiam ser alterados a partir da IHM da máquina diretamente pelos mantenedores. Isso, pelo fato de haver uma única senha para acesso geral, onde os parâmetros de processo eram alterados de forma indiscriminada para esconder problemas relacionados à condição básica dos componentes da máquina. Ou seja, as condições reais da máquina eram burladas, logo, os componentes que deveriam receber uma manutenção preventiva passavam a necessitar de uma manutenção corretiva devido ao desgaste demasiado, aumentando então o tempo e o custo do reparo.

Diante dessa situação, a solução a ser apresentada não poderia apenas alterar a senha da IHM, pois com o passar do tempo ela voltaria a ser de conhecimento de todos. Portanto, a resolução veio através do desenvolvimento de uma programação no CLP da máquina que faria a checagem dos parâmetros que estavam salvos e, caso algum fosse alterado, ficaria visível um símbolo na tela mostrando que um parâmetro havia sido modificado. Além disso, seria disposto através de um histórico, qual parâmetro foi alterado, em qual data e horário, seguido do valor anterior e o valor atual. Caso seja necessário salvar o novo valor de um parâmetro, há um botão que substitui os valores antigos pelos atuais.

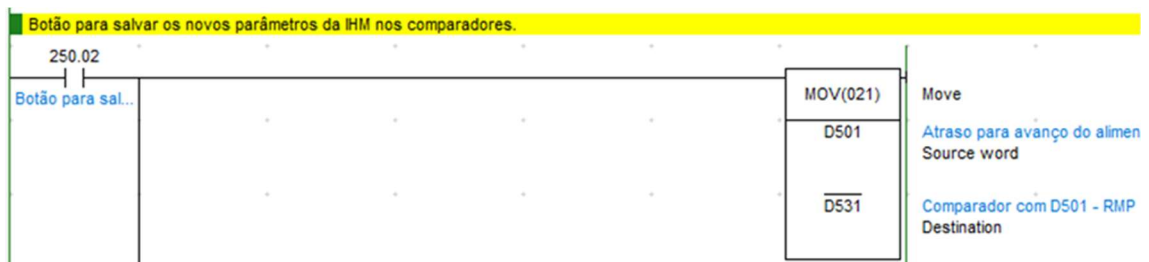
A Figura 42 mostra o exemplo da lógica utilizada para monitorar um dos parâmetros. O valor do parâmetro da IHM (D501) é comparado com o valor salvo no CLP (D531), caso os valores sejam iguais, o resultado dessa operação impõe nível baixo a um bit de memória (D550.0). Caso os valores sejam diferentes, o valor do bit (D550.0) é colocado em nível alto. Há uma memória interna (250.02) que representa um botão na IHM para que o valor disposto na tela (D501) seja salvo na memória de comparação do CLP (D531), conforme mostrado na Figura 43.

Figura 42 - Lógica em *Ladder* da comparação feita entre os valores na IHM e os valores de referência no CLP.



Fonte: O Autor (2023).

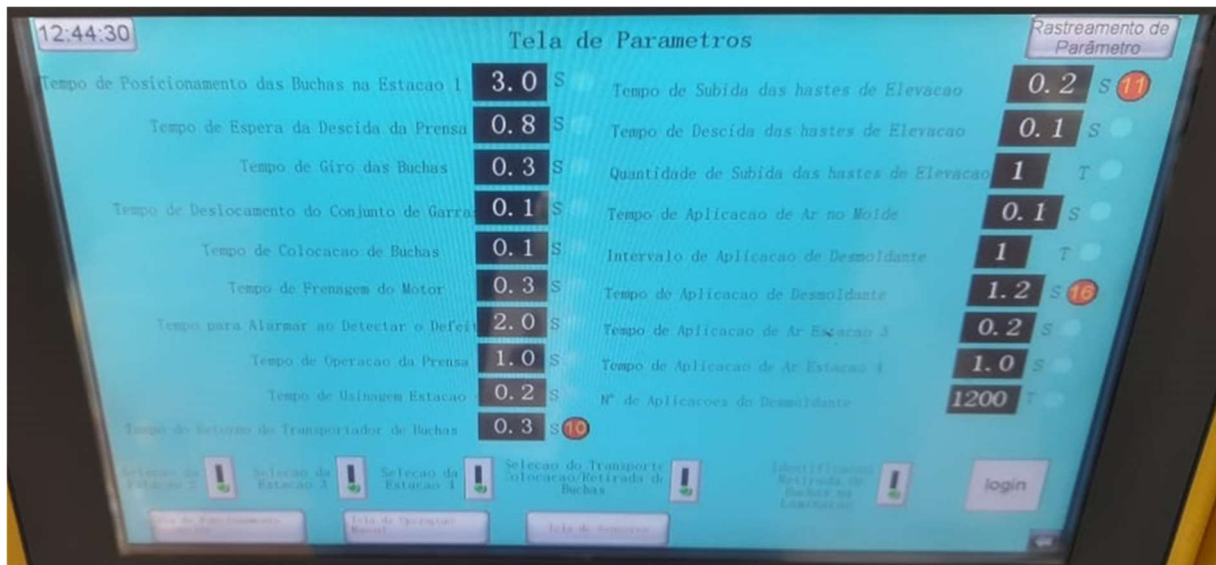
Figura 43 - Lógica em *Ladder* do botão para salvar os valores atuais na IHM como os valores de referência.



Fonte: O Autor (2023).

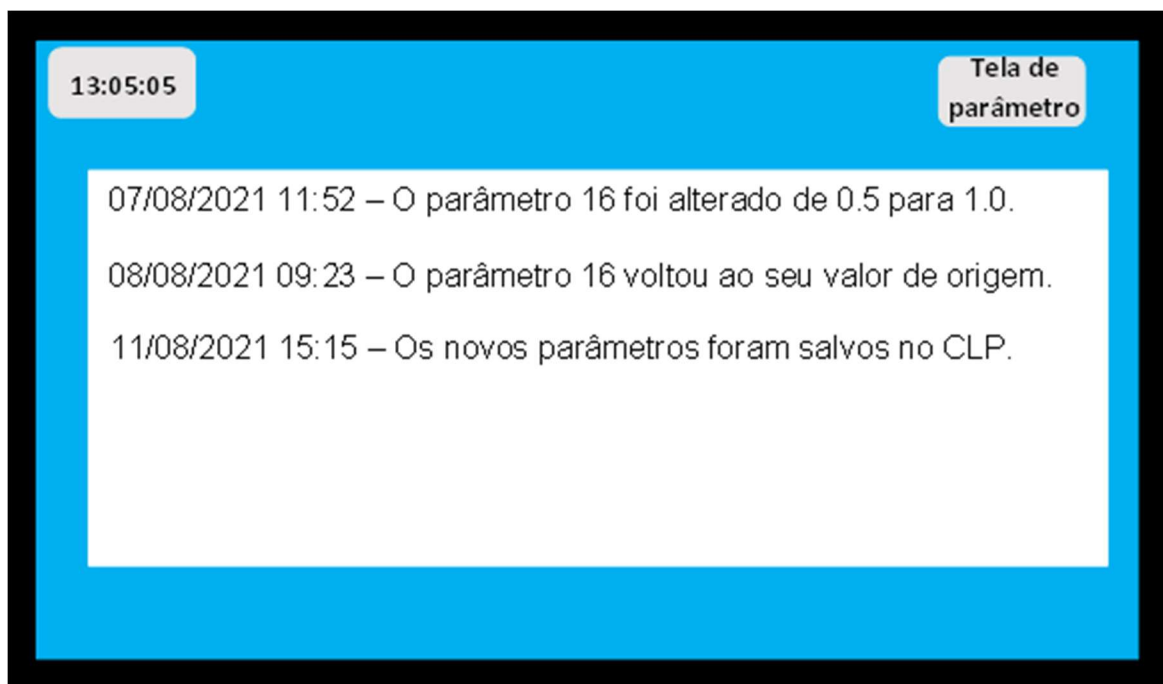
A Figura 44 mostra a tela real de parâmetros da IHM. Caso um dos valores seja alterado, um círculo vermelho é acionado ao lado, mostrando qual o identificador daquele parâmetro. Na mesma tela, existe um botão que redireciona a tela para um histórico, sendo possível acompanhar com mais detalhes a mudança que foi realizada. A Figura 45 mostra um exemplo de como são os alertas quando há mudança nos parâmetros, quando esses voltam ao valor de origem e, quando são salvos no CLP através do acionamento direto na tela IHM, respectivamente.

Figura 44 - Tela de parâmetros apresentado na IHM da máquina em que alguns foram alterados.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 45 - Representação do histórico de mudança de parâmetros presente na IHM da máquina.



Fonte: O Autor (2023).

Após a implementação do sistema, houve uma queda significativa no número de alterações de parâmetros de processo realizadas pelos mantenedores. Todas as alterações passaram a ser monitoradas, com os históricos de data e horário das intervenções, apesar de não ser possível identificar o usuário. Porém, o número reduzido de mantenedores com escala de trabalho em regime de turno e, que

operavam diretamente na máquina em questão, permitia facilmente a identificação, sendo mais uma barreira de controle, pois inibia claramente o colaborador de burlar o processo, por receio de ser identificado e questionado futuramente.

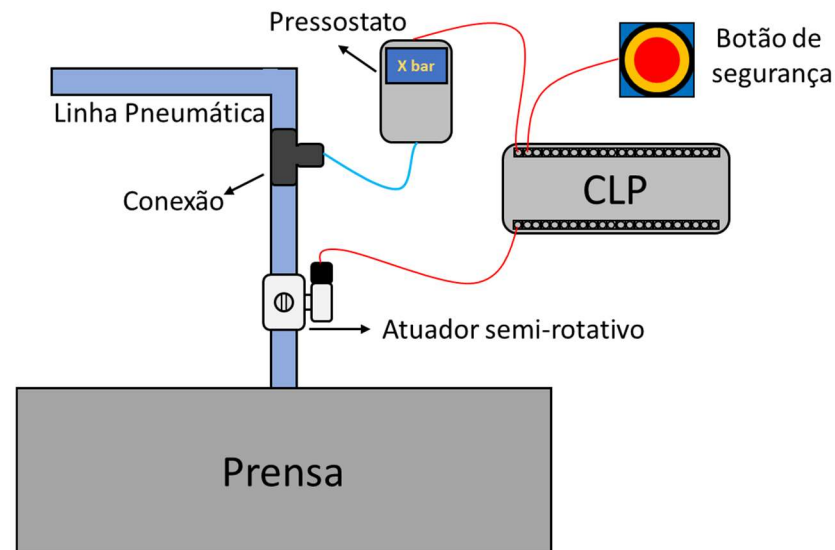
4.5 DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA O MOVIMENTO REPENTINO DEVIDO À VOLTA DO AR COMPRIMIDO

Como mencionado no tópico 3.2.3.1, a prensa é alimentada por um sistema de ar comprimido que serve de força motriz para os atuadores da máquina. Dada a sua importância, é feita semanalmente uma manutenção preventiva no compressor do sistema para garantir o seu correto funcionamento. Para que a manutenção seja realizada, é necessário desligar o compressor e despressurizar o tanque de armazenamento, retirando todo ar de dentro da linha pneumática. Com isso, os atuadores da prensa ficam inutilizados.

Como as máquinas não podem produzir durante esse intervalo de tempo, aproveita-se então para fazer as manutenções programadas. Para isso, os mantenedores precisam estar dentro da máquina, ou seja, com a gaiola de proteção aberta. Nessa condição a NR12 está desabilitada, logo, gerava-se uma situação de risco, pois quando finalizada a manutenção do compressor e este era religado, voltava-se a pressurizar a linha. Após alguns minutos, a linha pneumática já possuía pressão suficiente para acionar os atuadores pneumáticos, movimentando, assim, os componentes. Nesse momento, havia mantenedores dentro da máquina, que estava sem as proteções de segurança, com a NR12 desabilitada, sendo um potencial risco de acidente.

Portanto, viu-se a necessidade de desenvolver um sistema de segurança que bloqueasse a entrada de ar nos cilindros, permitindo que o ar só voltasse a fluir para a máquina quando um botão de segurança fosse acionado, indicando que não havia mais ninguém no local e, que era seguro reativar o ar comprimido. A figura 46 mostra o esquema proposto para implementar essa melhoria. Existe um pressostato que monitora a pressão da linha, um atuador semi-rotativo, responsável por fechar e abrir a passagem de ar para a máquina, um botão de segurança para indicar que o local de trabalho está seguro e um CLP, que receberá o sinal do pressostato e do botão de segurança e tomará a decisão de abrir e fechar a válvula de acordo com sua programação.

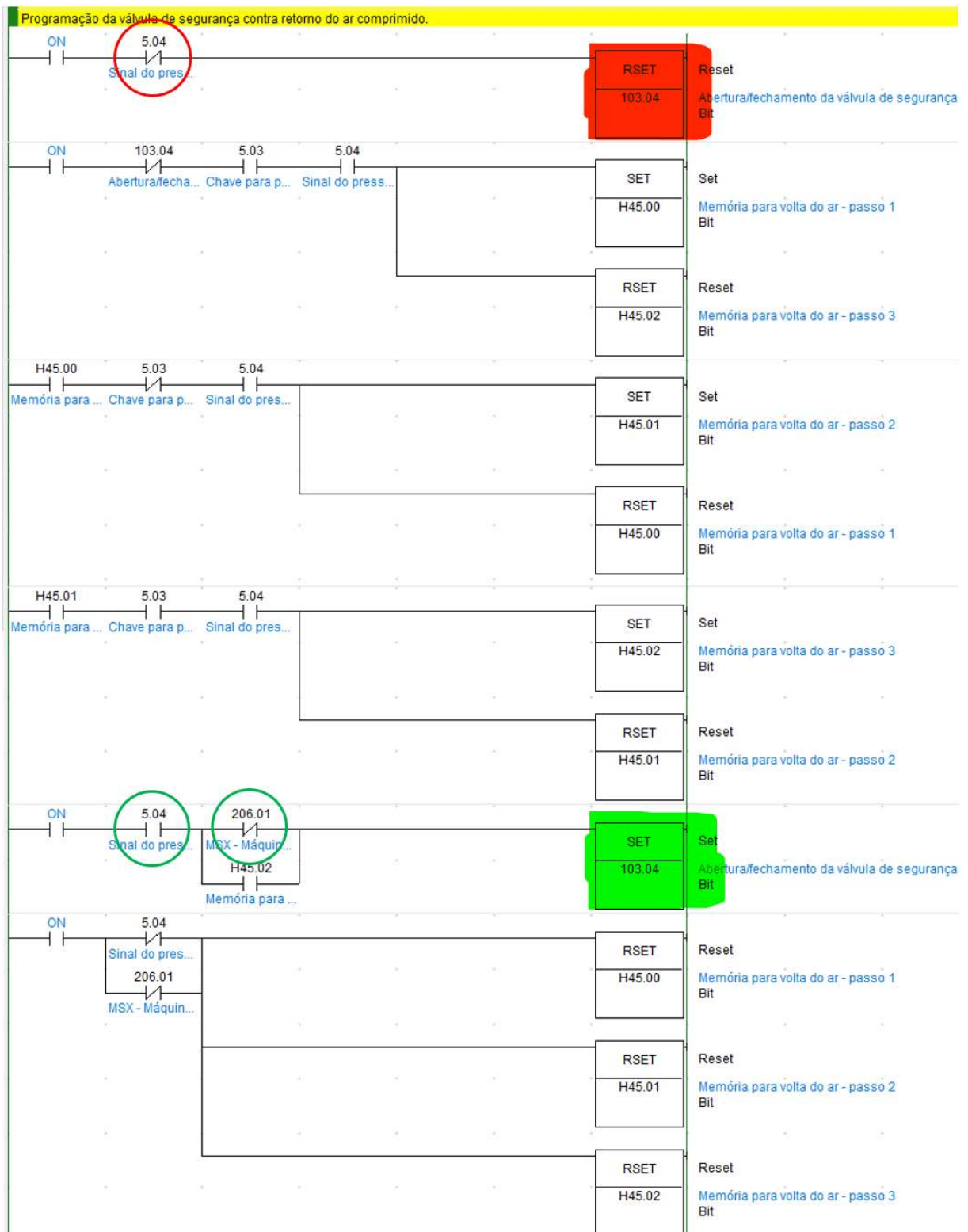
Figura 46 - Esquema proposto para implementação do sistema de segurança contra movimento repentino devido a volta do ar comprimido.



Fonte: O Autor (2023).

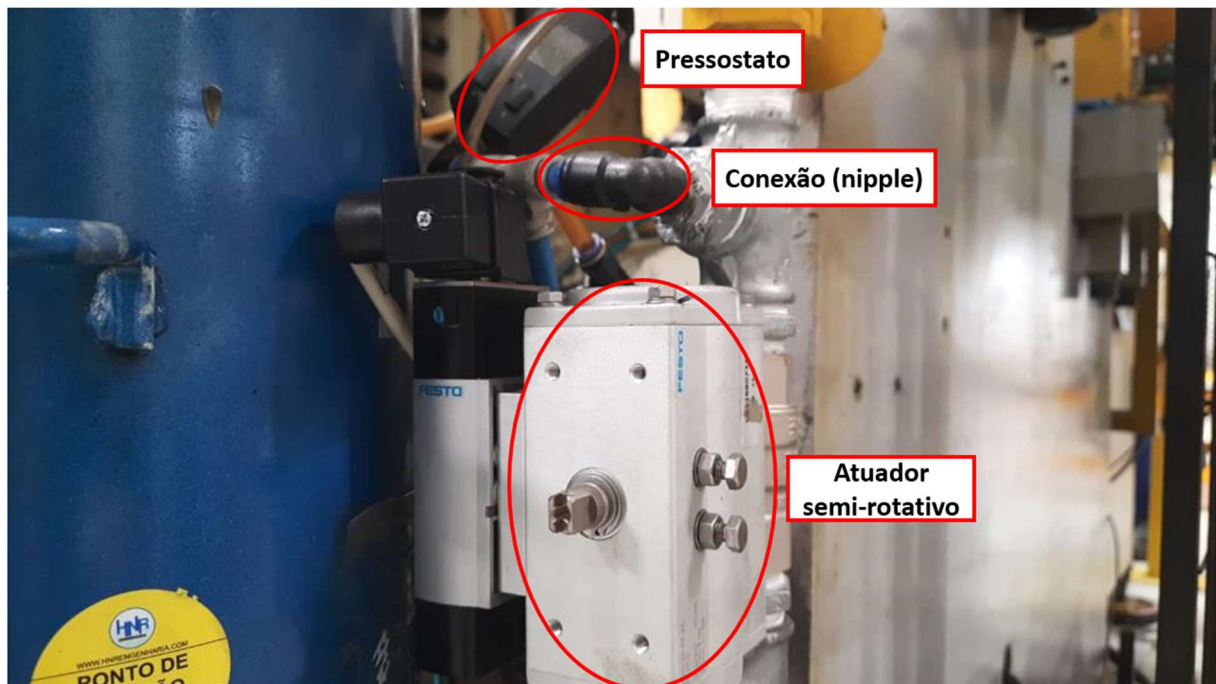
A figura 47 mostra as condições de abertura e fechamento da válvula. Quando o sinal do pressostato (5.04) vai para zero, a saída que controla a válvula (103.04) é resetada, fechando-a. Quando há pressão na linha e o sinal do pressostato (5.04) está em “1”, juntamente com a ativação do botão de segurança (206.01), a saída do CLP que controla a válvula (103.04) é acionada, reabrindo-a e permitindo que o ar comprimido volte à máquina. A Figura 48 mostra a instalação realizada no local, mostrando a conexão (*nipple*) que alimenta o pressostato, o pressostato e o atuador semi-rotativo acoplado à linha, destacados em vermelho.

Figura 47 - Lógica em *Ladder* para abertura e fechamento da válvula de segurança do ar comprimido.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 48 - Instalação dos equipamentos necessários para garantir a segurança na volta do ar comprimido.



Fonte: O Autor (2023).

Na condição anterior, havia o descumprimento das normas de segurança, com registros de quase acidente. A partir dessa implementação, criou-se uma condição para o controle da volta do ar comprimido, em que o mantenedor, após finalizar a intervenção na máquina, deve fechar todas as portas da gaiola de proteção, habilitando a NR12, e somente após isso acionar o botão de segurança, indicando ao CLP que é seguro reabrir a válvula de liberação do ar comprimido. Os resultados obtidos não são mensuráveis em termos de produtividade ou eficiência da máquina, mas são significativos na eliminação de acidentes e potenciais riscos de acidentes.

5 CONCLUSÃO

O enfoque deste trabalho centrou-se na análise da máquina de prensagem e usinagem de buchas para baterias automotivas, resultando na identificação de aprimoramentos que abrangem a eficiência produtiva, monitoramento de dados e garantia da segurança operacional. O objetivo principal consistiu no desenvolvimento de programações no CLP da máquina, viabilizando ajustes de sincronização dos movimentos, monitorização e visualização dos parâmetros relativos ao processo, bem como a implementação de um sistema de segurança no circuito pneumático durante as atividades de manutenção.

Na máquina em questão, foram identificados problemas relacionados ao movimento de sincronismo dos braços, responsáveis pelo transporte das buchas entre as estações de acabamento. Assim sendo, com essa configuração de movimento, os braços apresentavam atrasos, fato este que influenciava na redução de eficiência da produção, devido à interdependência das rotinas dos braços com as estações da máquina. Logo, para solucionar este problema, a melhor hipótese encontrada foi alterar a programação do CLP de forma a retirar a interdependência dos braços com todas as estações, individualizando as suas rotinas com as respectivas estações de acabamento. Dessa forma, o tempo de ociosidade da máquina, que variava de 0,5 a 1 segundo, foi reduzido a zero, ou seja, essa redução de tempo significa um aumento na produtividade de até 12,5%, o que é bastante relevante consideradas as metas de produção.

Além de melhorias relacionadas ao ganho de produtividade, foi necessário desenvolver um algoritmo que garantisse a estabilidade da produção. Devido à natureza pneumática dos cilindros da máquina, que são calibrados através de válvulas reguladoras de fluxo, estes perdiam o ajuste de velocidade dos movimentos ao longo do tempo, causado pelas vibrações inerentes ao processo. Estas variações de velocidade ocasionavam oscilações na capacidade da máquina, levando então a um processo instável de produção diária ao longo do mês.

O estudo desenvolveu uma solução em que os tempos dos movimentos mais importantes do processo eram monitorados e exibidos através de uma tela na IHM da máquina, em que os valores obtidos poderiam ser comparados com valores limites, mínimos e máximos. Assim, o sistema apontava para o mantenedor exatamente o tempo inconsistente em que ele deveria atuar. Com isso, os movimentos passaram a

trabalhar dentro dos limites de tempo estabelecidos, alcançando assim estabilidade no processo e, conseqüentemente, acréscimo nos resultados de produção.

Durante as atividades realizadas na máquina, observou-se ainda uma situação não eventual em que parâmetros de produção eram perdidos pela interrupção da comunicação entre o CLP e o MES, o que dificultava a análise gerencial dos dados para tomadas de decisão, pois esses deixavam de ser apontados e, conseqüentemente, sem histórico na rede de computadores. Dessa forma, foi desenvolvida uma programação no CLP utilizando o movimento da portinhola da usinagem como base para os cálculos. Então, os dados operacionais de produção eram obtidos e exibidos numa tela de monitoramento na IHM da máquina. Essa programação passou a fornecer os dados paralelamente ao sistema do MES, de modo *offline*, resultando na garantia da coleta e exibição dos dados de produção, para que pudessem ser utilizados nas decisões gerenciais.

Dentre as problemáticas apresentadas no estudo, havia ainda a necessidade de monitorar as alterações feitas nos parâmetros de processo, que impactavam diretamente na condição de vida útil da máquina. Essas alterações dos parâmetros escondiam problemas relacionados aos desgastes dos componentes da máquina, ou seja, as programações de manutenção eram diretamente afetadas, o que causava prejuízos futuros. Assim, foi desenvolvida uma solução para comparar os valores inseridos na IHM da máquina e os valores de referência estabelecidos. Caso o valor da IHM seja diferente do valor de referência, o parâmetro alterado é apontado na tela de histórico, com os dados de data e hora, além dos valores anterior e atual.

Por fim, foi implementada uma melhoria na área de segurança para eliminar os riscos relativos à integridade física dos mantenedores. Nas manutenções, quando o compressor era religado, os cilindros pneumáticos dos braços e estações ficavam suscetíveis a movimentos, mesmo sem terem sido acionados. Isso era um potencial risco para acidentes, considerando que, durante as intervenções, como parte do processo de manutenção, a NR12 era desabilitada. A NR12 é a norma regulamentadora que se refere a medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores, estabelecendo requisitos mínimo de utilização de máquinas e equipamentos. Diante deste problema, foi desenvolvido um sistema para garantir a proteção dos mantenedores durante a operação, mesmo com a NR12 desabilitada. Através do monitoramento da pressão da linha e, por meio da

programação do CLP da máquina, passou-se a controlar a abertura ou fechamento da válvula para passagem do ar comprimido. Com essa implementação, a prensa só voltava a ser pressurizada no instante em que a NR12 da máquina era reativada, manualmente, por um botão de segurança, o que garantia a proteção física dos mantenedores, eliminando o risco de acidentes com movimentos involuntários da máquina causados pela pressurização dos cilindros.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros, há o estudo sobre uma inconsistência na programação do CLP que, quando algumas variáveis estão em uma combinação específica, ainda não descoberta, a prensa e o braço II executam suas rotinas ao mesmo tempo, ocasionando em um acidente com a própria máquina, sendo o braço II completamente esmagado. Vê-se a necessidade de implementar intertravamentos via programação do CLP da máquina, para que a prensa só execute seu movimento numa janela de tempo estabelecida, ficando então desabilitada fora desse intervalo. Da mesma forma, caso haja alguma variação na posição de origem da prensa, ou seja, prensa parada no limite superior, o movimento de avanço do braço II deveria ser instantaneamente interrompido e recuado para posição de origem. Na condição de implementação dessa lógica, seria previsto não haver mais acidentes de esmagamento, protegendo os componentes da máquina e diminuindo significativamente o custo de reparo.

Outra oportunidade de melhoria, seria em relação ao sistema de monitoramento dos dados, avançando para implementação de um sistema supervisório, tendo em vista a necessidade de disponibilizar todos os dados relativos ao processo produtivo de maneira *online*. Para isso, seria necessária a aquisição de um sistema supervisório e a adequação dos CLPs para que pudessem ser integrados na rede industrial. Com essa solução, os dados poderiam ser historiados para uso em análises dos resultados de produção, processo, manutenção, custo, rendimento, planejamento, ou seja, disponibilização de informações para o gerenciamento completo da planta, em tempo real e, com possibilidades de compartilhamento entre softwares e ERP de gestão.

REFERÊNCIAS

- ANSI, AMERICAN NATIONAL STANDARD -. **Enterprise-Control System Integration - Part 1: Models and Terminology**. North Carolina: International Society of Automation (ISA), 2010.
- BOUSDEKIS, A. et al. **A Review of Data-Driven Decision-Making Methods for Industry 4.0 Maintenance Applications**. *MDPI*, 2021.
- BRANDÃO, D. **Pneumática**. *Notas de Aula Pneumática*. São Paulo, 2015.
- CASTRO, B., e T. FERREIRA. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. *BNDES Biblioteca Digital*, 2010: 267-310.
- DELL, R., e D. RAND. **Understanding Batteries**. Harwell: RSC Paperbacks, 2001.
- DOITPOMS. **Lead/acid batteries**. 2023.
- GROOVER, M. **Automation production systems and computer-integrated manufacturing**. Em *Automation production systems and computer-integrated manufacturing*, por Mikell P Groover. 2015.
- GUPTA, A. et al. **Industrial Automation and Robotics**. MERCURY LEARNING AND INFORMATION LLC, 2017.
- HENDERSON, S. **The Benefits of MES: A Report from the Field**. *MESA INTERNATIONAL*, 2016.
- LEE, J. et al. **Improving process safety: What roles for Digitalization and Industry4.0?**. *ELSEVIER*, 2019.
- LIU, W. et al. **Overview of batteries and battery management for electric vehicles**. *ScienceDirect*, 2022.
- MANTRAVADI, S., e C. MOLLER. **An Overview of Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MESfor Industry 4.0?**. *ScienceDirect*, 2019: 588-595.
- MCDONALD, L. **2030: 20 Million More ICE Vehicles Will Be on the Roads in the US Than in 2021**. 2021. <https://evadoption.com/2030-20-million-more-ice-vehicles-will-be-on-the-roads-in-the-us-than-in-2021/>.
- MERRIMAN, L. **Understanding Batteries**. *Understanding Batteries*. 1985.
- MOREIRA, I. **Sistemas Pneumáticos**. São Paulo: SENAI SP, 2012.
- MTE. *gov.br*. 2019. <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>.
- NIEUWENHUIS, P., e P. WELLS. **The Global Automotive Industry**. John Wiley & Sons, Ltd., 2015.
- OMRON, Corporation. **Controlador de máquina CP1E**. 2009.
- OMRON, Corporation. **CP1E CPU Unit INSTRUCTIONS REFERENCE MANUAL**. 2009.
- REDDY, M. et al. **Brief History of Early Lithium-Battery Development**. *PUBMED*, 2020.
- SANTANA, A. et al. **Costing models for capacity optminizaion in Industry 4.0: Trade-off between used capacity and operational efficiency**. *ScienceDirect*, 2017.
- SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. 2016.

SIEMENS, Industry Inc. **Basics of PLCs**. *A quickSTEP Online Course*. USA, 2016.

UPSBATTERYCENTER. **Gaston Planté's Lead Acid Battery Cell**. 2022.

YAMAMURA, C. et al. **Electric Cars in Brazil: An Analysis of Core Green Technologies and the Transition Process**. *MDPI*, 2022.

ZANCONATO, M. et al. **Automation benefits in the formation process of lead-acid batteries**. *Independent Journal of Management & Production*, 2017: 91-107.

ZHONG, R. et al. **Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review**. *ELSEVIER*, 2017.

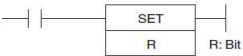
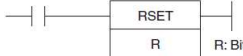
APÊNDICE A – Instruções dos Blocos da Programação em Ladder dos CLPs Omron

No capítulo 4, onde são detalhados o desenvolvimento e resultados deste estudo, são apresentadas as figuras com as programações realizadas em linguagem *Ladder*, conforme padrão Omron. A seguir, serão descritos os blocos presentes em cada uma das programações.

Figura A.1 – Instruções do bloco SET e RESET.

SET/RSET

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
SET	SET	@SET, %SET, !SET, !@SET, !%SET	---	SET ativa o bit do operando quando a condição de execução está ativada. Depois disso, o contato especificado permanecerá LIGADO independentemente de LIGADO/DESLIGADO da condição de entrada.
RESET	RSET	@RSET, %RSET, !RSET, !@RSET, !%RSET	---	RSET desativa o bit do operando quando a condição de execução está ativada. Depois disso, o contato especificado permanecerá DESLIGADO independente de ON/OFF da condição de entrada.

Símbolo	SET	RSET
		

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo	Tamanho
R	Bit	BOOL	---

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
R	OK	OK	OK	OK	---	---	---	---	---	---	---	---	---

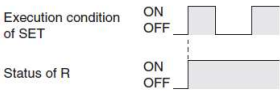
Flags

Nenhum sinalizador é afetado por SET e RSET.

Função

- SET

SET ativa o bit do operando quando a condição de execução está ativada e não afeta o status do bit do operando quando a condição de execução está desativada. Use RSET para desligar um bit que foi ligado com SET.



- RESET

RSET desativa o bit do operando quando a condição de execução está ativada e não afeta o status do bit do operando quando a condição de execução está desativada. Use SET para ligar um bit que foi desligado com RSET.

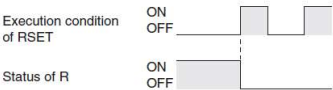
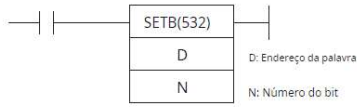
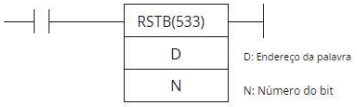


Figura A.2 – Instruções dos blocos SETB e RSTB exclusivos para *bits*

SETB/RSTB

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
CONJUNTO DE BIT ÚNICO	SETB	@SETB, !SETB, !@SETB	532	SETB(532) ativa o bit especificado.
REINICIALIZAÇÃO DE BIT ÚNICO	RSTB	@RSTB, !RSTB, !@RSTB	533	RSTB(533) desativa o bit especificado.

Símbolo	SETB	RSTB
		

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados	Tamanho
D	Endereço da palavra	UINT	1
N	Número do bit	UINT	1

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
D	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	---	---	---	---
N										OK			

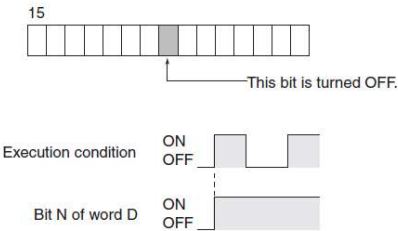
Bandeiras

Operando	Descrição	Tipo de dados
Erro	P_ER	• ATIVADO se N não estiver dentro do intervalo especificado de 0000 a 000F (&0 a &15). • DESLIGADO em todos os outros casos.

Função

- SETB

SETB(532) liga o bit N da palavra D quando a condição de execução está ON. O status do bit não é afetado quando a condição de execução está DESLIGADA.



- RSTB

RSTB(533) DESLIGA o bit N da palavra D quando a condição de execução está LIGADA. O status do bit não é afetado quando a condição de execução está DESLIGADA. (Use SETB(532) para ligar o bit.)

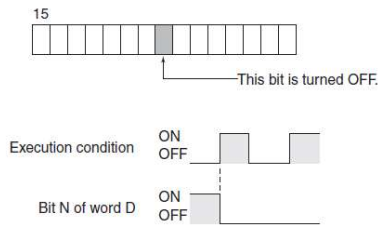
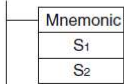
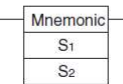
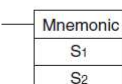


Figura A.3 – Instruções dos blocos comparadores.

Instruções de comparação

=, <>, <, <=, >, >=

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
Instruções de comparação de entrada	=, <>, <, <=, >, >=	...	300 a 328	As instruções de comparação de entrada comparam dois valores (constantes e/ou o conteúdo de palavras especificadas) e criam uma condição de execução ON quando a condição de comparação é verdadeira. Instruções de comparação de entrada estão disponíveis para comparar dados assinados ou não assinados de dados de uma palavra ou de comprimento duplo.

Símbolo	=, <>, <, <=, >, >=		
	LD connection	AND connection	OR connection
	 S1: Comparison data 1 S2: Comparison data 2	 S1: Comparison data 1 S2: Comparison data 2	 S1: Comparison data 1 S2: Comparison data 2

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados				Tamanho	
		Não assinado	Não assinado comprimento duplo	Assinado	Assinado comprimento duplo	Uma palavra	Comprimento duplo
S1	Dados de comparação 1	UINT	UDINT	INT	FORÇA	1	2
S2	Dados de comparação 2	UINT	UDINT	INT	FORÇA	1	2

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	TR pedaços
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
S1,S2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	...	...	...

Flags

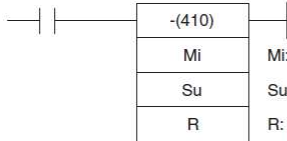
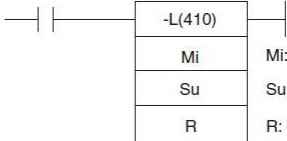
Nome	Rótulo	Operação	
		Comprimento dos dados: uma palavra	Comprimento dos dados: comprimento duplo
Erro	P_ER	DESLIGADO ou inalterado	DESLIGADO ou inalterado
Maior que	P_GT	- LIGADO se S1>S2com dados de uma palavra. - DESLIGADO em todos os outros casos.	- LIGADO se S1>1, S1>S2+1, S2com dados de comprimento duplo. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Maior ou igual	P_GE	- LIGADO se S1≥S2com dados de uma palavra. - DESLIGADO em todos os outros casos.	- LIGADO se S1+1, S1≥S2+1, S2com dados de comprimento duplo. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Igual	P_EQ	- LIGADO se S1=S2com dados de uma palavra. - DESLIGADO em todos os outros casos.	- LIGADO se S1+1, S1=S2+1, S2com dados de comprimento duplo. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Diferente	P_NE	- LIGADO se S1≠S2com dados de uma palavra. - DESLIGADO em todos os outros casos.	- LIGADO se S1+1, S1≠S2+1, S2com dados de comprimento duplo. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Menor que	P_LT	- LIGADO se S1< S2com dados de uma palavra. - DESLIGADO em todos os outros casos.	- LIGADO se S1+1, S1< S2+1, S2com dados de comprimento duplo. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Menor ou igual	P_LE	- LIGADO se S1≤S2com dados de uma palavra. - DESLIGADO em todos os outros casos.	- LIGADO se S1+1, S1≤S2+1, S2com dados de comprimento duplo. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Negativo	P_N	DESLIGADO ou inalterado	DESLIGADO ou inalterado

Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.4 – Instruções do bloco matemático de subtração para *word* e *double word*.

-/-L

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
SUBTRATO BINÁRIO ASSINADO SEM CARREGAR	-	@-	410	Subtrai dados hexadecimais e/ou constantes de 4 dígitos (palavra única).
BINÁRIO DUPLO ASSINADO SUBTRAIR SEM CARREGAR	- EU	@-EU	411	Subtrai dados hexadecimais e/ou constantes de 8 dígitos (palavras duplas).

Símbolo	-		-L	
				
	Mi	Mi: Minuend word	Mi	Mi: Minuend word
	Su	Su: Subtrahend word	Su	Su: Subtrahend word
	R	R: Result word	R	R: Result word

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dado		Tamanho	
		-	-L	-	-L
Mi	-/: Palavra minuendo -L/: Palavra do primeiro minuendo	INT	FORÇA	1	2
Su	-/: Subtraendo palavra -L/: Primeira palavra subtraendo	INT	FORÇA	1	2
R	-/: Palavra de resultado -L/: Palavra do primeiro resultado	INT	FORÇA	1	2

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
Mi, Su	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	...	...	...
R										...			

Flags

Nome	Rótulo	Operação	
		-	-L
Erro	P_ER	DESATIVADO	DESATIVADO
Igual	P_EQ	- ATIVADO quando o resultado for 0. - DESATIVADO em todos os outros casos.	- ATIVADO quando o resultado for 0. - DESATIVADO em todos os outros casos.
Carry	P_CY	- ATIVADO quando a subtração resulta em empréstimo. - DESATIVADO em todos os outros casos.	- ATIVADO quando a subtração resulta em empréstimo. - DESATIVADO em todos os outros casos.
Overflow	P_OF	- ATIVADO quando o resultado da subtração de um número negativo de um número positivo está no intervalo de 8.000 a FFFF hexadecimal. - DESATIVADO em todos os outros casos.	- ATIVADO quando o resultado da subtração de um número negativo de um número positivo estiver no intervalo 80000000 para FFFFFFFF hexadecimal. - DESATIVADO em todos os outros casos.
Underflow	P_UF	- ATIVADO quando o resultado da subtração de um número negativo de um número positivo está no intervalo de 0000 a 7FFF hexadecimal. - DESATIVADO em todos os outros casos.	- ATIVADO quando o resultado da subtração de um número positivo de um número negativo está no intervalo de 00000000 a 7FFFFFFF hexadecimal. - DESATIVADO em todos os outros casos.
Negativo	P_N	- ON quando o bit mais à esquerda do resultado for 1. - DESATIVADO em todos os outros casos.	- ON quando o bit mais à esquerda do resultado for 1. - DESATIVADO em todos os outros casos.

Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.5 – Instruções do bloco matemático de multiplicação para *word* e *double word*.

***/*L**

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
MULTIPLICAÇÃO BINÁRIA ASSINADA	*	@*	420	Multiplica dados hexadecimais assinados de 4 dígitos e/ou constantes.
MULTIPLICAÇÃO BINÁRIA ASSINADA DUPLA	*L	@*L	421	Multiplica dados hexadecimais assinados de 8 dígitos e/ou constantes.

Símbolo	*		* EU	
		* (420) Md Mr R Md: Multiplicand word Mr: Multiplier word R: Result word		*L (421) Md Mr R Md: 1st multiplicand word Mr: 1st multiplier word R: 1st result word

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Tamanho	
		*	*L	*	*L
Md	*: Palavra multiplicando *L: Primeira palavra multiplicando	INT	DINT	1	2
Mr	*: Palavra multiplicadora *L: Primeira palavra multiplicadora	INT	DINT	1	2
R	Palavra do primeiro resultado	DINT	LINT	2	4

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
Md, Mr	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	...	...	...
R										...			

Flags

Nome	Rótulo	Operação	
		*	*L
Erro	P_ER	DESATIVADO	DESATIVADO
Igual	P_EQ	• ATIVADO quando o resultado for 0. • DESATIVADO em todos os outros casos.	• ATIVADO quando o resultado for 0. • DESATIVADO em todos os outros casos.
Negativo	P_N	• ON quando o bit mais à esquerda do resultado for 1. • DESATIVADO em todos os outros casos.	• ON quando o bit mais à esquerda do resultado for 1. • DESATIVADO em todos os outros casos.

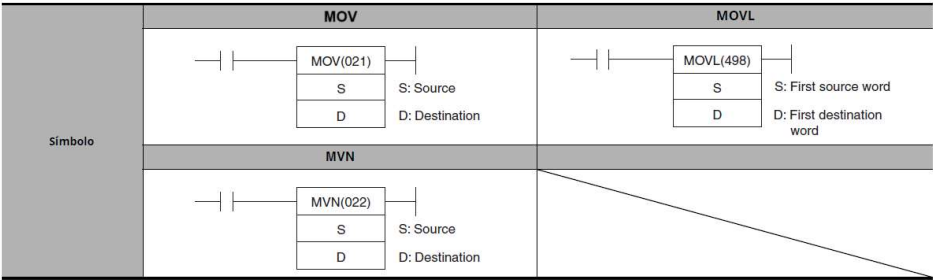
Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.6 – Instruções do bloco para movimento de dado MOV.

Instruções para movimentação de dados

MOV/MOVL/MVN

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
MOVER	MOVIMOVTO	@MOV, !MOV, !@MOV	021	Transfere uma palavra de dados para a palavra especificada.
MOVIMENTO DUPLO	MOVL	@MOVL	498	Transfere duas palavras de dados para as palavras especificadas.
NÃO SE MOVA	MVN	@MVN	022	Transfere o complemento de uma palavra de dados para a palavra especificada.



Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Transferência	
		MOV/MVN	MOVL	MOV/MVN	MOVL
S	MOV / MVN: Fonte MOVL: Primeira palavra fonte	WORD	DWORD	1	2
D	MOV / MVN: Destino MOVL: Primeira palavra de destino	WORD	DWORD	1	2

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
S	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	...	...	...
D	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	...	...	...	...

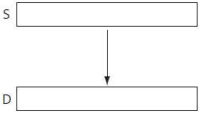
Flags

Nome	Rótulo	Operação
Erro	P_ER	DESEJADO
Igual	P_EQ	- LIGADO se os dados que estão sendo transferidos (D) forem 0. - DESLIGADO em todos os outros casos.
Negativo	P_N	- ATIVADO se o bit mais à esquerda dos dados que estão sendo transferidos (D) for 1. - DESLIGADO em todos os outros casos.

Função

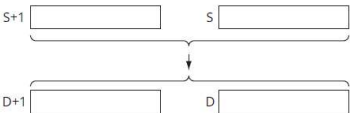
- MOVIMENTOS

Transfere S para D. Se S for uma constante, o valor pode ser usado para uma configuração de dados.



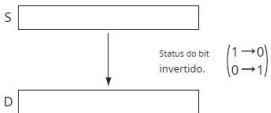
- MOVL

MOVL(498) transfere S+1 e S para D+1 e D. Se S+1 e S forem constantes, o valor pode ser usado para uma configuração de dados.



- MVN

MVN(022) inverte os bits em S e transfere o resultado para D. O conteúdo de S permanece inalterado.

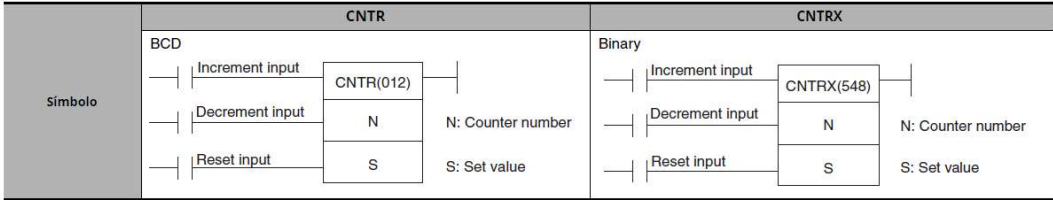


Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.7 – Instruções do bloco de contagem invertida CNTRX.

CNTR/CNTRX

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
CONTADOR REVERSÍVEL	CNTR	---	012	---
	CNTRX	---	548	



Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	OK

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Tamanho
		CNTR	CNTRX	
N	Número do contador	COUNTER	COUNTER	1
S	Definir valor	WORD	UINT	1

N: Número do contador

O número do contador deve estar entre 0000 e 0255 (decimal).

S: Definir valor

CNTR (BCD):#0000 a #9999
CNTRX (binário): &0 a &65535 (decimal) ou #0000 a #FFFF (hex)

- Especificações de operandos

Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
N	---	---	---	---	---	OK	---	---	---	---	---	---	---
S	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	---	---	---

Flags

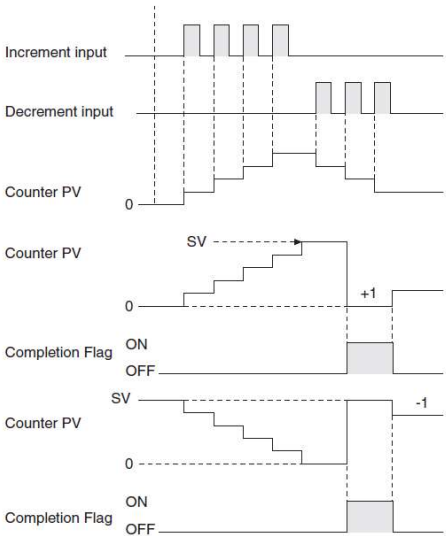
Nome	Rótulo	Operação
Erro	P_ER	- ON se estiver no modo BCD e S não contém dados BCD. - DESIGNADO em todos os outros casos

Função

O contador PV é incrementado em 1 toda vez que a entrada de incremento passa de OFF para ON e é decrementado em 1 toda vez que a entrada de decremento passa de OFF para ON. O PV pode flutuar entre 0 e SV.

Ao incrementar, o sinalizador de conclusão será ativado quando o PV for incrementado de SV de volta para 0 e será desativado novamente quando o PV for incrementado de 0 para 1.

Ao decrementar, o sinalizador de conclusão será ativado quando o PV for decrementado de 0 até SV e será desativado novamente quando o PV for decrementado de SV para SV-1.

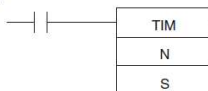
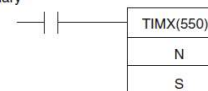


Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.8 – Instruções do bloco temporizador decremental de base 100 milissegundos TIM.

TIM/TIMX

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
TEMPORIZADOR DE CEM MS	TIM/TIMX	---	550	TIM ou TIMX(550) opera um temporizador decrescente com unidades de 0,1 s.

Símbolo	TIM		TIMX	
	BCD		Binary	
				
	N: Timer number S: Set value		N: Timer number S: Set value	

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	Não permitido

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Tamanho
		TIM	TIMX	
N	Número do temporizador	TIMER	TIMER	1
S	Definir valor	WORD	UINT	1

N: Número do temporizador

O número do temporizador deve estar entre 0000 e 0255 (decimal).

S: Definir valor (unidades de 100 ms)

TIM (BCD): #0000 a #9999.

TIMX (binário): &0 a &65535 (decimal) ou #0000 a #FFFF (hex).

- Especificações de operandos

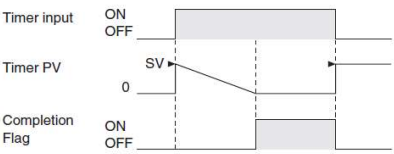
Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
N	---	---	---	---	OK	---	---	---	---	---	---	---	---
S	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	---	---	---

Flags

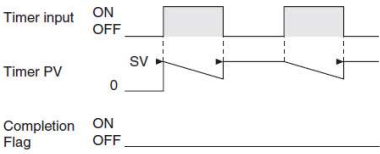
Nome	Rótulo	Operação
Sinalizador de erro	POR	- ON se estiver no modo BCD e S não contém dados BCD. - DES LIGADO em todos os outros casos.

Função

- Quando a entrada do temporizador está desligada, o temporizador especificado por N é redefinido, ou seja, o PV do temporizador é redefinido para SV e seu sinalizador de conclusão é desativado.
- Quando a entrada do temporizador passa de OFF para ON, TIM/TIMX(550) começa a diminuir o PV. O PV continuará cronometrando enquanto a entrada do temporizador permanecer LIGADA e o sinalizador de conclusão do temporizador será LIGADO quando o PV atingir 0.
- O status do PV do cronômetro e do sinalizador de conclusão será mantido após o cronômetro expirar. Para reiniciar o temporizador, a entrada do temporizador deve ser desligada e depois ligada novamente ou o PV do temporizador deve ser alterado para um valor diferente de zero (por MOV(021), por exemplo).
- A faixa de configuração do valor definido (SV) é de 0 a 999,9 s para TIM e de 0 a 6.553,5 s para TIMX(550).
- A precisão do temporizador é de -0,01 a 0 s.



O gráfico de temporização a seguir mostra o comportamento do PV e do sinalizador de conclusão do temporizador quando a entrada do temporizador é desligada antes que o temporizador expire.



Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.9 – Instruções do bloco temporizador decremental de base 10 milissegundos TIMH.

TIMH/TIMHX

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
TEMPORIZADOR DE DEZ-MS	TIMH	---	015	TIMH(015)/TIMHX(551) opera um temporizador decrescente com unidades de 10 ms.
	TIMHX	---	551	

Símbolo	TIMH		TIMHX	
	BCD	Binary		

Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	Não permitido

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Tamanho
		TIMH	TIMHX	
N	Número do temporizador	TIMER	TIMER	1
S	Definir valor	WORD	UINT	1

N: Número do temporizador

O número do temporizador deve estar entre 0000 e 0255 (decimal).

S: Definir valor

TIMH (BCD): #0000 a #9999

TIMHX (binário): &0 a &65535 (decimal) ou #0000 a #FFFF (hex)

- Especificações de operandos

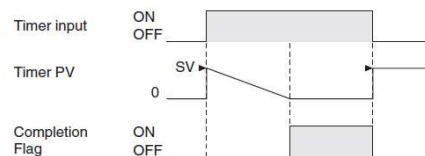
Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
N	---	---	---	---	OK	---	---	---	---	---	---	---	---
S	OK	OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK	---	---	---

Bandeiras

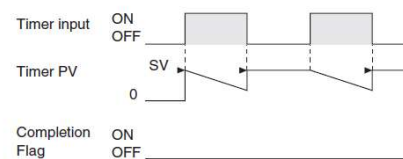
Nome	Rótulo	Operação
Erro	ER	- ON se estiver no modo BCD e S não contém dados BCD. - DES LIGADO em todos os outros casos.

Função

- Quando a entrada do temporizador está desligada, o temporizador especificado por N é redefinido, ou seja, o PV do temporizador é redefinido para SV e seu sinalizador de conclusão é desativado.
- Quando a entrada do temporizador passa de OFF para ON, TIMH(015)/TIMHX(551) começa a diminuir o PV. O PV continuará cronometrando enquanto a entrada do temporizador permanecer LIGADA e o sinalizador de conclusão do temporizador será LIGADO quando o PV atingir 0000.
- O status do PV do cronômetro e do sinalizador de conclusão será mantido após o cronômetro expirar. Para reiniciar o temporizador, a entrada do temporizador deve ser desligada e depois ligada novamente ou o PV do temporizador deve ser alterado para um valor diferente de zero (por MOV(021), por exemplo).
- A faixa de configuração para o valor definido (SV) é de 0 a 99,99 s para TIMH(015) e 0 a 655,35 s para TIMHX(551).
- A precisão do temporizador é de 0 a 0,01 s.



O gráfico de temporização a seguir mostra o comportamento do PV e do sinalizador de conclusão do temporizador quando a entrada do temporizador é desligada antes que o temporizador expire.

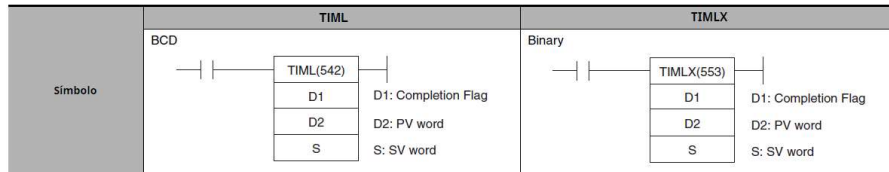


Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.10 – Instruções do bloco temporizador decremental *double word* de base 100 milissegundos TIML.

TIML/TIMLX

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
TEMPORIZADOR LONGO	TEMPO	---	542	TIML(542)/TIMLX(553) opera um temporizador decrescente com unidades de 0,1s.
	TIMLX	---	553	



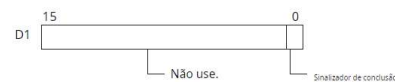
Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	Não permitido

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Tamanho
		TEMPO	TIMLX	
D1	Conclusão	WORD	UINT	1
D2	PV	DWORD	UDINT	2
S	SV	DWORD	UDINT	2

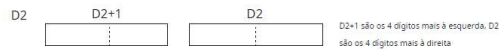
D1: Sinalizador de conclusão



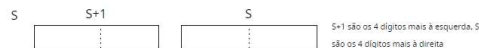
O PV e SV podem variar de #00000000 a #99999999 para TIML(542) e &00000000 a &4294967294 (decimal) ou #00000000 a #FFFFFFFF (hexadecimal) para TIMLX(553).

Observação: S, S+1, D2 e D2+1 devem estar na mesma área de dados.

D2: Palavra PV



S: Palavra SV



- Especificações de operandos

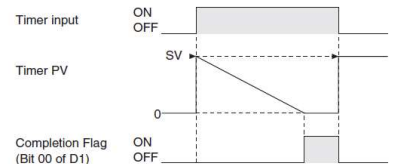
Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
D1,D2	OK	OK	OK	OK	---	---	OK	OK	OK	---	---	---	---
S	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	---	---	---

Flags

Nome	Rótulo	Operação
Erro	P_ER	- LIGADO se estiver no modo BCD e D2 não contiver dados BCD. - ON se estiver no modo BCD e S não contiver dados BCD. - DESLIGADO em todos os outros casos.

Função

- Quando a entrada do temporizador está desligada, o temporizador é redefinido, ou seja, o PV do temporizador é redefinido para SV e seu sinalizador de conclusão é desligado.
- Quando a entrada do temporizador passa de OFF para ON, TIML(542)/TIMLX(553) começa a decrementar o PV em D2+1 e D2. O PV continuará cronometrando enquanto a entrada do temporizador permanecer LIGADA e o sinalizador de conclusão do temporizador será LIGADO quando o PV atingir 0.
- O status do PV do cronômetro e do sinalizador de conclusão será mantido após o cronômetro expirar. Para reiniciar o temporizador, a entrada do temporizador deve ser desligada e depois ligada novamente ou o PV do temporizador deve ser alterado para um valor diferente de zero (por MOV(021), por exemplo).



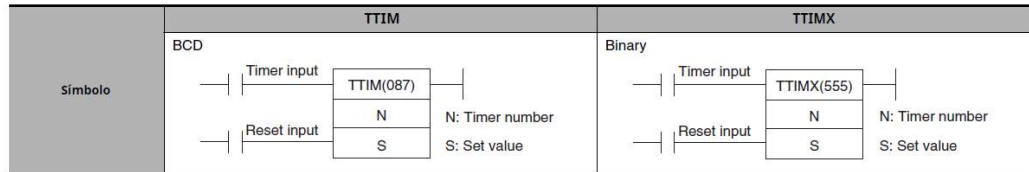
- TIML(542)/TIMLX(553) pode durar até 115 dias para TIML(542) e 4.971 dias para TIMLX(553).
- A precisão do temporizador é de 0 a 0,01 s.

Fonte: Adaptado de Omron (2009).

Figura A.11 – Instruções do bloco temporizador incremental de base 100 milissegundos TTIM

TTIM/TTIMX

Instrução	Mnemônico	Variações	Função código	Função
TEMPORIZADOR ACUMULATIVO	TTIM	---	087	TTIM(087)/TTIMX(555) opera um temporizador incremental com unidades de 0,1 s.
	TTIMX	---	555	



Áreas programáticas aplicáveis

Área	Áreas do programa Step	Sub-rotinas	Interromper tarefas
Uso	OK	OK	Não permitido

Operandos

Operando	Descrição	Tipo de dados		Tamanho
		TTIM	TTIMX	
N	Número do temporizador	TIMER	TIMER	1
S	Definir valor	WORD	UINT	1

N: Número do temporizador

O número do temporizador deve estar entre 0000 e 0255 (decimal).

S: Definir valor

TTIM (BCD): #0000 a #9999

TTIMX (binário): &0 a &65535 (decimal) ou #0000 a #FFFF (hex)

- Especificações de operandos

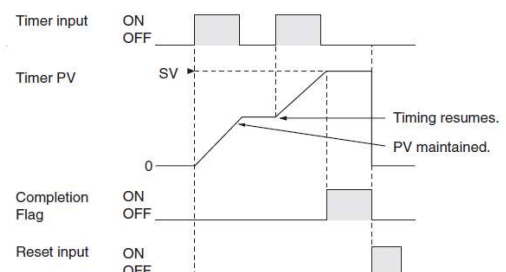
Área	Endereços de palavras							Endereços DM indiretos		Constantes	FC	Bits de pulso	bits TR
	CIO	WR	RH	RA	T	C	DM	@DM	* DM				
N	---	---	---	---	OK	---	---	---	---	---	---	---	---
S	OK	OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK	---	---	---

Flags

Nome	Rótulo	Operação
Erro	P_ER	- ON se estiver no modo BCD e S não contém dados BCD. - DESATIVADO em todos os outros casos.

Função

- Quando a entrada do temporizador está ON, TTIM(087)/TTIMX(555) incrementa o PV.
- Quando a entrada do temporizador for desligada, o temporizador irá parar de incrementar o PV, mas o PV manterá seu valor. O PV retomará a temporização quando a entrada do temporizador for LIGADA novamente. O sinalizador de conclusão do cronômetro será ativado quando o PV atingir o SV.
- O status do PV do cronômetro e do sinalizador de conclusão será mantido após o cronômetro expirar. Existem três maneiras de reiniciar o Redefinir entrada temporizador: o PV do temporizador pode ser alterado para um valor diferente de zero (por MOV(021), por exemplo), a entrada de reset pode ser ligada ou CNR(545)/CNRX(547) pode ser executado.
- A faixa de configuração do valor definido (SV) é de 0 a 999,9 s para TTIM(087) e 0 a 6.553,5 s para TTIMX(555).
- A precisão do temporizador é de 0 a 0,01 s.



Fonte: Adaptado de Omron (2009).