

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

DORIVAL FERNANDES
RAFAEL BARÃO
IGOR FURTADO

**A automação do processo de alimentação de uma Retifica Centerless:
Estudo de Caso**

São Paulo

2026

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

DORIVAL FERNANDES
RAFAEL BARÃO
IGOR FURTADO

**A automação do processo de alimentação de uma Retifica Centerless:
Estudo de Caso**

Projeto tecnológico elaborado como
requisito parcial para a conclusão do Curso
Superior de Tecnologia em Automação
Industrial.
Orientador(a): Adilson Lucimar Simões

São Paulo
2026

FOLHA DE APROVAÇÃO

DORIVAL FERNANDES

RAFAEL BARÃO

IGOR FURTADO

A automação do processo de alimentação de uma Retifica Centerless: Estudo de Caso

Trabalho acadêmico realizado como
requisito parcial para a conclusão do Curso
Superior de Tecnologia em Automação
Industrial

Orientador(a): Adilson Lucimar Simões

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Assinatura: _____

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data ____/____/____

Prof. _____

Assinatura: _____

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data ____/____/____

Prof. _____

Assinatura: _____

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data ____/____/____

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA	10
3. PESQUISA DE MERCADO (EIXO TECNOLÓGICO)	13
4. MATERIAIS, PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS PRELIMINARES.....	14
5. CRONOGRAMA	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7. Referências	38

Figuras

Figura 1	23
Figura 2	26
Figura 3	27
Figura 4	27
Figura 5	28
Figura 6	29

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de automação de uma retífica centerless, máquina amplamente utilizada em processos de usinagem para obtenção de precisão dimensional e acabamento superficial de peças cilíndricas. A proposta visa a modernização do equipamento por meio da aplicação de controladores lógicos programáveis (CLP), sensores e um sistema supervisor, permitindo automação, controle e monitoramento em tempo real. A metodologia adotada inclui levantamento técnico, análise de requisitos, desenvolvimento de lógica de controle, integração de hardware e software e validação por testes de funcionamento. Os resultados obtidos demonstraram aumento de produtividade, redução de falhas operacionais e melhoria da estabilidade do processo.

Palavras-chave: Automação Industrial. Retífica Centerless. CLP. Sensores. Supervisor.

ABSTRACT

This paper presents the development of an automation project for a centerless grinding machine; a machine widely used in machining processes to obtain dimensional precision and surface finish of cylindrical parts. The proposal aims to modernize the equipment through the application of programmable logic controllers (PLCs), sensors, and a supervisory system, allowing automation, control, and real-time monitoring. The methodology adopted includes technical survey, requirements analysis, development of control logic, hardware and software integration, and validation through functional tests. The results obtained demonstrated productivity increase, reduction of operational failures and improvement of process stability.

Keywords: Industrial Automation. Centerless Grinding Machine. PLC. Sensors. Supervisory

1. INTRODUÇÃO

A automação industrial é uma das principais ferramentas de transformação da indústria moderna. Ela permite maior eficiência, repetibilidade, qualidade e segurança nas operações. A retífica centerless, por sua vez, é um equipamento fundamental no processo de usinagem de precisão, utilizado em setores como o automotivo, metalúrgico e aeronáutico.

A automação de processos industriais envolve diferentes áreas do conhecimento, integrando conceitos de automação industrial, sistemas de controle, pneumática, instrumentação, elétrica industrial, programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e supervisão de processos. Além disso, projetos de retrofit industrial exigem conhecimentos relacionados à mecânica, integração eletropneumática, segurança operacional e análise de desempenho produtivo, permitindo a modernização de equipamentos convencionais e sua adaptação aos conceitos da Indústria 4.0.

No contexto deste trabalho, essas áreas são aplicadas ao processo de automação de uma retífica centerless, por meio da implementação de sensores, atuadores pneumáticos, lógica de controle e sistema supervisor, visando melhorar o desempenho operacional e produtivo do equipamento.

Entretanto, observa-se que muitas retíficas centerless ainda operam com sistemas de alimentação predominantemente manuais, exigindo elevada intervenção do operador, reduzindo a padronização do processo e limitando a produtividade. Essa condição pode ocasionar variações operacionais, aumento do tempo improdutivo, dificuldades no monitoramento e interferências na qualidade final das peças produzidas.

Diante desse cenário, surge a seguinte problemática de pesquisa: como a automação aplicada ao sistema de alimentação e controle operacional de uma retífica centerless pode contribuir para o aumento da produtividade, melhoria da repetibilidade do processo e redução da dependência operacional manual?

1.1 Justificativa

A crescente demanda por produtividade, qualidade e competitividade no setor industrial tem impulsionado a modernização de processos produtivos por meio da automação industrial. Nesse contexto, equipamentos convencionais ainda amplamente utilizados na indústria metalúrgica e de usinagem apresentam limitações operacionais relacionadas à dependência de atividades manuais, variabilidade do processo e redução da eficiência produtiva.

A retífica centerless é um equipamento amplamente empregado em operações de usinagem de precisão, especialmente na fabricação de componentes cilíndricos que exigem elevado controle dimensional e qualidade superficial. Entretanto, muitos desses equipamentos operam com sistemas de alimentação manual, exigindo elevada participação do operador e limitando o desempenho produtivo do processo.

Diante desse cenário, a automação aplicada ao processo de alimentação e controle operacional da retífica centerless surge como alternativa para aumentar a produtividade, reduzir falhas operacionais e melhorar a repetibilidade do processo. Além disso, a implementação de sistemas automatizados baseados em Controladores Lógicos Programáveis (CLP), sensores e atuadores permitem maior monitoramento, estabilidade operacional e integração aos conceitos da Indústria 4.0.

A relevância deste projeto está associada à modernização de um equipamento já existente por meio da técnica de retrofit industrial, reduzindo investimentos quando comparados à aquisição de novos equipamentos automatizados. Os resultados obtidos demonstraram ganhos significativos em produtividade, otimização da mão de obra e eficiência operacional, evidenciando a viabilidade técnica e econômica da solução desenvolvida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e implementar um sistema de automação para uma retífica centerless por meio da aplicação de Controlador Lógico Programável (CLP), sensores e atuadores pneumáticos, visando aumentar a produtividade, melhorar

a estabilidade operacional e reduzir a dependência da alimentação manual do processo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Projetar e implementar a lógica de controle do processo;
- Integrar sensores, atuadores e supervisorio;
- Realizar testes de operação;
- Elaborar a documentação técnica correspondente.

1.3 Delimitações

O presente trabalho delimita-se ao desenvolvimento e implementação da automação aplicada ao sistema de alimentação e controle operacional de uma retífica centerless utilizada em processo de usinagem de peças cilíndricas, por meio da integração de Controlador Lógico Programável (CLP), sensores, atuadores pneumáticos e sistema supervisorio.

O escopo do projeto está direcionado à modernização do equipamento por meio de retrofit industrial, contemplando o desenvolvimento da lógica de controle, integração eletropneumática, automação da alimentação das peças, análise operacional e avaliação dos ganhos produtivos obtidos após a implementação.

Não fazem parte deste estudo alterações estruturais no sistema principal de retificação, modificações nos parâmetros de usinagem do rebolo, desenvolvimento de novos processos metalúrgicos ou substituição integral da máquina existente. Da mesma forma, não são contempladas análises aprofundadas relacionadas ao projeto mecânico da retificadora, dimensionamento estrutural ou desenvolvimento de sistemas avançados de manufatura inteligente.

Além disso, a análise econômica apresentada limita-se aos impactos relacionados à produtividade, eficiência energética e otimização operacional observados após a automação implementada.

2. REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA

2.1 Automação Industrial

A automação industrial consiste na aplicação de tecnologias e sistemas de controle com o objetivo de aumentar a eficiência, produtividade, repetibilidade e segurança dos processos produtivos. Segundo Bolton (2022), a automação possibilita a substituição parcial ou total das atividades manuais por sistemas controlados eletronicamente, reduzindo falhas operacionais e aumentando a confiabilidade do processo.

Com o avanço da Indústria 4.0, a automação passou a integrar sistemas inteligentes de monitoramento, supervisão e aquisição de dados, permitindo maior conectividade entre máquinas e processos produtivos.

Nesse contexto, a automação industrial tornou-se uma ferramenta estratégica para modernização de equipamentos convencionais por meio de técnicas de retrofit, possibilitando ganhos operacionais sem necessidade de substituição integral dos ativos industriais.

2.2 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) representam um dos principais elementos dos sistemas automatizados, sendo responsáveis pelo processamento lógico e controle das variáveis do processo.

De acordo com Bolton (2022), o CLP é um dispositivo eletrônico programável desenvolvido para operar em ambientes industriais, realizando o monitoramento de sinais de entrada e comandando dispositivos de saída conforme a lógica estabelecida.

No projeto desenvolvido, o CLP atua como elemento central do sistema, executando o controle da alimentação automática, interpretando os sinais provenientes dos sensores e comandando os atuadores pneumáticos responsáveis pela movimentação das peças.

2.3 Sensores e Atuadores Pneumáticos

Os sensores industriais possuem a função de detectar variáveis físicas do processo e convertê-las em sinais interpretáveis pelos sistemas de controle.

No presente projeto foram utilizados sensores ópticos, magnéticos e sensores de proximidade para monitoramento da posição das peças e acionamento do sistema automatizado.

Os atuadores pneumáticos, por sua vez, são responsáveis pela conversão da energia do ar comprimido em movimento mecânico. Segundo Bonacorso (2018), sistemas pneumáticos apresentam elevada confiabilidade, simplicidade construtiva e baixo custo de manutenção, tornando-se amplamente utilizados em processos automatizados.

A integração entre sensores, atuadores e CLP permite a sincronização do processo produtivo e redução da interferência humana.

2.4 Sistemas Supervisórios

Os sistemas supervisórios são ferramentas utilizadas para monitoramento, controle e aquisição de dados em processos industriais.

Segundo Nise (2020), os sistemas supervisórios permitem visualizar variáveis operacionais em tempo real, registrar informações históricas e auxiliar na tomada de decisão.

No contexto deste projeto, o supervisório complementa o sistema de automação, fornecendo interface gráfica para acompanhamento do processo de alimentação e funcionamento da retífica.

2.5 Processo de Retificação Centerless

A retificação centerless é um processo de usinagem empregado para obtenção de elevada precisão dimensional e acabamento superficial em peças cilíndricas.

Segundo Diniz e Marcondes (2019), nesse processo a peça é apoiada entre o rebolo de corte e o rebolo regulador, dispensando dispositivos convencionais de fixação.

Esse tipo de processo apresenta elevada produtividade, sendo amplamente utilizado nos setores automotivo, metalúrgico e aeronáutico.

Entretanto, muitas retificadoras ainda dependem de alimentação manual das peças, reduzindo a eficiência operacional e aumentando a dependência do operador.

2.6 Retrofit Industrial e Indústria 4.0

O retrofit industrial consiste na modernização tecnológica de equipamentos existentes por meio da integração de novos sistemas de controle e automação. Essa abordagem permite ampliar a vida útil dos ativos industriais e reduzir investimentos quando comparados à aquisição de novos equipamentos.

No contexto da Indústria 4.0, o retrofit possibilita incorporar monitoramento, automação e rastreabilidade a equipamentos convencionais, aumentando competitividade e eficiência operacional.

No presente trabalho, o retrofit foi aplicado à retífica centerless por meio da automação do sistema de alimentação e controle do processo.

2.7 Segurança em Máquinas e Equipamentos (NR-12)

A segurança em máquinas e equipamentos constitui um dos principais requisitos para implementação de sistemas automatizados na indústria. No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-12 estabelece referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção destinadas a garantir integridade

física e a saúde dos trabalhadores durante a operação, manutenção, ajuste e intervenção em máquinas e equipamentos.

Em projetos de retrofit industrial, a aplicação dos requisitos da NR-12 torna-se ainda mais relevante, uma vez que a modernização de equipamentos existentes deve preservar ou melhorar as condições de segurança originalmente previstas. Dessa forma, dispositivos de proteção, sistemas de monitoramento, sinalização operacional, procedimentos de manutenção e medidas de prevenção de falhas devem ser considerados durante todas as etapas do projeto.

No sistema desenvolvido para a retífica centerless, foram adotadas medidas voltadas à segurança operacional, incluindo monitoramento por sensores, controle lógico programado por CLP, utilização de dispositivos pneumáticos adequadamente dimensionados e procedimentos de inspeção periódica dos componentes do sistema. Essas medidas contribuem para a redução dos riscos operacionais, aumento da confiabilidade do processo e conformidade com os princípios estabelecidos pela NR-12.

Além da proteção dos operadores, a aplicação dos conceitos de segurança industrial contribui para a redução de falhas, aumento da disponibilidade dos equipamentos e melhoria da eficiência global do processo produtivo, tornando a automação uma ferramenta não apenas de produtividade, mas também de segurança e sustentabilidade operacional.

3. PESQUISA DE MERCADO (EIXO TECNOLÓGICO)

A automação de retíficas centerless é uma tendência crescente na indústria de usinagem, uma vez que empresas buscam aumentar sua competitividade e eficiência operacional. Atualmente, muitas máquinas em uso ainda dependem de operadores para ajustes manuais e controle de processo, o que gera desperdício de tempo e variabilidade de qualidade. O projeto proposto diferencia-se por adaptar tecnologias acessíveis de automação a um equipamento já existente, reduzindo custos em comparação com a aquisição de uma nova máquina automatizada. Além disso, a solução proposta é modular,

podendo ser aplicada em diferentes tipos de retíficas, o que amplia o potencial de mercado e de replicação industrial.

4. MATERIAIS, PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS PRELIMINARES

Para o desenvolvimento do projeto de automação da retífica centerless, adotou-se um conjunto de materiais, dispositivos e métodos técnicos que garantem a funcionalidade, segurança e estabilidade do processo. O levantamento inicial permitiu analisar o estado atual da máquina, identificar os pontos críticos do processo manual e definir os requisitos necessários para a automação.

4.1 Materiais Utilizados

- Controlador Lógico Programável (CLP) de médio porte
- Sensores magnéticos para posicionamento de cilindros pneumáticos
- Sensores ópticos para detecção e liberação de peças
- Sensores de proximidade
- Painel de comando com botoeiras, relés e dispositivos de proteção
- Atuadores pneumáticos
- Conexões, válvulas e mangueiras
- Fonte de alimentação industrial
- Cabeamento elétrico e pneumático
- Estrutura de suporte para alimentador automático

4.1.1 Relação dos components utilizados

Para a implementação do sistema automatizado foram utilizados diversos componentes elétricos, pneumáticos, mecânicos e de controle. A Tabela um apresenta a relação dos principais materiais empregados na construção do painel elétrico, sistema pneumático e estrutura de alimentação automática da retífica centerless

Tabela 1 – Tabela contendo itens, especificações e quantidades dos materiais envolvidos

ITEM	Especificação	Quantidade: MTS / UNIDADE
Quadro para montagem	Caixa de montagem elétrica 800x1000x30	1
Contatora tripolar + Relé térmico	24vdc 32A - 3 tripolares 1NA + Bloco contato aux - 2NA 2NF	3
Contatora tripolar + Relé térmico	24vdc 18A - 3 tripolares 1NA + Bloco contato aux - 2NA 2NF	4
Inversor de frequência	-----	1
Temporizador	24vdc - Contagem Segundos na/nf	1
Temporizador	24vdc - Contagem Minutos na/nf	1
Fonte	10A In- 100-200Vac Out 24Vdc	1
Módulo Relé Painel	24Vdc Trilho	10
Transformador trifásico	-----	1
Disjuntor Bipolar	10A	2
DPS	275V	3
Disjuntor Motor	32 A	1
Disjuntor Motor	18 A	4
Borne parafuso	10mm	12
Borne parafuso	5mm	12
Borne mola duplo	2.5mm	20
Borne terra	10mm	2
Borne terra	5mm	3
Borne terra	2.5mm	3
Rebites	3x56	100
Parafusos	M5	10
Parafusos	M8	8
Terminal	Ilhós - 1mm	200
Terminal	Ilhós - 2.5mm	150
Terminal	Ilhós - 6mm	100
Terminal	Ilhós 10mm	100
Botão Verde	22mm	5
Botão Vermelho	22mm	3
Botão Emergência	22mm	1
Chave 2 Posição	22mm	1
Chave Liga desliga	-----	1
Chave Seccionadora	100 A Tripolar	1
Potenciômetro	-----	1
Bloco de contato Botão	NA	15
Bloco de contato Botão	NF	8
Tomada STECK	VERMELHA - TRIPOLAR	1
Tomada Uso Geral	Tomada Painel Garra Plástica 20A	1
Dutos Flexível ou com malha de aço	3/4	60 Metros

Conexões para o duto escolhido	-----	20
FIO FLEXÍVEL	6mm PRETO	40 metros
FIO FLEXÍVEL	6mm VERDE	10 metros
FIO FLEXÍVEL	2.5mm PRETO	40 metros
FIO FLEXÍVEL	0.75mm AZUL	100 metros
FIO FLEXÍVEL	0.75mm BRANCO	100 metros
FIO FLEXÍVEL	0.75mm VERDE	20 metros
CABO PP	4X2.5	25 metros
CANALETA	80X100	7 metros
TRILHO	Modelo DIN	5 metros

Fonte: O próprio autor.

4.1.2 Descrição Técnica dos Materiais Utilizados

O desenvolvimento do sistema automatizado exigiu a utilização de diversos componentes elétricos, pneumáticos e mecânicos responsáveis pela execução das funções de controle, monitoramento e alimentação automática da retífica centerless. O Controlador Lógico Programável (CLP) foi utilizado como elemento central do sistema de automação, sendo responsável pelo processamento da lógica de controle, interpretação dos sinais provenientes dos sensores e acionamento dos dispositivos pneumáticos responsáveis pela movimentação das peças.

Os sensores ópticos foram empregados para detectar a presença e a posição das peças ao longo do processo de alimentação, garantindo que apenas uma peça fosse liberada por ciclo de operação. Já os sensores magnéticos foram instalados nos cilindros pneumáticos para monitoramento de posição e confirmação dos movimentos executados.

Os atuadores pneumáticos foram responsáveis pelos movimentos de separação, posicionamento e alimentação das peças para o interior da retífica. A utilização de pneumática industrial foi escolhida devido à sua robustez, simplicidade construtiva e elevada confiabilidade em ambientes industriais.

O painel de comando foi desenvolvido para concentrar os dispositivos de acionamento, proteção elétrica e interface com o operador, permitindo maior controle sobre o funcionamento do sistema automatizado.

Além dos componentes elétricos e pneumáticos, foi desenvolvida uma estrutura mecânica composta por rampa de alimentação, guias lineares, suportes e dispositivos de posicionamento, responsáveis por armazenar, direcionar e alimentar continuamente as peças para o processo de retificação.

4.1.3 Ferramentas Utilizadas

Durante o desenvolvimento e implementação do sistema automatizado foram utilizadas diversas ferramentas mecânicas, elétricas e de instrumentação para montagem, instalação, testes e validação do projeto.

Entre as principais ferramentas empregadas destacam-se as chaves combinadas, chaves Allen, furadeira elétrica, parafusadeira, paquímetro, trena, alicates de corte e decapagem, além de equipamentos destinados à montagem mecânica da estrutura do alimentador automático.

Para as atividades relacionadas aos sistemas elétricos e pneumáticos foram utilizados multímetro digital, alicate amperímetro, notebook para programação do CLP e ferramentas específicas para montagem de conexões pneumáticas.

Esses equipamentos permitiram realizar ajustes mecânicos, verificações elétricas, testes funcionais e parametrizações do sistema de controle, contribuindo para a correta execução do projeto e validação operacional da solução desenvolvida.

4.1.4 Equipamentos de Proteção Individual Utilizados

Durante a execução das atividades de fabricação, montagem, instalação e testes do sistema automatizado foram utilizados Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), visando garantir a segurança dos envolvidos e atender às boas práticas aplicáveis ao ambiente industrial.

Entre os principais EPIs utilizados destacam-se os óculos de proteção contra projeção de partículas, luvas de segurança para atividades mecânicas e de montagem, protetor auricular devido aos níveis de ruído presentes no ambiente de usinagem, calçados de segurança com biqueira reforçada e capacete de segurança para circulação em áreas produtivas.

A utilização desses equipamentos contribuiu para minimizar riscos ocupacionais e garantir a execução segura das atividades relacionadas ao desenvolvimento e implementação do projeto.

4.2 Procedimentos de Desenvolvimento

O processo de automação da retífica centerless passou por fases organizadas da seguinte forma:

4.2.1 Levantamento técnico da máquina

- Análise dos componentes existentes
- Identificação de pontos de entrada e saída de sinais
- Avaliação do processo operacional atual

4.2.2 Desenvolvimento do novo sistema automatizado

- Elaboração do diagrama elétrico de comando
- Definição da lógica de controle do CLP
- Integração dos sensores magnéticos ao sistema pneumático
- Configuração dos sensores ópticos para controle de liberação das peças.

4.2.3 Metodologia de Análise e Solução de Problemas (8D)

Para identificação das causas dos problemas observados no processo produtivo e definição da solução de automação, foi utilizada como referência a metodologia 8D (Eight Disciplines), amplamente empregada na indústria para análise e resolução estruturada de problemas.

A aplicação da metodologia permitiu avaliar as condições operacionais da retífica centerless e identificar fatores que impactavam diretamente a produtividade e a qualidade do processo. Entre os principais problemas observados destacavam-se a dependência da alimentação manual das peças, o elevado tempo de máquina parada durante as medições dimensionais, a necessidade de intervenção constante do operador e a variabilidade operacional causada pelo processo manual.

A etapa mais relevante da metodologia foi a análise das causas raízes (D4), realizada por meio da observação direta do processo produtivo, levantamento de dados operacionais e análise das condições de trabalho dos operadores. Os resultados indicaram que a alimentação manual constituía um dos principais fatores limitantes da produtividade, além de contribuir para o aumento do esforço físico, redução da repetibilidade e ocorrência de paradas frequentes. Com base nas informações obtidas, foi possível desenvolver uma solução automatizada composta por sistema de alimentação pneumática, sensores industriais, lógica de controle por CLP e monitoramento do processo, reduzindo significativamente a interferência humana e aumentando a eficiência operacional da retífica.

A utilização da metodologia 8D permitiu estruturar o processo de tomada de decisão, contribuindo para a identificação correta do problema, desenvolvimento da solução e validação dos resultados obtidos após a implementação do retrofit.

4.2.4 Identificação do Problema e Levantamento das Necessidades

O processo de retificação centerless analisado neste estudo representa uma etapa crítica da linha de produção, sendo responsável pelo acabamento final e controle dimensional das peças produzidas. Por se tratar do último estágio de usinagem, qualquer falha operacional pode comprometer diretamente a qualidade final do produto e gerar perdas produtivas significativas.

Antes da automação, a alimentação da máquina era realizada integralmente de forma manual, exigindo que o operador posicionasse individualmente cada peça entre os rebolos de trabalho. Além da alimentação, o operador também era responsável pelo controle dimensional, inspeções periódicas, organização das peças produzidas e acompanhamento do desgaste do rebole.

Essa condição resultava em constantes interrupções do processo, uma vez que a máquina permanecia parada durante as medições e inspeções necessárias para garantir a qualidade do produto. Além disso, o caráter repetitivo da atividade contribuía para redução gradual do ritmo operacional ao longo do turno de trabalho, impactando diretamente a produtividade da linha.

Outro fator observado foi a elevada dependência da habilidade individual do operador para posicionamento correto das peças, situação que aumentava a variabilidade do processo e dificultava a padronização da produção. Dessa forma, identificou-se a necessidade de desenvolver um sistema automatizado capaz de reduzir a intervenção manual, aumentar a produtividade, melhorar a repetibilidade do processo e permitir que um único operador pudesse supervisionar mais de uma máquina simultaneamente.

4.2.5 Caracterização do Ambiente Industrial

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa do setor metalúrgico que utiliza retificadoras centerless para fabricação de componentes mecânicos de precisão. O processo analisado corresponde à etapa final de usinagem das peças, sendo responsável pela obtenção das dimensões finais, acabamento superficial e controle de circularidade.

A linha produtiva analisada possui diversas retificadoras centerless operando em regime contínuo, sendo que cada equipamento exigia a presença permanente de um operador responsável pela alimentação das peças, monitoramento do processo e realização dos controles dimensionais exigidos pelo sistema da qualidade.

Por representar uma das etapas mais críticas do processo produtivo, qualquer interrupção ou falha operacional impacta diretamente a produtividade da linha e a qualidade final dos componentes produzidos. Dessa forma, a automação do sistema de alimentação foi identificada como uma oportunidade de melhoria capaz de aumentar a eficiência operacional e reduzir a dependência da intervenção manual.

4.3 Implementação do alimentador automático

- Adequação mecânica para substituição da alimentação 100% manual
- Sincronização entre alimentação, retificação e coleta
- Instalação de dispositivos de Segurança.

4.3.1 Estrutura Física do Sistema Automatizado

O sistema automatizado desenvolvido foi composto por uma estrutura mecânica projetada para armazenar, organizar e alimentar continuamente as peças destinadas ao processo de retificação.

A estrutura principal consiste em uma rampa inclinada por gravidade, capaz de armazenar aproximadamente entre 35 e 45 peças simultaneamente. Essa configuração permite manter fluxo contínuo de alimentação, reduzindo significativamente a necessidade de intervenção do operador durante a operação da máquina.

Na extremidade inferior da rampa foi instalado um sistema separador pneumático responsável por liberar apenas uma peça por vez. Após a liberação, a peça é direcionada para um prisma de posicionamento, onde permanece estabilizada aguardando o próximo comando de alimentação.

O deslocamento da peça até a régua de apoio da retífica ocorre por meio de um cilindro pneumático guiado por sistema linear, garantindo precisão no posicionamento e repetibilidade do movimento. Toda a estrutura foi dimensionada para suportar as condições operacionais do ambiente industrial, assegurando robustez e confiabilidade durante o funcionamento contínuo.

4.3.1.1 Sistema de Armazenamento e Alimentação

O sistema de alimentação foi projetado para operar de forma contínua utilizando uma rampa inclinada por gravidade, permitindo o armazenamento simultâneo de aproximadamente 35 a 45 peças. A utilização da alimentação gravitacional reduziu a necessidade de mecanismos complexos de transporte, simplificando a estrutura do equipamento e aumentando sua confiabilidade operacional.

As peças permanecem organizadas ao longo da rampa até que sejam liberadas individualmente pelo sistema separador pneumático, responsável por controlar o fluxo de alimentação da máquina. Essa configuração garante fornecimento contínuo de matéria-prima para a retífica, reduzindo tempos improdutivos e permitindo maior aproveitamento da capacidade operacional do equipamento.

4.3.2 Funcionamento Detalhado do Sistema Automatizado

O funcionamento do sistema automatizado inicia-se com o carregamento das peças na rampa de alimentação. A partir desse momento, as peças deslocam-se por gravidade até a região de separação, onde permanecem organizadas para alimentação sequencial.

Quando o sistema recebe autorização do CLP, um atuador pneumático realiza a liberação controlada da peça, direcionando-a para a posição de alimentação. Sensores instalados ao longo do processo monitoram continuamente a presença e o posicionamento correto das peças, garantindo que o ciclo seja executado com segurança e precisão.

Após a confirmação dos sensores, um segundo cilindro pneumático realiza o avanço da peça até a posição de retificação. Durante toda a operação, o CLP executa a lógica de controle responsável pelo sincronismo entre alimentação, posicionamento e funcionamento da máquina.

Caso alguma condição anormal seja detectada, como ausência de peça ou falha de posicionamento, o sistema interrompe automaticamente o ciclo e sinaliza a ocorrência ao operador, evitando danos ao equipamento e perdas produtivas. Após a conclusão da operação de retificação, a peça é removida da região de trabalho e o sistema libera automaticamente a próxima peça, reiniciando o ciclo de produção.

Para garantir a confiabilidade do ciclo automático, foi utilizado um sensor a laser responsável por confirmar a presença da peça no prisma de posicionamento. Somente após a validação desse sinal o CLP autoriza o avanço do cilindro alimentador, garantindo que o processo ocorra de forma segura e evitando alimentações incorretas da retífica.

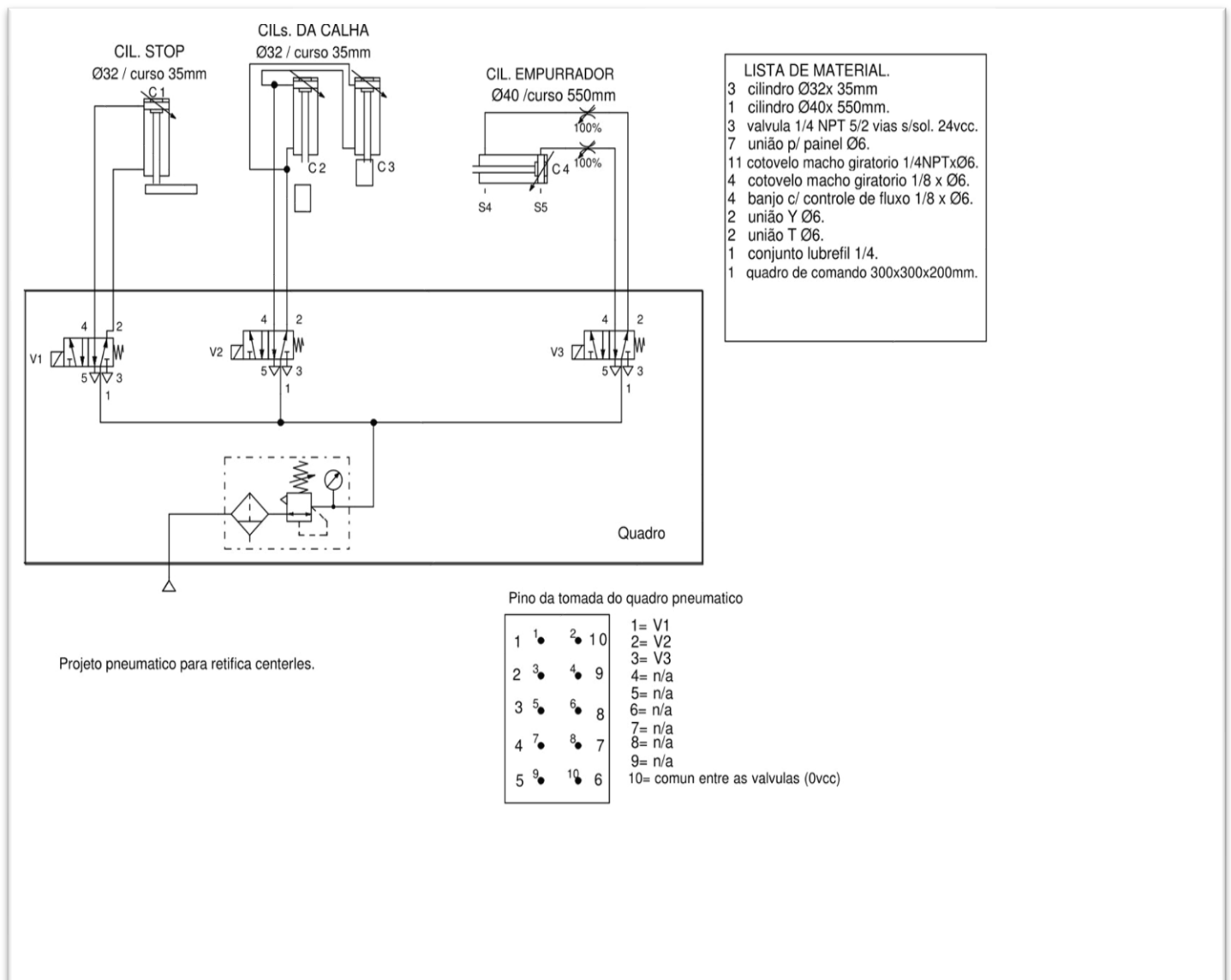
4.3.2.1 Aplicação da Pneumática Industrial

A utilização da pneumática industrial foi escolhida devido à sua elevada confiabilidade, simplicidade construtiva e facilidade de manutenção quando comparada a outras soluções de acionamento.

Os cilindros pneumáticos foram empregados para realizar os movimentos de separação, posicionamento e alimentação das peças, garantindo velocidade adequada e elevada repetibilidade operacional. O acionamento dos cilindros

ocorre por meio de válvulas pneumáticas controladas pelo CLP, permitindo sincronismo entre os movimentos mecânicos e os sinais provenientes dos sensores instalados no sistema. Além da redução da complexidade mecânica, a utilização da pneumática contribuiu para diminuir custos de implantação e facilitar futuras intervenções de manutenção como mostra na figura dois do esquema pneumático.

Figura 1 – Esquema Pneumático



Fonte: O próprio autor.

4.3.2.2 Comunicação entre Sistemas de Controle

Para garantir o funcionamento sincronizado entre o sistema de alimentação automática e a retífica centerless, foi necessária a implementação de comunicação entre o CLP responsável pelo alimentador e o sistema de controle da máquina. Essa comunicação permite a troca contínua de informações relacionadas ao estado operacional da retífica, possibilitando que o alimentador execute seus movimentos apenas quando a máquina estiver apta a receber uma nova peça. Dessa forma, evita-se a ocorrência de falhas de sincronismo, colisões mecânicas e alimentações indevidas durante o ciclo produtivo.

O processo inicia-se quando a retífica envia ao CLP do alimentador um sinal informando que os rebolos encontram-se abertos e a máquina está preparada para receber uma nova peça. Após receber essa informação e validar os sinais provenientes dos sensores de posicionamento, o CLP aciona a válvula pneumática responsável pelo avanço do cilindro alimentador.

Ao final do curso do cilindro, um sensor magnético confirma que a peça foi posicionada corretamente sobre a régua de apoio da retífica. Em seguida, o CLP do alimentador envia um sinal de confirmação para o sistema de controle da máquina, autorizando o início da operação de retificação.

Essa troca de sinais entre os sistemas permitiu aumentar a confiabilidade operacional do processo, garantindo sincronismo entre alimentação, posicionamento e usinagem das peças, além de contribuir para a redução de falhas e aumento da produtividade.

4.3.2.3 Lógica Operacional da Retífica BC80 N° 4

1. Ao ligar o rebolo de arraste, simultaneamente liga a lubrificação do mancal e a unidade hidráulica de acionamento da mesa (R5).
2. Ao ligar o rebolo de corte, espera a confirmação do pressostado para partir o motor de corte.
3. A unidade de lubrificação centralizada ficara ligada sempre que a máquina estiver energizada.

4. Temos um botão start para acionar a válvula hidráulica de avanço do cilindro do R5.
5. Temos um stop para o retorno do cilindro do R5.
6. Temos um emergência que retornava o cilindro do R5 e para os rebolos.
Obs. A lubrificação do mancal deve permanecer ligada por 5 minutos.
7. Quando o cilindro do R5 for acionado, em um percurso será acionado um sensor que irá acionar outra válvula hidráulica na qual irá mudar a velocidade do cilindro do R5.
8. Quando o o Cilindro do R5 chegar no fim de curso irá acionar outro sensor que permanecera parado por um tempo (sparkout). Apor este tempo o cilindro deve retornar.
9. Temos uma chave rotativa que seleciona o modo de trabalho (ciclo único e automático).
- 10.No modo automático a máquina possui um tempo de cilindro do R5 recuado.
- 11.O alimentador deve apenas receber sinal de máquina aberta, para fazer a alimentação e apenas acionar o start quando estiver com a cilindro alimentador recuado (esta sequência está na outra folha com o fluxograma).
- 12.O alimentador deve funcionar apenas com chave rotativa da máquina em modo manual.
- 13.No painel do operador tem um potenciômetro que controla a rotação do rebolo de arraste.
- 14.No painel do operador terá uma chave que liga ou desliga o alimentador.

Tabela 2 – Componentes e suas funções

Componente	Função
Rebolo de arraste	Movimentação da peça e acionamento dos sistemas auxiliares.
Rebolo de corte	Execução da retificação após confirmação do pressostato.
Unidade hidráulica R5	Movimentação da mesa/cilindro de trabalho.
Sensores de percurso	Alteração de velocidade e detecção de fim de curso.
Pressostato	Confirmação das condições hidráulicas para partida.
Potenciômetro	Ajuste da rotação do rebolo de arraste.
Alimentador automático	Alimentação sincronizada das peças.

Fonte: O próprio autor.

4.3.3 Sistema de Controle Dimensional e Qualidade

O controle dimensional das peças produzidas permanece sendo uma etapa fundamental do processo de retificação, uma vez que a máquina é responsável pelo acabamento final dos componentes fabricados.

Antes da automação, a necessidade de realizar medições periódicas obrigava a interrupção frequente da produção, reduzindo significativamente a produtividade do equipamento. Com a implementação do alimentador automático, tornou-se possível manter o processo produtivo em funcionamento contínuo enquanto o operador realiza as inspeções dimensionais programadas. As verificações são realizadas por meio de calibradores do tipo passa/não passa e instrumentos de medição adequados às tolerâncias exigidas pelo processo produtivo. Essas inspeções permitem acompanhar o desgaste gradual dos rebolos e garantir que as peças produzidas permaneçam dentro dos limites dimensionais especificados.

Dessa forma, o sistema automatizado contribuiu não apenas para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da estabilidade dimensional, redução da variabilidade do processo e manutenção dos padrões de qualidade exigidos pela aplicação industrial

Figura 2 – Sistema de Alimentação Automático



Fonte: O próprio autor.

Figura 3 – Prisma para caída da peça e guia linear



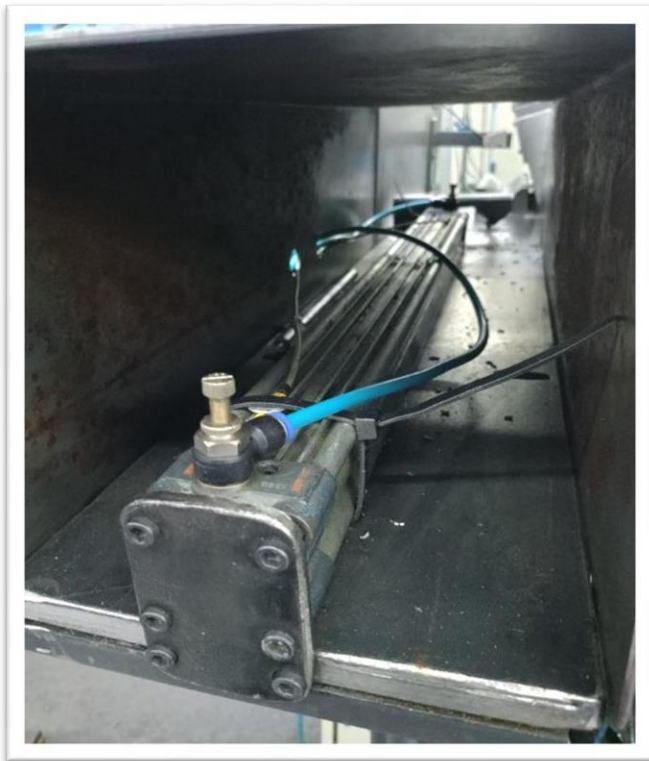
Fonte: O próprio autor.

Figura 4 – Trocador para alimentar uma peça por vez



Fonte: O próprio autor.

Figura 5 – Cilindro alimentador



Fonte: O próprio autor.

4.3.4 Sistema de Transporte e Inspeção das Peças

Além do sistema de alimentação automática, foi desenvolvido um sistema de transporte das peças após o processo de retificação. Para isso, foram utilizadas esteiras responsáveis por conduzir os componentes usinados até a região de inspeção e armazenamento.

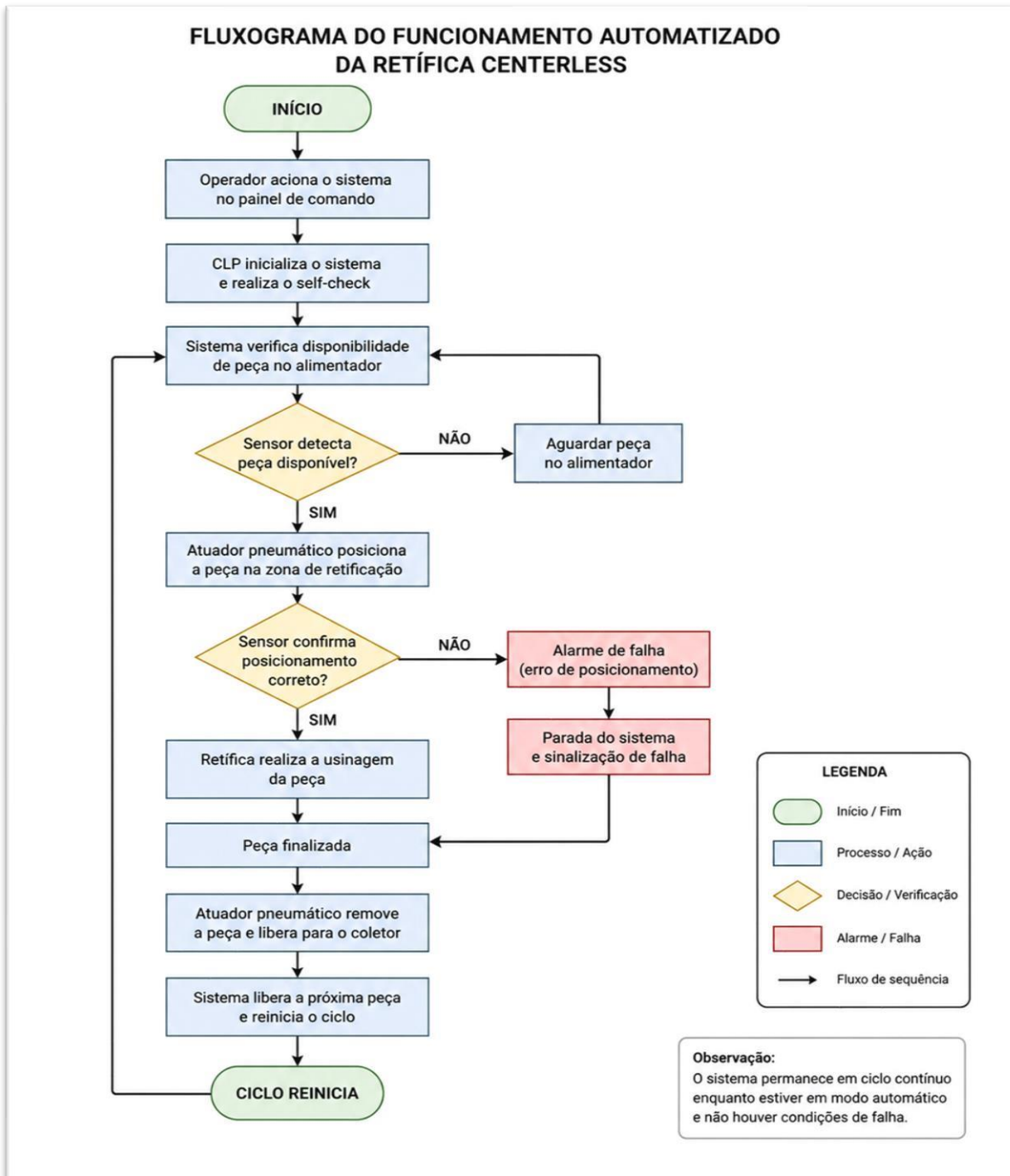
Após a saída da retífica, as peças são direcionadas para uma esteira transportadora que conduz os componentes até um sistema de verificação dimensional. Nessa etapa, um calibrador do tipo passa/não passa auxilia na identificação de possíveis desvios dimensionais decorrentes do desgaste dos rebolos ou de falhas no processo de usinagem.

Essa solução permitiu reduzir o risco de envio de peças fora de especificação para as etapas seguintes da produção, além de facilitar o trabalho do operador durante as inspeções de qualidade.

4.3.5 Fluxograma Operacional do Sistema

A Figura 5 apresenta o fluxograma de funcionamento do sistema automatizado desenvolvido. O diagrama representa a sequência lógica executada pelo CLP desde a inicialização do sistema até a alimentação, retificação, retirada da peça e reinício do ciclo produtivo.

Figura 6 – Fluxograma do funcionamento da Retífica Centerless.



Fonte: O próprio autor.

Após o retrofit:

- Um único operador passou a operar duas máquinas simultaneamente
- A produção por operador aumentou para 440 peças/h
- O fluxo de peças tornou-se contínuo e padronizado
- Reduziu-se o risco de marcas, falhas de acabamento e variabilidade dimensional

Além disso, com a alimentação constante, o operador consegue realizar medições periódicas exigidas a cada 1 hora sem interromper a produção, o que antes era impossível devido à operação manual.

Outro ponto importante é que o sistema não exige conhecimento técnico avançado por parte do operador, já que toda a lógica de controle é executada pelo CLP, que comanda válvulas pneumáticas e interpreta os sensores instalados.

4.4 Limitações e Pontos Críticos

Embora a automação tenha ampliado a eficiência geral, alguns pontos de atenção foram identificados:

- A retífica utiliza elevado volume de lubrificação durante o processo, o que gera grande quantidade de névoa de óleo.
- Essa névoa acelera a corrosão de conexões, mangueiras, sensores e componentes pneumáticos, aumentando a necessidade de manutenção preventiva.
- Recomenda-se inspeção periódica de todos os pontos de pneumática e sensores para evitar perda de precisão ou falhas de acionamento.

4.4.1 Recomendações de Manutenção Preventiva

Para garantir a confiabilidade e a continuidade operacional do sistema automatizado, recomenda-se a adoção de um plano de manutenção preventiva contemplando inspeções periódicas dos componentes mecânicos, elétricos e pneumáticos instalados no equipamento.

Entre as principais atividades recomendadas destacam-se a verificação do funcionamento dos sensores ópticos, sensores magnéticos e sensores de proximidade, garantindo que os sinais enviados ao CLP permaneçam dentro das condições normais de operação. Também é importante realizar inspeções periódicas nas válvulas pneumáticas, cilindros, mangueiras e conexões, a fim de identificar possíveis vazamentos ou desgastes que possam comprometer o desempenho do sistema.

Devido à presença constante de fluido refrigerante e partículas provenientes do processo de retificação, recomenda-se a limpeza periódica dos sensores, guias lineares, estruturas de apoio e componentes pneumáticos. Essa prática contribui para evitar falhas de leitura, travamentos mecânicos e redução da vida útil dos equipamentos.

No sistema elétrico, devem ser realizadas inspeções nas conexões, bornes, cabos e dispositivos de proteção instalados no painel de comando, verificando possíveis sinais de aquecimento, oxidação ou afrouxamento das conexões. A execução dessas atividades de manutenção preventiva contribui para o aumento da disponibilidade da máquina, redução de paradas não programadas, maior vida útil dos componentes e preservação dos ganhos produtivos obtidos após a implementação da automação indicado na tabela abaixo.

Tabela 3 – Itens e periodicidade de verificações

Item	Frequência	Verificação
Sensores	Semana	Limpeza e funcionamento
Mangueiras	Mensal	Vazamentos
Cilindros	Mensal	Curso e vedação
Painel elétrico	Trimestral	Conexões
Guias lineares	Mensal	Limpeza

Fonte: O próprio autor.

4.5 Cálculos Preliminares

Os principais cálculos estimados para o desenvolvimento do projeto envolvem:

- Dimensionamento da corrente e potência dos motores
- Capacidade do CLP em número de entradas e saídas
- Tempo de ciclo da alimentação e retificação
- Pressão e vazão adequadas do sistema pneumático
- Análise de produtividade antes e depois da automação

4.6 Análise de eficiência energética e viabilidade econômica

Com base nos parâmetros técnicos levantados e nos cálculos preliminares apresentados, torna-se relevante avaliar os impactos da automação não apenas sob o ponto de vista operacional, mas também em termos de eficiência energética e viabilidade econômica. Dessa forma, apresenta-se a seguir uma análise quantitativa considerando o regime real de operação da empresa.

A modernização das quatro retificadoras centerless foi analisada sob a ótica da eficiência energética, utilizando como base os dados técnicos nominais do motor de alimentação anteriormente utilizado: modelo WEG W22, com potência de 1,5 kW (2,0 cv), tensão de 220 V, corrente nominal de 6,00 A e fator de potência de 0,78.

A potência ativa demandada pelo motor foi determinada pela expressão:

$$P = V \times I \times \cos(\varphi)$$

Substituindo os valores nominais, obtém-se uma potência aproximada de 1,03 kW por motor em operação.

Considerando um regime de funcionamento em dois turnos de 8 horas (totalizando 16 horas diárias), durante 22 dias mensais e adotando um fator de carga de 70%, o consumo mensal estimado por motor é dado por:

$$\text{Consumo} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times \text{Fator de carga}$$

$$\text{Consumo} = 1,03 \times 16 \times 22 \times 0,7 \approx 253,79 \text{ kWh/mês}$$

Adotando uma tarifa média industrial de R\$ 0,95 por kWh, a economia direta de energia elétrica por máquina é de aproximadamente R\$ 241,10 mensais. Considerando as quatro máquinas submetidas ao retrofit, a redução anual de consumo elétrico atinge aproximadamente 12.182 kWh, resultando em uma economia anual de cerca de R\$ 11.572,90.

4.6.1 Otimização de Custos Operacionais e Mão de Obra

O impacto mais significativo na eficiência econômica do projeto decorre da automação das etapas de alimentação, posicionamento e retirada das peças. Em regime de dois turnos, cada máquina exigia anteriormente dois operadores auxiliares (um por turno). Com a implementação do sistema automatizado com atuadores pneumáticos, essa necessidade foi eliminada.

Considerando um custo médio mensal de R\$ 2.800,00 por operador, a economia de mão de obra por máquina é de R\$ 5.600,00 mensais. Para as quatro máquinas modernizadas, isso representa uma redução mensal de R\$ 22.400,00 e uma economia anual de R\$ 268.800,00.

4.6.2 Análise do Retorno Sobre o Investimento (ROI)

A viabilidade econômica de projetos de automação industrial pode ser avaliada por meio do cálculo do Retorno Sobre o Investimento (ROI) e do período de retorno do capital investido (payback). Esses indicadores permitem verificar em quanto tempo os recursos aplicados na modernização do equipamento são recuperados pelos ganhos operacionais obtidos após a implementação da solução.

Considerando os ganhos financeiros estimados com a redução do consumo de energia elétrica e, principalmente, com a otimização da utilização da mão de obra, observou-se uma economia anual aproximada de R\$ 280.372,90 para o conjunto das quatro máquinas modernizadas.

Admitindo-se um investimento estimado de R\$ 80.000,00 para desenvolvimento, fabricação, instalação e comissionamento do sistema automatizado nas quatro retificadoras, o cálculo do retorno sobre o investimento pode ser realizado pela Equação 1.

Equação 1 – Retorno sobre o investimento (ROI)

$$ROI = \frac{\text{Ganho Anual} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}} \times 100$$

Substituindo os valores obtidos:

$$ROI = ((280.372,90 - 80.000,00) \div 80.000,00) \times 100$$

$$ROI \approx 250,47\%$$

Esse resultado demonstra que o valor investido no projeto é recuperado integralmente durante o primeiro ano de operação, apresentando retorno financeiro expressivo e comprovando a viabilidade econômica da solução proposta.

O período de retorno do investimento (payback) pode ser estimado dividindo-se o valor investido pela economia mensal gerada pelo sistema automatizado.

Equação 2 – Payback

$$Payback = \frac{Investimento}{Economia\ Mensal}$$

Considerando a economia mensal de aproximadamente R\$ 23.364,40, obtém-se:

$$Payback = 80.000,00 \div 23.364,40$$

$$Payback \approx 3,42 \text{ meses}$$

Dessa forma, conclui-se que o investimento realizado apresenta retorno em aproximadamente três meses e meio de operação, caracterizando o retrofit como uma solução economicamente atrativa e tecnicamente justificável para aplicação em equipamentos industriais similares.

O quadro a seguir consolida os ganhos financeiros do projeto:

Tabela 4 – Economia após implantação

Item de economia	Impacto por máquina	Total 4 maq.	Economia anual
Energia Elétrica	R\$241,10	R\$964,40	R\$11.572,90
Mão de Obra	R\$5.600,00	R\$22.400,00	R\$268.800,00
TOTAL	R\$5.841,10	R\$23.364,40	R\$280.372,90

Fonte: O próprio autor.

Os resultados demonstram que a eficiência energética, quando associada à automação de processos em regimes de alta utilização, contribui diretamente para a maximização da rentabilidade do ativo industrial. A substituição do sistema de alimentação manual por atuadores pneumáticos reduziu a carga

instalada, eliminou perdas associadas à variabilidade humana e proporcionou maior estabilidade ao processo produtivo.

Dessa forma, observa-se que o retrofit implementado apresenta um curto período de retorno (payback), consolidando-se como uma solução tecnicamente viável e economicamente vantajosa, além de reforçar o potencial de replicação da solução em outras máquinas da linha produtiva.

4.7 Resultados Obtidos e Análise de Desempenho

Após a implementação do sistema de automação na retífica Centerless, foram observadas melhorias significativas no desempenho operacional, produtividade e estabilidade do processo produtivo. A automação reduziu a dependência da intervenção manual do operador durante a alimentação das peças, tornando o processo mais contínuo, seguro e eficiente.

Com a utilização de sensores, atuadores pneumáticos e controle por CLP, a alimentação passou a ocorrer de forma automática e sincronizada com o funcionamento da máquina, reduzindo falhas operacionais, variações de posicionamento e perdas de tempo entre os ciclos de usinagem.

Além disso, observou-se melhoria na qualidade dimensional das peças produzidas, contribuindo para maior estabilidade nos parâmetros de rugosidade, circularidade e diâmetro externo.

Do ponto de vista ergonômico, a automação reduziu a necessidade de movimentos repetitivos anteriormente executados pelos operadores durante a alimentação manual da máquina, melhorando as condições de trabalho e reduzindo riscos associados ao esforço contínuo.

Antes da automação, cada retífica apresentava produção média de aproximadamente 110 peças por hora, exigindo um operador exclusivo por equipamento. Após a implantação do sistema automatizado, a capacidade produtiva passou para aproximadamente 220 peças por hora, representando um aumento de 100% da produtividade.

Adicionalmente, a automação permitiu que um único operador passasse a supervisionar duas máquinas simultaneamente, elevando a produtividade total por operador para aproximadamente 440 peças por hora, sem comprometimento da qualidade do processo.

Os resultados demonstram que a automação aplicada ao processo de retificação Centerless proporcionou ganhos expressivos em produtividade, repetibilidade, estabilidade operacional e redução da interferência humana como mostra na tabela abaixo.

Tabela 5 – Produtividade antes e após automação

Parâmetro	Antes da Automação	Após Automação
Produção por máquina	110 peças/h	220 peças/h
Operadores por turno	2	1
Produção por operador	110 peças/h	440 peças/h
Alimentação	Manual	Automatizada
Repetibilidade	Moderada	Alta
Intervenção Humana	Elevada	Reduzida

Fonte: O próprio autor.

4.7.1 Impactos Ergonômicos da Automação

Além dos ganhos produtivos e operacionais, a implementação do sistema automatizado proporcionou melhorias significativas nas condições ergonômicas dos operadores envolvidos no processo de retificação.

Antes da automação, o operador era responsável por alimentar manualmente a retífica de forma contínua, posicionando individualmente cada peça para usinagem. Além dessa atividade, também realizava medições dimensionais periódicas, organizava as peças produzidas e acompanhava constantemente o funcionamento da máquina. Essas atividades exigiam movimentos repetitivos dos membros superiores, deslocamentos frequentes e elevado nível de atenção durante todo o turno de trabalho.

Com a implantação do alimentador automático, a necessidade de intervenção constante foi significativamente reduzida. O operador passou a concentrar suas atividades principalmente no abastecimento periódico da rampa de alimentação, monitoramento do processo e realização dos controles dimensionais exigidos pelo sistema de qualidade.

A redução da repetitividade operacional contribuiu para diminuir a fadiga física associada ao processo produtivo, além de proporcionar melhores condições para execução das atividades de inspeção e controle. Dessa forma, o

sistema automatizado não apenas aumentou a produtividade da linha, mas também promoveu melhorias nas condições de trabalho, reduzindo esforços desnecessários e tornando a operação mais segura e eficiente.

Sob o ponto de vista ergonômico, a automação permitiu melhor aproveitamento da mão de obra disponível, possibilitando que um único operador supervisionasse duas máquinas simultaneamente sem aumento da carga física de trabalho, contribuindo para maior conforto operacional e melhor utilização dos recursos humanos da empresa.

5. CRONOGRAMA

O cronograma a seguir apresenta o planejamento das etapas de desenvolvimento do projeto, desde o levantamento inicial até a entrega final do relatório técnico.

Etapa	Atividade	Mês
1	Levantamento técnico e diagnóstico do equipamento	Fevereiro
2	Desenvolvimento do circuito elétrico e lista de materiais	Março
3	Programação do CLP e testes de bancada	Abril
4	Integração com sensores, atuadores e supervisor	Maior
5	Testes finais e ajustes de operação	Junho
6	Documentação e apresentação final	Julho

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a automação aplicada à retífica Centerless apresentou desempenho satisfatório tanto sob o aspecto produtivo quanto operacional.

A substituição da alimentação manual por um sistema automatizado composto por CLP, sensores e atuadores pneumáticos permitiu reduzir falhas operacionais, melhorar a repetibilidade do processo e aumentar significativamente a capacidade produtiva da linha.

Os resultados demonstraram aumento da produção de 110 para 220 peças por hora, representando ganho produtivo de aproximadamente 100%.

Além disso, a possibilidade de um operador supervisionar duas máquinas simultaneamente elevou a produtividade para aproximadamente 440 peças por operador, promovendo otimização dos recursos humanos.

Também foram observados benefícios relacionados à ergonomia, estabilidade dimensional e redução da interferência humana no processo.

Dessa forma, o retrofit implementado demonstrou viabilidade técnica e econômica, evidenciando o potencial da automação industrial como ferramenta para aumento da competitividade e modernização dos processos produtivos.

7. Referências

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

BOLTON, W. Automação Industrial. 6. ed. São Paulo: Bookman, 2022.

BONACORSO, N. G.; NOLL, V. Automação eletropneumática. 12. ed. São Paulo: Érica, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Brasília, 2022.

CAPELLI, A. Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C. Usinagem dos Materiais. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2019.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Frankfurt: National Academy of Science and Engineering, 2013.

NISE, N. S. Sistemas de Controle em Engenharia. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2021.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. 8. ed. São Paulo: Érica, 2011.

WEG. Motores elétricos trifásicos W22: catálogo técnico. Jaraguá do Sul: WEG, 2023.