

RETROFIT DE MÁQUINA DE REBITAGEM MANUAL: INTEGRAÇÃO DE AUTOMAÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

Jonas Cézar¹, Talis Piovesan²

Instituto Federal Farroupilha *Campus* Panambi, Panambi-RS, Brasil

e-mail: jonas.2022009365@aluno.iffar.edu.br

Resumo – Manter a qualidade dos produtos é crucial para assegurar a competitividade no mercado. Para isso, é necessário contar com máquinas automatizadas, além de uma equipe qualificada para atender com eficiência às demandas de produção. Uma solução para evitar o alto custo de aquisição de novos equipamentos é o *retrofit* de máquinas, que consiste em atualizar tecnologicamente e restaurar a capacidade produtiva original, incluindo a implementação de sistemas de automação e aprimoramentos em segurança. Esse processo reduz significativamente a chance de falhas inesperadas, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade das máquinas. Este trabalho tem como objetivo demonstrar o planejamento, desenvolvimento, implementações, testes, validações e treinamentos de um projeto de *retrofit* em uma máquina de uma indústria metalúrgica. A decisão foi tomada com base na economia de custos em comparação à aquisição de novos equipamentos, ao mesmo tempo que assegura maior automação, segurança e eficiência nos processos produtivos, garantindo a continuidade e qualidade da fabricação.

Palavras-Chave – Automação, Segurança, Qualidade, *Retrofit*.

RETROFIT OF MANUAL RIVETING MACHINE: INDUSTRIAL AUTOMATION INTEGRATION FOR PROCESS OPTIMIZATION

Abstract – Maintaining product quality is crucial to ensuring market competitiveness. To achieve this, it is necessary to have automated machines and a qualified team to efficiently meet production demands. One solution to avoid the high cost of purchasing new equipment is machine retrofitting, which consists of technologically updating and restoring original production capacity, including the implementation of automation systems and safety improvements. This process significantly reduces the chance of unexpected failures, increasing machine reliability and availability. This work aims to demonstrate the planning, development, implementation, testing, validation and training of a retrofit project on a machine in a metallurgical industry. The decision was made based on cost savings compared to purchasing new equipment, while ensuring greater automation, safety and efficiency in production processes, guaranteeing manufacturing continuity and quality.

Keywords – Automation, Safety, Quality, *Retrofit*.

NOMENCLATURA

CLP	Controlador lógico programável
IHM	Interface homem máquina
CAN	Protocolo de comunicação serial síncrono
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
VCA	Tensão em corrente alternada
VCC	Tensão em corrente contínua
A	Ampere
RPM	Rotações por minuto
NR	Norma Regulamentadora
AET	Análise Ergonômica de Trabalho
ISO	Organização Internacional de Normalização
Bar	Unidade de Pressão
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional

I. INTRODUÇÃO

Para as grandes indústrias metal mecânicas, a eficiência produtiva e a competitividade dependem do desempenho e segurança de equipamentos em operação. No entanto, o grande desenvolvimento tecnológico e a crescente exigência do mercado levam as empresas que utilizam maquinário obsoleto a enfrentarem umas das maiores dificuldades. Logo, torna-se necessário descobrir alternativas integradas entre modernização tecnológica e o custo-benefício. Um exemplo prático é a máquina de rebite manual utilizada para vincular peças de metal. As empresas enfrentam duas alternativas estratégicas: adquirir uma máquina nova, ou oportunizar o *retrofit* da máquina e dos sistemas existentes tanto com a utilização da mão de obra da própria empresa, ou contratação de empresas especializadas em adaptações tecnológicas de máquinas industriais.

A aquisição de uma nova máquina pode atender às demandas atuais de forma eficiente, porém, envolve altos custos de compra, instalação e treinamento dos operadores. Por outro lado, a modernização de uma máquina existente, conhecida como *retrofit* [1], frequentemente se destaca como uma solução econômica e tecnicamente viável. No caso da máquina de rebite manual, os principais desafios incluem baixa precisão, ausência de conectividade tecnológica e a utilização de componentes obsoletos. Esses fatores comprometem tanto a produtividade quanto a segurança operacional, aumentando os riscos de falhas e acidentes. Portanto, a modernização por meio do *retrofit* apresenta-se como uma alternativa significativamente mais vantajosa, oferecendo melhorias tecnológicas, maior eficiência e segurança com um custo mais acessível.

O *retrofit* é caracterizado como a reforma e a modernização de uma máquina, pela qual componentes desgastados são

substituídos e novas tecnologias são implementadas. Este procedimento é capaz de devolver ao equipamento sua capacidade original, além de proporcionar melhorias tais como atualizações tecnológicas dos sistemas, tornando a máquina e o sistema como um todo menos propensos a falhas inesperadas e necessitando, assim, de manutenções corretivas. Assim a máquina modificada tecnologicamente em comparação com a máquina manual de rebiteagem, possibilitará não apenas a substituição de componentes obsoletos tais como motores antigos, mas, também a implementação de tecnologias que trazem consigo maior conectividade e maior automação, adequando-a, assim, aos requisitos da Indústria 4.0 [2].

O *retrofit* comporta uma gama de vantagens estratégicas, como a automatização dos processos anteriormente manuais, levando à flexibilidade e à eficiência operacional. Assim, a integração de tecnologias de ponta, como sistemas de controle automatizado e interfaces homem-máquina (IHM), habilita o equipamento às exigências da Indústria 4.0, garantindo um expressivo avanço da conectividade e do monitoramento em tempo real. Esses avanços colaboram não apenas para a melhoria da produtividade, mas também para a diminuição dos custos operacionais: eles contemplam menor frequência das paradas não programadas. No contexto da máquina de rebiteagem, essa modernização não apenas diminui a duração dos tempos de *setup* e as paradas para manutenção, mas também garante uma melhoria da precisão operacional ao operar com sistemas automatizados e com interfaces mais intuitivas, com o advento, por exemplo, de uma IHM. Outro domínio que se beneficia é a segurança operacional, uma vez que a modernização traz sistemas mais desenvolvidos e conformidade legal, com a NR-12, oferecendo maior proteção aos operadores e uma maior confiabilidade no processo produtivo. Das alternativas apresentadas, o *retrofit* mostra-se a mais vantajosa sob a ótica financeira, com um retorno sobre o investimento em um curto a médio prazo, além do benefício econômico traz melhorias essenciais, tais como [3]:

- Automação de processos manuais;
- Diminuição dos tempos de *setup*;
- Redução de paradas para manutenção;
- Simplicidade de operação com interface (IHM);
- Elevação da segurança operacional NR-12;
- Melhorias no sistema mecânico da máquina;
- Habilidade para atender a novas demandas de produção;
- Aumento da produtividade.

Este projeto será desenvolvido em uma máquina (Fig. 1) de uma empresa do ramo metal mecânico que fornece peças para as linhas automotiva, rodoviária, agrícola e de construção. Desse modo, o objetivo principal deste projeto é a automação da máquina para que possa realizar as operações no atendimento aos requisitos necessários, com o objetivo de evitar acidentes, melhorar a ergonomia e facilitar a operação. A modernização incluirá a criação de telas intuitivas na IHM, permitindo a operação manual ou automatizada, assim como a geração de alarmes e de diagnósticos em tempo real. As intervenções do *retrofit* normalmente abrangem atualizações eletroeletrônicas para a substituição de componentes obsoletos, cumprimento das normas de segurança, como a NR-12, e, em alguns casos, melhorias de natureza estética para

serviços de carenagem e pintura, que são prestados por empresas parceiras [4]. Além disso, possibilita que os detalhes relativos às intervenções sejam determinados, em parte, conjuntamente com os clientes, para que as modificações atendam aos requisitos operacionais e regulamentos técnicos.

A proposta deste projeto distingue-se por adotar uma abordagem integral, na qual todas as etapas de modernização serão conduzidas internamente pela equipe técnica da empresa. Esse modelo de execução oferece vantagens estratégicas, como maior controle sobre o cronograma e a qualidade do processo, eliminando a dependência de fornecedores externos. Além disso, a execução interna possibilita ajustes personalizados de forma mais ágil, resultando em uma solução adaptada às necessidades específicas do cliente, com otimização de custos e tempo. Além disso, enquanto muitos processos de *retrofit* visam apenas recuperar a funcionalidade básica dos equipamentos ou cumprir requisitos normativos, a proposta aqui apresentada vai além, priorizando a integração de tecnologias avançadas, como sistemas de controle de última geração e conectividade alinhada aos conceitos da Indústria 4.0. A possibilidade de realizar testes diretamente na linha de produção garante que a solução final não apenas atenda aos requisitos técnicos, mas também seja plenamente funcional no ambiente de trabalho real, assegurando máxima eficiência e confiabilidade ao processo produtivo.



Figura 1. Máquina de rebiteagem manual para travessa atual.

II. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A rebiteagem, amplamente utilizada na indústria, é uma alternativa eficiente e econômica em relação à soldagem e ao uso de parafusos, especialmente quando não é possível acessar simultaneamente as duas faces das peças a serem unidas. Um processo de rebiteagem bem executado garante a fixação firme dos componentes metálicos [5]. Para otimizar esse processo e

umentar a produtividade, emprega-se a máquina de rebite manual, que assegura a união eficiente das peças (Fig. 2), mantendo-as em um estado "fixo".



Figura 2. Representação das peças metálicas que serão unidas por meio do processo de rebiteagem.

O processo de rebiteagem manual caracteriza-se, essencialmente, pela aplicação de uma força mecânica sobre o rebite (Fig. 3), de modo que este se deforme e se ajuste às peças que devem ser unidas. A pressão necessária para a realização desse processo pode atingir até 210 bar, sendo suficiente para garantir a fixação duradoura das peças [6].



Figura 3. Rebite Ferro maciço cabeça redonda 12X36.

A operação manual, por sua vez, exige grande esforço físico do operador, que deve manipular peças pesadas, com um peso total que pode chegar a 18 kg, o que contribui para uma sobrecarga ergonômica significativa. Assim esse esforço repetitivo durante longos períodos pode acarretar riscos à saúde do trabalhador, conforme NR-17.

“Nas atividades que exijam sobrecarga muscular estática ou dinâmica do tronco, do pescoço, da cabeça, dos membros superiores e dos membros inferiores, devem ser adotadas medidas técnicas de engenharia, organizacionais e/ou administrativas, com o objetivo de eliminar ou reduzir essas sobrecargas, a partir da avaliação ergonômica preliminar ou da AET” [7].

A combinação de esforço físico intenso e a dependência da habilidade manual do operador resultam em um processo mais demorado, com um ciclo de rebiteagem de aproximadamente 18 minutos para a montagem das peças e a aplicação de 12 rebites necessários.

Além do impacto direto na produtividade, o ciclo de produção prolongado resulta em um baixo índice de aproveitamento da máquina, uma vez que o número de peças que podem ser processadas por turno é reduzido. Esse fator se torna ainda mais crítico quando se busca atender a demandas de produção crescentes e quando a competitividade no mercado exige respostas mais rápidas e eficientes. A limitação de produtividade também impacta diretamente os custos operacionais, uma vez que a empresa perde eficiência e acaba utilizando mais recursos (tempo, mão-de-obra e energia) para produzir a mesma quantidade de peças.

O processo de rebiteagem manual ainda enfrenta outros desafios importantes, que se manifestam principalmente na falta de precisão e na dificuldade de controle sobre o processo. Um dos principais problemas é a ausência de pontos de referência adequados na máquina para a montagem das peças, o que pode resultar em erros durante a operação. Essa falta de precisão pode levar a peças mal montadas ou rebiteadas fora de posição, comprometendo a qualidade final do produto. A variabilidade na execução do processo, resultante da habilidade do operador, também dificulta a padronização da produção, fator crucial para manter altos níveis de qualidade e para assegurar a consistência nas operações.

Além disso, o desgaste dos componentes mecânicos da máquina é um fator recorrente que prejudica a operação. As peças que compõem a máquina de rebiteagem, como pistões, molas e outros mecanismos de ação, estão sujeitas ao desgaste devido ao uso contínuo, o que pode comprometer o desempenho e a confiabilidade do equipamento. A falta de manutenção preventiva eficaz contribui para o aumento das falhas operacionais, aumentando o tempo de inatividade e os custos associados à reparação do equipamento.

Os problemas mais críticos enfrentados pela máquina de rebiteagem manual incluem:

- **Baixa precisão no processo:** A ausência de sistemas de controle automático resulta em uma variabilidade na qualidade das peças, com erros de posicionamento ou falhas na deformação dos rebites.

- **Esforço físico elevado:** O peso das peças, aliado à necessidade de manipulação manual, leva a um aumento da carga física sobre o operador, o que pode resultar em desgaste físico e, com o tempo, aumentar o risco de lesões ocupacionais.

- **Produtividade reduzida:** O longo tempo de ciclo de produção e a dependência de operações manuais contribuem para uma menor capacidade de processamento de peças, o que limita a produção por turno e afeta a competitividade da empresa no mercado.

- **Falta de automatização:** A máquina, embora equipada com um CLP, não apresenta um sistema integrado de automação que poderia acelerar e melhorar a precisão do processo. A falta de conectividade entre os componentes, como a ausência de um sistema de IHM e de controle automatizado de eixos e posicionamento, impede a criação de um sistema de produção flexível e de fácil ajuste.

- **Falta de informações sobre falhas e status da máquina:** A ausência de sistemas de monitoramento em tempo real dificulta a detecção precoce de falhas e a realização de manutenção preventiva. Isso resulta em mais tempo de inatividade do equipamento e eleva os custos operacionais.

- **Falta de segurança:** A máquina não está devidamente alinhada com as exigências da NR-12, que regulamenta a segurança no uso de máquinas e equipamentos no Brasil. Isso representa um risco potencial à integridade física dos operadores, dado que as medidas de proteção e os dispositivos de segurança não estão adequadamente implementados.

- **Margem de erro elevada:** A falta de controle preciso no processo de rebiteagem implica em uma margem de erro considerável, afetando a qualidade final das peças e comprometendo a integridade do produto.

A modernização da máquina de rebiteagem por meio do *retrofit* é uma solução estratégica que visa aumentar a eficiência, qualidade, segurança e produtividade do processo de rebiteagem, alinhando a operação da empresa com as exigências do mercado moderno e os padrões de segurança vigentes. Além do mais, o *retrofit*, ao proporcionar uma atualização tecnológica e operacional, não apenas melhora o desempenho da máquina, mas também diminuiu os riscos associados à operação manual, permitindo que a empresa mantenha sua competitividade e se posicione de forma robusta diante das demandas do mercado industrial contemporâneo. Ainda, permitirá a personalização do projeto de modernização de acordo com as necessidades específicas da empresa.

III. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se na abordagem de estudo de caso, tendo como objeto de análise uma máquina de rebiteagem manual. O principal objetivo consistiu na identificação das deficiências do equipamento, bem como na aplicação de melhorias por meio de um processo de *retrofit*, com a integração de tecnologias modernas, a fim de assegurar maior eficiência, segurança e conformidade com os padrões vigentes. O desenvolvimento deste trabalho foi conduzido de forma sistemática, contemplando as etapas de diagnóstico, planejamento, implementação, testes e validação.

- **Planejamento e Preparação:** A fase inicial consistiu em um diagnóstico detalhado da máquina, identificando pontos críticos, como falhas mecânicas, obsolescência de componentes e ausência de conectividade.

- **Desenvolvimento do Projeto:** Foram elaborados os esquemas técnicos para as atualizações elétricas, mecânicas e hidráulicas. A modernização foi orientada pelos seguintes parâmetros:

- Automação: Implementação de CLPs e sensores avançados para controle preciso.
- Comunicação *CANopen* [8]: (protocolo de comunicação em rede, baseado no *CAN*).
- Segurança: Adaptação aos requisitos da NR-12, com instalação de cortinas de luz, sensores de segurança e botões de emergências.
- Ergonomia: Adaptação aos requisitos da NR-17, com instalação de uma talha para montagem e retirada da peça na máquina.

- **Implementação das Modificações:** A equipe interna da empresa realizou as intervenções, o que elimina custos adicionais de terceirização. Os principais avanços foram:

- Substituição de componentes desgastados.
- Integração de sensores Omron [9] para medição precisa de posicionamento.
- Instalação de uma IHM [10], permitindo o controle manual ou automático e a visualização em tempo real dos parâmetros operacionais.

- **Testes e Validação:** Após a montagem, foram realizados testes para validar o desempenho da máquina. Os sistemas de segurança e automação passaram por simulações operacionais, assegurando a conformidade com as normas e o funcionamento adequado.

- **Treinamento e Documentação:** Os operadores receberam treinamento detalhado sobre o uso da nova

interface e os sistemas automatizados. Foram elaboradas documentação técnica abrangente, com descrição dos componentes instalados e dos procedimentos de manutenção.

Soluções proposta Automação, Ergonomia e Segurança no Processo de Rebiteagem

O *retrofit* da máquina de rebiteagem se destaca pela incorporação de tecnologias compatíveis com os conceitos da Indústria 4.0, promovendo melhorias significativas em desempenho e funcionalidade. A seguir, são apresentadas as principais soluções propostas para os problemas identificados.

a) **Baixa precisão no processo:** Implementação de sistemas de controle automatizado com sensores de posição e atuadores de precisão, como servomotores (Fig. 4), para garantir o posicionamento exato das peças e a aplicação correta dos rebites.



Figura 4. Servo Drive para controle de posição

b) **Esforço físico elevado:** Revisão do *layout* da máquina e inserção de dispositivos de apoio, guias lineares, e talha elétricos para facilitar a movimentação das peças. Além disso, a automação das etapas críticas reduz a exigência física sobre o operador, promovendo melhores condições ergonômicas.

c) **Produtividade reduzida:** A elevação da produtividade foi obtida por meio da automação do ciclo de rebiteagem, utilizando CLP [11] programável para controlar as operações de forma sequencial e precisa. A redução do tempo de ciclo foi possível com a eliminação de ajustes manuais e a integração de Servo motores que otimizam do processo. A padronização aliada à diminuição de paradas não programadas e ao rápido setup via IHM, contribuiu significativamente para o aumento da capacidade produtiva.

d) **Falta de automatização:** A automatização do ciclo de trabalho, viabilizada pela integração de um sistema de controle do CLP modelo Altus XP325 (Fig. 5).

XP 325 Compacto de alta velocidade, com 16 ED, 16 SD a transistor, 5 EA V/I, 2 EA RTD, 1 porta Ethernet, 1 porta serial RS-485 e Canopen

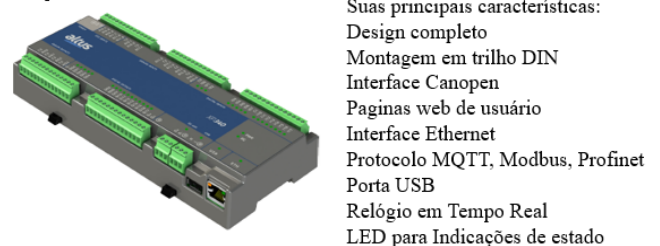


Figura 5. CLP Altus modelo XP325

Com a instalação do CLP foi possível um controle centralizado e preciso das operações de rebiteagem, por meio de programação personalizada. Essa solução eliminou a necessidade de ajustes manuais, reduzindo a variabilidade do processo e a margem de erro. Além disso, facilitou a integração com dispositivos de monitoramento contínuo dos parâmetros operacionais. Como resultado, a automação contribuiu para o aumento da produtividade, a redução de falhas e a consolidação de um processo mais eficiente, confiável e padronizado.

e) Falta de informações sobre falhas e status da máquina: Implementou-se um sistema de supervisão com coleta de dados, utilizando sensores e módulos de diagnóstico integrados ao CLP. A adoção de uma IHM (Fig. 6) com alarmes visuais e registro de falhas possibilita a identificação imediata de anomalias, facilitando a execução de manutenções preventivas e reduzindo o tempo de inatividade da máquina. Além disso, o sistema permite a criação de receitas de produção e agiliza o processo de *setup*, promovendo maior flexibilidade e eficiência operacional.



Figura 6. IHM Modelo X2 Base

f) Falta de segurança: Adequação completa da máquina à NR-12, incluindo a instalação de proteções físicas fixas, cortinas de luz (Fig. 7), botoeiras de emergência, sensores de segurança e CLP de segurança. Também é essencial realizar uma análise de risco formal e implementar sistemas de intertravamento que garantam a parada imediata da máquina em situações de risco, preservando a integridade física do operador.



Figura 7. Sensores de Segurança

g) Margem de erro elevada: Para reduzir a margem de erro, foram implementados sistemas de automação com servo motores e atuadores, controlados por meio de lógica programada no CLP. Essa automação garantiu maior padronização nas operações de rebiteagem, eliminando variações causadas por intervenções manuais. Além disso, o

monitoramento em tempo real permite ajustes imediatos no processo, aumentando a repetibilidade e assegurando a conformidade das peças com os padrões de qualidade exigidos.

h) Conectividade e Supervisão Remota: A modernização incluiu a implementação do protocolo de comunicação *CANopen* (Fig. 8), fundamental para integrar a máquina a um ambiente mais conectado e compatível com os padrões da Indústria 4.0. Esse protocolo viabiliza a comunicação entre os dispositivos da máquina. Além disso, a conectividade possibilita a supervisão remota do equipamento, o que representa um avanço estratégico para a gestão da produção.

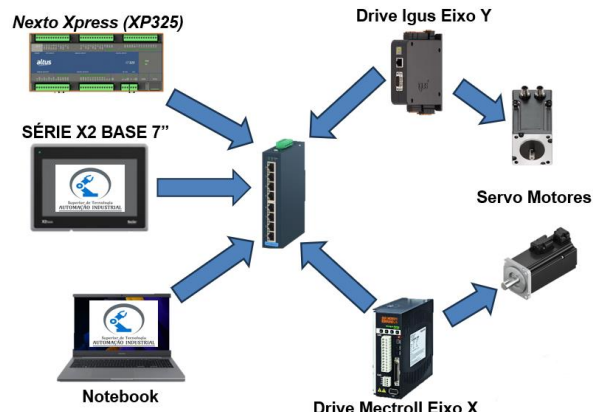


Figura 8. Rede entre equipamentos

i) Impactos no Desempenho Geral: Antes da intervenção, o processo de rebiteagem era totalmente manual (Fig.9). O operador precisava posicionar a peça na máquina, inserir os rebites, acionar o comando de início a cada ciclo e realizar o deslocamento manual da peça entre as etapas. Essa configuração resultava em ciclos de produção longos e com alta suscetibilidade a erros. A forte dependência da atuação humana comprometia a produtividade e dificultava a padronização das peças, aumentando a variabilidade do processo e limitando o desempenho do equipamento.

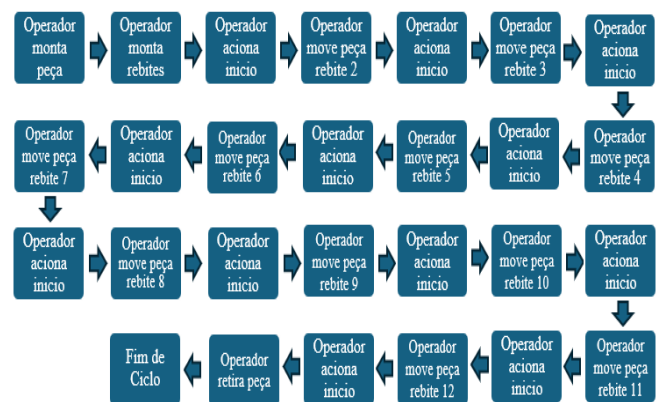


Figura 9. Fluxo operação manual.

As melhorias tecnológicas implementadas resultaram em um avanço expressivo no desempenho da máquina. Com maior automação, integração e segurança, o equipamento passou a atender integralmente aos conceitos da Indústria 4.0. A ampliação da conectividade, a redução de falhas operacionais e o aumento da produtividade contribuíram para a

padronização do processo e para a implementação de um fluxo de operação automático (Fig.10), tornando o sistema de rebiteagem mais ágil e seguro.



Figura 10. Fluxo operação automática.

IV. RESULTADOS ECONOMICOS

A análise econômica realizada evidenciou as vantagens financeiras do *retrofit* em comparação com a aquisição de uma nova máquina de rebiteagem. A compra de um novo equipamento representaria um investimento significativamente mais elevado, enquanto o *retrofit* da máquina existente apresentou um custo reduzido, distribuído entre melhorias nos sistemas mecânico, hidráulico e a atualização elétrica com automação e adequação às normas de segurança. A (Tabela 1) apresenta a comparação entre os valores estimados para a aquisição de uma nova máquina e os custos envolvidos na realização do *retrofit*.

A implementação do projeto foi conduzida integralmente pela equipe técnica interna da empresa, composta por profissionais de diferentes especialidades, totalizando um esforço estimado em dois meses de trabalho. Esse envolvimento direto permitiu a eliminação de custos com mão de obra terceirizada, contribuindo para a redução dos custos totais do projeto.

A opção pelo *retrofit* não apenas garantiu uma solução personalizada e ajustada às necessidades específicas da produção, como também possibilitou a incorporação de tecnologias atualizadas, resultando em ganhos relevantes de eficiência e confiabilidade. Com isso, reforça-se o alto retorno sobre o investimento e a atratividade da solução adotada. A (Tabela 1) apresenta a comparação entre os valores estimados para a aquisição de uma nova máquina e os custos envolvidos na realização do *retrofit*.

Tabela 1

Item	Aquisição de Nova Máquina (R\$)	Retrofitting (R\$)
Custo total do equipamento	240.000,00	130.000,00
• Sistema mecânico e hidráulico	—	70.000,00
• Atualização elétrica e automação (NR12)	—	60.000,00
Mão de obra interna	—	35.000,00
• Total de profissionais envolvidos	—	7
• Horas dedicadas (aprox.)	—	330 h (~2 meses)
Custo total com mão de obra	240.000,00	165.000,00
Economia gerada com retrofitting	—	75.000,00

V. RESULTADOS DO PROJETO

a) Projeto Mecânico: A atualização mecânica da máquina concentrou-se na modernização dos principais elementos estruturais e na otimização dos sistemas responsáveis pela aplicação de força, com o objetivo de aumentar a robustez, a precisão e a eficiência operacional. A estrutura principal da máquina foi reforçada estrategicamente para absorver e distribuir uniformemente as cargas dinâmicas geradas durante o processo de rebiteagem. O sistema de aplicação de força passou por uma reforma significativa, com a incorporação de um conjunto hidráulico (Tabela 2) de alto desempenho, dimensionado para fornecer forças de prensagem mais estáveis e com controle fino de pressão. Válvulas, sensores de pressão foram integrados ao sistema para permitir o monitoramento em tempo real e a automação dos ciclos de rebiteagem, assegurando maior repetibilidade e qualidade no processo.

Por fim, o projeto contemplou melhorias nos mecanismos de alinhamento e fixação da peça durante a operação, garantindo maior precisão no posicionamento e evitando folgas ou desalinhamentos que poderiam comprometer a integridade do rebiteado.

Tabela 2

Característica	Descrição
Pressão de trabalho nominal	210 bar
Pressão máxima admissível	250 bar
Motor elétrico	Trifásico, potência de 2 kW
Reservatório de óleo	(30 L/min)
Válvula de alívio	Ajustada para 210 bar
Manômetro	Para monitoramento da pressão
Fluido hidráulico	Óleo mineral hidráulico
Vazão típica	De 5 a 100 L/min
Temperatura de operação	-10°C a 70°C
Dispositivos de proteção	Transdutor Pressão, sensores de nível
Normas aplicáveis	ISO 4413, NR12, CE (Europa)

b) Projeto Elétrico: O projeto elétrico foi desenvolvido com foco na automação, segurança operacional e integração eficiente entre os sistemas da máquina. Ele é representado pela topologia da rede de comunicação industrial entre os equipamentos (Fig. 10) e pela representação das ligações de entradas e saídas digitais (Fig. 11), que permitem o controle em tempo real dos processos de rebiteagem e movimentação.

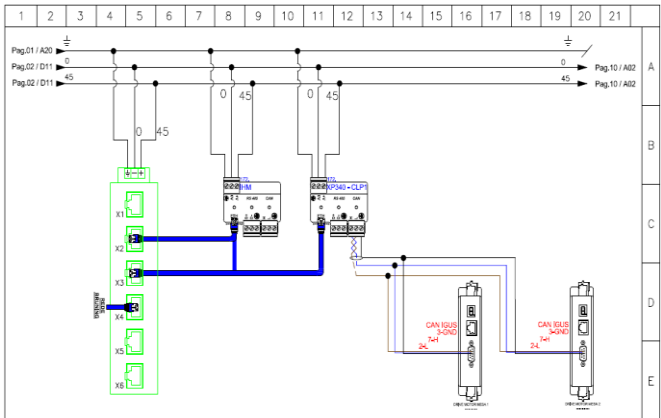


Figura 10. Esquema Elétrico Rede Comunicação

Ação	Entrada CLP	Ação	Saída CLP
Segurança OK	I00	Lampada Verde	Q00
Reserva	I01	Lampada Vermelha	Q01
Servo Eixo X OK	I02	Liga Bomba Hidraulica	Q02
Disjuntor Bomba Hidraulica	I03	Reserva	Q03
Disjuntor motor radiador oleo	I04	Reset Drive Eixo X	Q04
Motor 1 Eixo X Referenciado	I05	Habilita Eixo Y	Q05
Motor 2 Eixo X Referenciado	I06	Avança Cil. Trava	Q06
Sinal Bomba Ligada	I07	Recua Cil. Trava	Q07
Botão inicio	I10	Avança Cil. Rebite	Q10
Sensor trava avançada	I11	Recua Cil. Rebite	Q11
Sensor trava recuada	I12	Habilita Eixo X	Q12
Sensor presença de peça	I13	Reserva	Q13
Reserva	I14	Reserva	Q14
Reserva	I15	Reserva	Q15
Reserva	I16	Reserva	Q16
Reserva	I17	Reserva	Q17

Figura 11. Representação das ligações das Entradas e Saida Digitais

A modernização incluiu a substituição e o redesenho de todo o sistema de potência e controle, com ênfase em componentes que ofereçam maior precisão, confiabilidade e capacidade de diagnóstico. A atualização contemplou a substituição e integração de componentes-chave que ampliam a confiabilidade operacional, aumentam a produtividade e atendem às normas técnicas de segurança industrial.

c) Sistema de Segurança: O sistema de segurança foi totalmente reformulado para atender à NR-12 [12]. Foram instalados:

- Cortinas de luz de segurança com intertravamento, que interrompem imediatamente a operação ao detectar invasão da zona de risco.

- Chaves de segurança nas tampas e proteções móveis (Fig. 12).

- Botões de emergência (*E-Stop*) distribuídos em pontos estratégicos da máquina, ligados em série com contadores de segurança e CLP de segurança.

- CLP de segurança dedicado, integrado ao CLP para supervisão dos dispositivos de segurança, com função de parada segura.

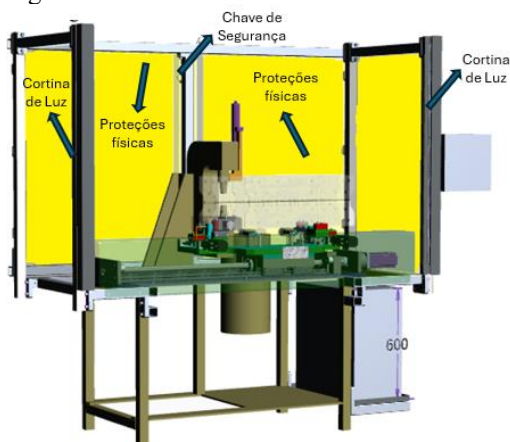


Figura 12. Proteção móveis e cortinas de segurança.

d) Chave Geral e Pannel de Potência: A alimentação do sistema é realizada por meio de uma chave geral seccionadora com bloqueio mecânico (manopla rotativa com trava para cadeado), em conformidade com a NR-10, de modo a permitir o desligamento total da máquina para intervenções seguras. O pannel elétrico foi reorganizado e estruturado com os seguintes componentes (Fig. 13):

- Disjuntores termomagnéticos e contadores com relés de sobrecarga, responsáveis pela proteção dos circuitos de potência contra curto-circuito e sobrecorrentes;
- Fontes chaveadas de 24 VDC, com proteção incorporada contra curto-circuito e sobretensão, assegurando estabilidade e segurança na alimentação dos dispositivos de controle;
- Servomotores *brushless* de alto desempenho, implementados para a movimentação, o posicionamento e o acionamento dos eixos lineares. Esses servomotores estão equipados com *encoders* absolutos de 20 bits, os quais garantem elevada precisão nas medições e no controle de posição;
- Drives digitais conectados via protocolo *CANopen*, que realizam o controle dos servomotores, permitindo comunicação em tempo real, sincronismo e integração eficiente com os demais elementos do sistema;
- Canaletas de distribuição, utilizadas para organizar os condutores elétricos, promovendo segurança operacional, facilidade de manutenção e clareza no roteamento dos cabos.

Dessa forma, a arquitetura elétrica do sistema assegura confiabilidade, precisão e conformidade com as normas técnicas aplicáveis.

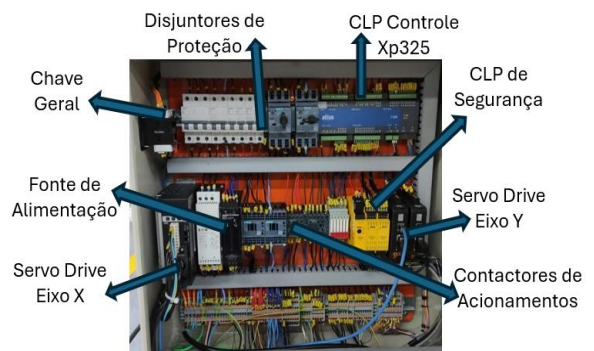


Figura 13. Pannel atual após o retrofit.

e) Funcionalidades da IHM: A instalação da IHM (Fig. 14) representa um dos principais avanços na usabilidade e no controle da máquina, permite a visualização em tempo real das informações operacionais, facilitando o monitoramento dos parâmetros críticos do processo de rebite e proporcionando intervenções rápidas e seguras por parte do operador.



Figura 14. Interface Homem-Máquina (IHM).

Sua programação foi desenvolvida no ambiente *MasterTool HMI*, totalmente compatível com o CLP, utilizado como controlador central. A comunicação entre IHM e CLP ocorre via protocolo de rede, permitindo troca de dados de forma rápida e confiável. A interface foi estruturada com telas funcionais organizadas por níveis de navegação, separando as funções conforme o perfil de acesso (operador, técnico de manutenção ou supervisor).

Entre as principais funções programadas na IHM, destacam-se:

- 1 - Monitoramento Operacional em Tempo Real das variáveis.
 - Pressão hidráulica atual (bar)
 - Tempo de ciclo (s)
 - *Status* dos sensores de posição, atuadores e dispositivos de segurança
 - Indicadores visuais e sonoros de falhas, alarmes de segurança (NR-12).
 - Configuração de Parâmetros e “Receitas”

2 - Comandos e Modos de Operação

Tela dedicada para comandos manuais e seleção do modo de operação:

- Manual (controle individual de movimentos)
- Automático (ciclo completo programado)
- Modo de manutenção
- Botões virtuais para:
 - Início/parada do ciclo
 - Rearme de falhas
 - Habilitação dos servomotores

A interface intuitiva, reduz a necessidade de intervenção técnica frequente e melhora significativamente a eficiência operacional, qualidade do produto e segurança do processo. Sua integração com o CLP permite uma arquitetura de controle robusta, escalável e pronta para futuras expansões.

f) Programação CLP Controle da Máquina: A lógica de controle da máquina de rebiteagem foi desenvolvida utilizando a linguagem *Ladder* (Fig. 15), uma das linguagens gráficas mais amplamente utilizadas na automação industrial, padronizada pela norma IEC 61131-3 [13]. Utilizou – se a linguagem *Ladder* por sua clara representação visual, facilidade de manutenção e alta aceitação entre técnicos e eletricitistas, sendo ideal para aplicações industriais onde a confiabilidade, o diagnóstico rápido e a segurança são fundamentais.

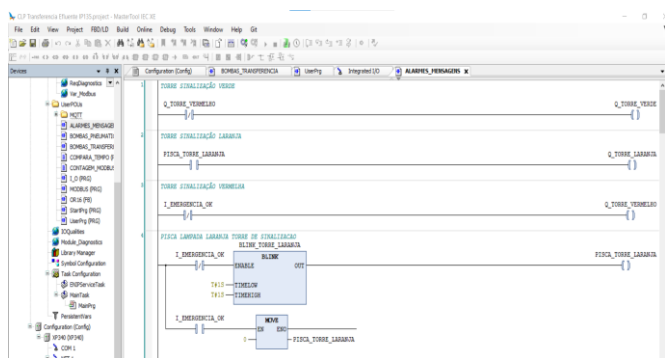


Figura 15. Software Programação Ladder.

A linguagem *Ladder* foi inspirada nos antigos esquemas de fiação de painéis elétricos, representando circuitos de relés por meio de "degraus" ou "linhas de controle". Cada linha da programação representa uma condição lógica: quando as

condições (entradas) são verdadeiras, uma ação (saída) é executada — como o acionamento de um motor, válvula, cilindro ou um sinal de alarme.

No sistema desenvolvido, o CLP executa a lógica responsável por controlar todos os elementos da máquina, incluindo:

- Principais Blocos de Função:
- Sequência de ciclo automático: Condições temporizadas para acionar o atuador de rebiteagem com controle de força, tempo e retorno seguro.
- Modo manual: Controle direto de atuadores via IHM com intertravamentos de segurança.
- Gerenciamento de receitas: Leitura de parâmetros armazenados na IHM e escrita em registradores internos.
- Supervisão de falhas e segurança: Monitoramento contínuo das entradas digitais (Fig. 16), das cortinas de luz, chaves de segurança, botoeiras de emergência e sensores de fim de curso.

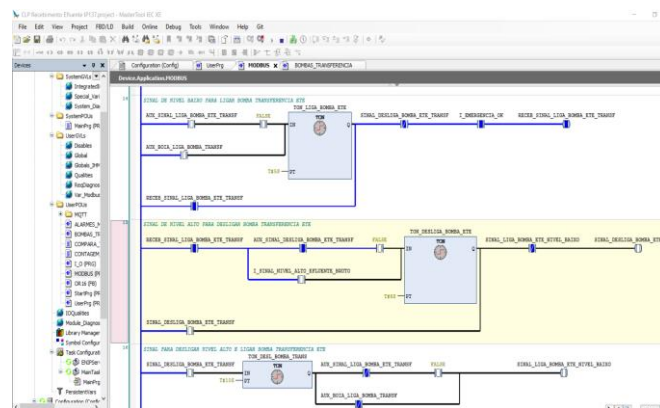


Figura 16. Monitoramento de Variáveis em Tempo Real

- Geração de alarmes: Em caso de falha, o CLP ativa saídas específicas, registra o erro na IHM e bloqueia o ciclo até que haja correção.

A lógica de controle implementada no CLP é representada por um diagrama de operação (Fig. 17), o qual integra tanto a sequência automática do ciclo de rebiteagem quanto os comandos manuais. Ao mesmo tempo, a IHM permite o monitoramento em tempo real, bem como o ajuste de parâmetros e o gerenciamento de receitas, além de exibir diagnósticos de falhas e alarmes visuais, os quais garantem a rápida identificação de anomalias, assegurando a segurança e a eficiência operacional.

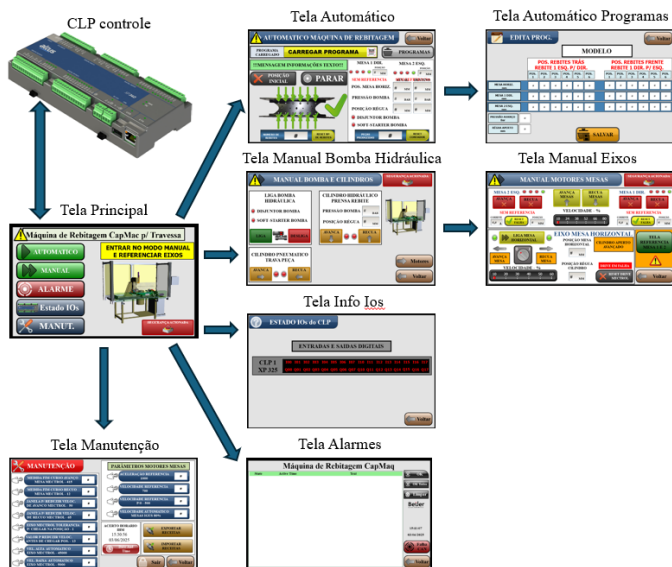


Figura 17. Fluxo de controle do CLP e IHM.

g) Programação do CLP de Segurança da Máquina: A programação de CLP de segurança é voltada para o desenvolvimento de sistemas de controle que garantem a integridade física de pessoas, máquinas e do ambiente de trabalho, atendendo a normas rigorosas de segurança funcional (Fig. 18).

Enquanto um CLP convencional controla processos industriais, um CLP de segurança é responsável por funções críticas de segurança, como paradas de emergência, monitoramento de barreiras de luz, cortinas de segurança, sensores de porta, entre outros.

É um controlador desenvolvido com arquitetura, *hardware* e *software* projetados especificamente para tolerar falhas e realizar autodiagnósticos. Ele garante que, em caso de falha, o sistema entre em estado seguro.

Ao contrário de CLPs comuns, os de segurança:

- Têm circuitos redundantes e monitoramento interno contínuo.
- Podem ser certificados para níveis de *SIL* (*Safety Integrity Level*) ou *PL* (*Performance Level*).
- Utilizam linguagens de programação específicas para segurança.

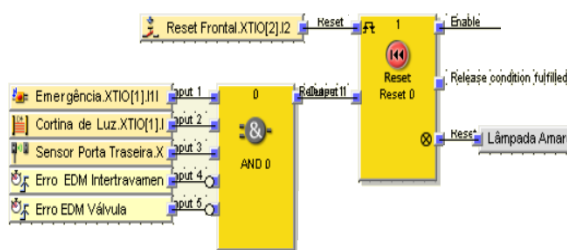


Figura 18. Software Programação CLP Segurança

h) Proteções e dispositivos de segurança segundo NR-12: A integração entre os sistemas mecânicos e elétricos foi um dos pilares do sucesso do *retrofit*. A sincronização entre servomotores, atuadores hidráulicos e sensores garantiu uma operação altamente precisa e coordenada. Os sensores instalados na máquina permitiram o monitoramento contínuo do processo, fornecendo *feedbacks* automáticos em tempo real

ao CLP, que ajustava os parâmetros de operação conforme necessário (Fig. 19).



Figura 19. Máquina atual de rebite para travessa.

VI. AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ALCANÇADOS COM A AUTOMAÇÃO DO PROCESSO

a) Aumento da produtividade. A modernização da máquina de rebite resultou em um expressivo ganho de produtividade. A redução do tempo de ciclo de 18 minutos para apenas 8 minutos (Fig. 20). representa uma melhoria de aproximadamente 55,5% na eficiência operacional. Esse avanço possibilita um aumento significativo na taxa de produção, atendendo a maiores demandas sem a necessidade de aquisição de novos equipamentos.

Além disso, o sistema automatizado assumiu tarefas anteriormente manuais, reduzindo o esforço físico exigido do operador. Com isso, foi possível manter um ritmo de trabalho mais estável, minimizando falhas humanas, melhorando a qualidade dos produtos e promovendo um ambiente ergonômico e sustentável.

Essa melhoria é resultado da integração entre o controle automático via CLP, a flexibilidade de parametrização pela IHM e a padronização do processo por meio de “receitas” programadas.

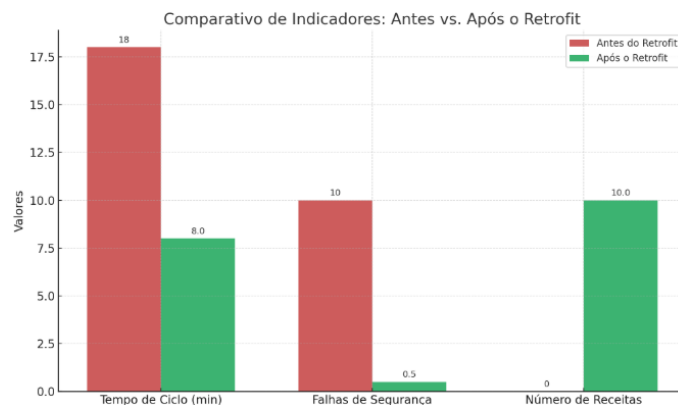


Figura 20. Comparativo antes e depois *retrofit*.

b) Melhoria da confiabilidade do equipamento. A confiabilidade da máquina de rebite foi significativamente aprimorada após o *retrofit*, refletindo-se na

redução de falhas operacionais e na maior estabilidade dos ciclos produtivos.

A instalação da IHM trouxe um avanço fundamental, o sistema passou a dispor de diagnóstico em tempo real, com exibição clara de mensagens de erro, alarmes, informações de sensores e parâmetros operacionais. Isso possibilita uma resposta rápida e precisa a eventuais falhas, reduzindo drasticamente o tempo de parada não programada.

Além disso, a adoção do sistema com dois eixos acionados por servomotores contribuiu diretamente para o aumento da confiabilidade e do controle sobre o processo de rebiteagem. Esses servomotores, integrados ao CLP, garantem:

- Maior precisão nos deslocamentos e na aplicação de força.
- Repetibilidade dos ciclos, mesmo sob diferentes cargas operacionais.

c) Atualização do sistema de controle. A substituição das tecnologias obsoletas por um sistema de controle moderno, com CLPs, IHMs interativas e servomotores de alta performance proporcionou avanços significativos nos quesitos precisão, segurança, flexibilidade e qualidade do processo.

Essa atualização permitiu:

- Controle mais rigoroso do posicionamento das peças durante o processo de rebiteagem, com monitoramento em tempo real por sensores e ajustes via CLP.
- Padronização do processo produtivo, reduzindo a variabilidade entre ciclos.
- Facilidade na customização de receitas operacionais, através da IHM, para diferentes tipos de rebite.
- Resposta rápida a falhas e ajustes de processo, com diagnósticos visuais instantâneos na interface do operador.
- Integração segura com sistemas de segurança industrial, como cortinas de luz e CLP de segurança.

O ganho em precisão e repetibilidade elevou a qualidade da prensagem dos rebites, atendendo a critérios dimensionais e estruturais com menor margem de erro.

d) Adequação às normas de segurança. A modernização da máquina também contemplou a plena conformidade com os requisitos da norma regulamentadora brasileira, com destaque para a NR-12. As medidas implementadas aumentaram substancialmente a segurança operacional, reduzindo os riscos de acidentes e promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e ergonômico.

Dispositivos de Segurança Instalados:

- Proteções físicas fixas e móveis, com sensores de intertravamento que impedem o funcionamento da máquina enquanto partes móveis estiverem expostas.
- Cortinas de luz instaladas nas zonas de operação, que interrompem automaticamente o ciclo da máquina ao detectar a presença de objetos ou partes do corpo humano, prevenindo esmagamentos e lesões.
- Botões de emergência (botões cogumelo) estrategicamente distribuídos em torno da máquina, com fácil acesso para rápida interrupção do sistema em caso de anomalias.

Atendimentos Específicos a Norma NR-12:

- Implementação de sistemas de parada de emergência com redundância.

- Inclusão de relés de segurança com monitoramento contínuo de falhas.

- Avaliação de risco com base em matriz de severidade, probabilidade e frequência.

A segurança deixou de ser apenas um requisito normativo e passou a ser um diferencial competitivo do equipamento, alinhado às boas práticas de engenharia e responsabilidade social.

e) Melhoria da ergonomia e da interface operacional. A modernização da máquina contemplou avanços significativos na ergonomia e na facilidade de operação, com foco na segurança, no conforto do operador e na redução de falhas humanas.

A instalação da IHM trouxe benefícios diretos para a operação:

- Interface gráfica amigável, com telas organizadas e comandos acessíveis;
- Visualização em tempo real de parâmetros críticos, alarmes e informações do sistema;
- Configuração de "receitas" personalizadas para diferentes peças ou processos.
- Facilidade de aprendizado.

Essas melhorias tornam a operação mais intuitiva e segura, reduzindo a curva de aprendizado e a ocorrência de erros. Anteriormente, o operador era responsável por movimentar manualmente as peças para o processo de rebiteagem, precisando também acionar o botão de início a cada movimento. Esse procedimento demandava esforço físico repetitivo e aumentava o risco de erros e lesões.

Um dos principais avanços ergonômicos foi a implementação dos servomotores para a movimentação das peças. Essa solução eliminou a necessidade de deslocamento manual, proporcionando:

- Eliminação dos movimentos de carga manual de peças pesadas;
- Maior conforto na operação, permitindo um ritmo de trabalho mais constante e seguro;
- Conformidade com as exigências da NR-17 (Ergonomia) e diretrizes de saúde ocupacional.

f) Redução dos custos de manutenção. A padronização e a atualização tecnológica dos componentes da máquina representam um avanço estratégico fundamental para a otimização dos processos de manutenção e operação.

Essas melhorias refletem diretamente na disponibilidade da máquina, aumentando a capacidade produtiva e a confiabilidade do equipamento. A diminuição das paradas não planejadas contribui para um fluxo operacional mais estável e redução dos custos relacionados a horas extras e perda de produção. Além dos ganhos operacionais, a padronização também traz benefícios econômicos, reduzindo os custos de aquisição e estoque, pois o volume maior de peças padronizadas possibilita negociações mais vantajosas com fornecedores.

VII. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo principal demonstrar o projeto, desenvolvimento e implementação de um *retrofit* em uma máquina de rebiteagem manual, destacando os benefícios dessa abordagem frente à aquisição de novos equipamentos.

Ao longo do trabalho, foi possível observar como a modernização tecnológica impacta positivamente os processos produtivos, garantindo maior eficiência, precisão e segurança, além de alinhar o equipamento às exigências da Indústria 4.0.

As intervenções realizadas até o momento atenderam aos objetivos propostos, promovendo a substituição de componentes obsoletos e a introdução de tecnologias avançadas, como o CLP, sensores de monitoramento e a IHM. Esses avanços permitiram superar limitações operacionais críticas, como a ausência de precisão, a dependência de operações manuais e a falta de conformidade com as normas de segurança NR-12.

Além disso, a decisão pelo *retrofit* mostrou-se vantajosa do ponto de vista econômico, uma vez que representou uma economia significativa em relação à compra de um novo equipamento. O processo de modernização, conduzido integralmente pela equipe interna, reduziu custos e garantiu maior controle sobre a qualidade das intervenções, resultando em uma solução personalizada às necessidades específicas da empresa. A integração de tecnologias modernas também prolongou a vida útil do equipamento, reforçando sua sustentabilidade e alinhamento com as demandas atuais do mercado.

Embora o *retrofit* tenha proporcionado melhorias substanciais, este estudo também identificou possibilidades de avanços adicionais para o equipamento e o processo produtivo. A primeira delas refere-se à implementação de um sistema de monitoramento remoto mais robusto, que permita integrar a máquina a plataformas de análise preditiva em tempo real. Essa funcionalidade poderia identificar padrões de desempenho e prever falhas, reduzindo ainda mais os períodos de inatividade e otimizando a manutenção preventiva.

Por fim, a aplicação de conceitos da Indústria 5.0 poderia representar um próximo passo significativo. Isso incluiria a introdução de robôs colaborativos que operem em conjunto com a máquina de rebiteagem, aumentando a eficiência sem comprometer a segurança dos operadores. Essa abordagem permitiria adaptar o equipamento às novas tendências do mercado, que exige processos cada vez mais flexíveis, personalizados e conectados.

Os resultados alcançados demonstram a viabilidade técnica e econômica do *retrofit* como uma solução estratégica para modernizar equipamentos industriais. Mais do que restaurar a funcionalidade original, a abordagem proposta neste trabalho proporcionou melhorias significativas em produtividade, qualidade e segurança, consolidando a máquina como um ativo competitivo no ambiente industrial contemporâneo. Assim, este estudo reforça a importância do *retrofit* como uma ferramenta essencial para garantir a competitividade industrial em um mercado em constante transformação tecnológica.

REFERÊNCIAS

- [1] TECMACHINE, Retrofitting em equipamentos. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.tecmachine.ind.br/retrofitting.php>>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- [2] PORTAL DA INDÚSTRIA, Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos. [s.d.]. Disponível em:

<<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>>. Acesso em: 13 nov. 2024.

- [3] ESAAUTOMAÇÃO, Retrofitting de painéis. Disponível em: <<https://www.esautomacao.com.br/projeto/retrofitting-de-paineis/5/>>. Acesso em: 13 nov. 2024.

- [4] TEKNIMAS. Retrofit. [s.d.]. Disponível em: <<https://teknimas.com.br/retrofit/>>. Acesso em: 18 set. 2024.

- [5] AGME Automated Assembly Solutions: Disponível em: <<https://www.agme.net/pt/tecnologias/tecnologias-de-montagem/tecnologia-de-rebitagem>>. Acesso em: 28 nov. 2024.

- [6] MARQUES, Angela Selau. Estudo do forjamento de peças vazadas a partir de geratriz tubular. 2025.

- [7] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 17: Ergonomia**. Brasília, DF: MTE, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego>. Acesso em: 16 maio 2025.

- [8] CAN in Automation. CANopen and the Internet-of-Things. Disponível em: <https://www.can-cia.org/fileadmin/cia/documents/publications/cnlm/december_2018/18-4_p40_canopen_and_the_Internet-of-things_oskar_kaplun_cia.pdf>. Acesso em: 22 out. 2024.

- [9] OMRON, Dispositivos de lógica de segurança – controladores – G9SP. [s.d.]. Disponível em: <<https://automation.omron.com/pt/br/products/family/G9SP>>. Acesso em: 18 set. 2024.

- [10] ALTUS, Controle os processos da sua indústria com as IHMs da Série X2. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/produto/16/ihm-x2>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

- [11] ALTUS, sua porta de entrada para Industria 4.0. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/produto/44/clp-nexto-xpress>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

- [12] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 12: Ergonomia**. Brasília, DF: MTE, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego>. Acesso em: 16 maio 2025.

- [13] https://pt.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3. Acesso em: 16 maio 2025.

DADOS BIOGRÁFICOS

Jonas César, nascido em 13/11/1985 em Erval Seco - RS, é técnico em Mecatrônica (2011) pelo Colégio Evangélico Panambi. Atualmente é aluno do curso de Tecnologia em Automação Industrial do IFFAR Panambi-RS. Suas áreas de interesse são: programação de CLPs, indústria 4.0 e 5.0, robôs colaborativos, energia renováveis e eficiência energética.