



**REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**  
 FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**MELHORANDO A EFICIÊNCIA DO *CLINCH* EM MANUFATURA: INTEGRAÇÃO DE SCADA E MONITORAMENTO DA VIDA ÚTIL DAS FERRAMENTAS**

**ENHANCING CLINCHING EFFICIENCY IN MANUFACTURING: INTEGRATION OF SCADA AND TOOL LIFE MONITORING**

André Roberto da Silva <sup>1, i</sup>  
 Gabriel de Carvalho <sup>2, ii</sup>  
 Guilherme Mauri Faria da Cunha <sup>3, iii</sup>  
 José Sérgio Medeiros Junior <sup>4, iv</sup>  
 Paulo José Rodolpho <sup>5, v</sup>  
 Tony Emerson Marim <sup>6, vi</sup>

Data de submissão: (04/09/2024) Data de aprovação: (02/12/2024)

**RESUMO**

O *clinch* é um método de união mecânica amplamente utilizado em peças estampadas, baseado na deformação local de chapas metálicas sem a adição de elementos externos. Este artigo explora o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de ferramenta para controlar o processo de *clinch* para empresas de manufatura, visando melhorar a qualidade, manutenção e custos. A análise abrange desde a descrição do processo e controle atual até a implementação de um sistema supervisorio para monitoramento contínuo da vida útil das ferramentas de *clinch*. O estudo destaca a importância da informatização dos dados do processo para prever quebras e otimizar a manutenção. A revisão bibliográfica discute o histórico, características e aplicações do *clinch*, comparando-o com outros métodos de união e abordando modos de falha e métodos de inspeção. O processo é vantajoso por sua rapidez e simplicidade, mas exige controle rigoroso para evitar falhas, que são monitoradas por testes destrutivos e não destrutivos. A integração de controladores programáveis (CPs) e redes industriais, como *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*, para a automação e

<sup>1</sup> Mestrando em Ciência da Computação e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [andre.silva@sp.senai.br](mailto:andre.silva@sp.senai.br)

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São Carlos e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [gabriel.carvalho@sp.senai.br](mailto:gabriel.carvalho@sp.senai.br)

<sup>3</sup> Mestrando em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria pela Universidade de São Paulo e Engenheiro de Processos na Electrolux Group. E-mail: [cunhagui@usp.br](mailto:cunhagui@usp.br)

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia da Produção pela Universidade de Araraquara e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [jose.sjunior@sp.senai.br](mailto:jose.sjunior@sp.senai.br)

<sup>5</sup> Mestre em Ciências e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [paulo.rodolpho@sp.senai.br](mailto:paulo.rodolpho@sp.senai.br)

<sup>6</sup> Mestre em Engenharia Mecânica e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [tony.marin@sp.senai.br](mailto:tony.marin@sp.senai.br)

controle em tempo real, possibilita melhorar a eficiência e a segurança dos sistemas industriais. No desenvolvimento do sistema, foi utilizado um CP Siemens S7-1200 e o software SCADA Wonderware Indusoft. O sistema SCADA desenvolvido oferece funcionalidades para monitoramento remoto, geração de relatórios e análise de tendências, melhorando a gestão da vida útil de punções e matrizes e resultando em economias significativas. O estudo sugere a implementação de um banco de dados para um monitoramento mais eficiente no futuro.

**Palavras-chave:** *clinchng*; SCADA; interface homem-máquina.

## ABSTRACT

Clinching is a widely used mechanical joining method for stamped parts, based on the local deformation of metal sheets without the addition of external elements. This article explores the development of a tool monitoring system to control the clinching process for manufacturing companies, aiming to improve equipment quality, maintenance, and costs. The analysis covers the description of the process and current control methods, as well as the implementation of a supervisory system for continuous monitoring of clinching tool life. The study emphasizes the importance of digitizing process data to predict failures and optimize maintenance. The literature review discusses the history, characteristics, and applications of clinching, comparing it with other joining methods and addressing failure modes and inspection methods. The process is advantageous due to its speed and simplicity but requires strict control to avoid failures, which are monitored by destructive and non-destructive testing. The integration of programmable controllers (PLCs) and industrial networks, such as Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), for real-time automation and control, enables improvements in the efficiency and safety of industrial systems. In the development of the system, a Siemens S7-1200 PLC and Wonderware Indusoft SCADA software were used. The developed SCADA system offers functionalities for remote monitoring, report generation, and trend analysis, enhancing the management of punch and die life and resulting in significant savings. The study suggests the implementation of a database for more efficient monitoring in the future.

**Keywords:** clinching; SCADA; human-machine interface.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Peng *et al.* (2020), o *clinchng* é uma tecnologia de junção mecânica amplamente utilizada na indústria automotiva para unir chapas metálicas de diferentes espessuras e propriedades. Este processo de junção não requer a utilização de componentes auxiliares, como parafusos ou rebites, e se baseia exclusivamente na deformação plástica das chapas metálicas para formar uma conexão. As ferramentas de *clinchng*, que incluem o punção e a matriz, são mais simples em comparação com outros métodos de junção térmica. A tecnologia de *clinchng* é particularmente vantajosa por ser eficiente e por poder unir materiais distintos sem comprometer a integridade estrutural dos materiais envolvidos, mantendo alta resistência, estabilidade e eficiência do ponto de vista do processo produtivo.

Os sistemas *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) são ferramentas essenciais para monitorar e controlar processos industriais e infraestruturas críticas, como redes elétricas, gasodutos, telecomunicações e sistemas de transporte. Eles permitem a coleta

de dados em tempo real e o controle remoto de operações, sendo indispensáveis para a automação industrial e a melhoria da eficiência operacional (Pliatsios *et al.*, 2020). De acordo com Chromik (2019), os sistemas SCADA têm se mostrado ferramentas essenciais para a monitoração e controle de processos industriais, incluindo o *clinking*. Tradicionalmente, os sistemas SCADA operavam de forma isolada, utilizando protocolos proprietários e mantendo as informações trocadas dentro do próprio sistema.

Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema SCADA para o controle do processo de *clinch* no setor de manufatura, com o intuito de aprimorar a qualidade, manutenção e custo dos equipamentos.

A fim de alcançar a proposta, o projeto necessita abordar:

- a descrição do processo de *clinch*, incluindo uma breve explicação do produto, máquina e ferramenta utilizadas, e controles de qualidade vigentes;
- expor o controle atual do ciclo de vida do punção e matriz, realizado através da interface homem-máquina do equipamento;
- desenvolver um controle supervísório e aquisição de dados que possibilite aumentar a capacidade de controle do ciclo de vida da ferramenta de *clinch*;
- testar o controle supervísório e aquisição de dados em ambiente de simulação.

A necessidade da informatização desses dados, evidencia a necessidade do projeto, que visa otimizar a manutenção, prever falhas, garantir a qualidade das uniões e considerar aspectos econômicos relacionados à vida útil das ferramentas.

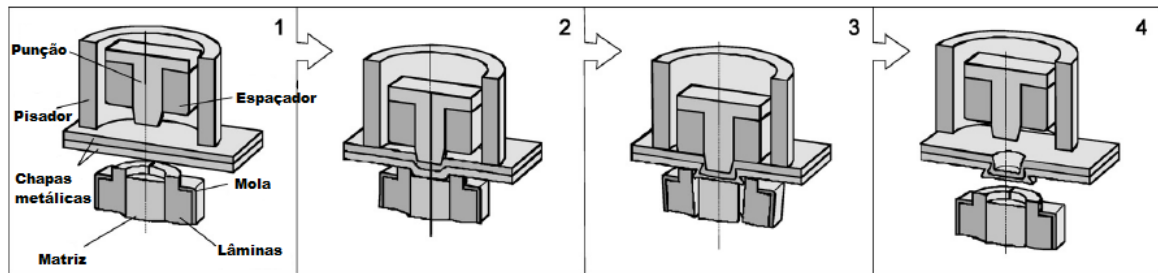
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão da literatura está dividida em duas seções principais: o processo de *clinking* e o sistema SCADA. Na primeira seção, são apresentados uma definição do processo, um breve histórico da tecnologia, características do processo e equipamento, exemplos de aplicação, vantagens e desvantagens em relação a outros métodos de união e aspectos de qualidade. Em seguida são introduzidos uma definição e um breve histórico sobre sistema SCADA, Controlador Programável e passando por redes industriais.

### 2.1 Processo de *clinking*

O processo de *clinking* é definido como a união por conformação a frio de duas ou mais chapas metálicas sobrepostas usando um punção e uma matriz, criando assim uma conexão por atrito e forma sem elementos de conexão, aditivos ou materiais auxiliares adicionais (Kalich e Füssel, 2022). O equipamento utilizado para *clinking* consiste em uma ferramenta, composta por punção e matriz, e uma máquina que aplica a força necessária para realizar a união. O punção atua como a ferramenta responsável por pressionar as chapas metálicas sobrepostas contra a matriz, deformando-as plasticamente e criando a junta *clinchada*. As características geométricas do punção, como sua forma, diâmetro e ângulo, influenciam diretamente a geometria da junta e suas propriedades mecânicas (Steinfelder *et al.*, 2022). A figura 1 ilustra um processo típico de *clinking*, no qual o pisador prensa a chapa para evitar o escorregamento, e o punção é então pressionado para dentro da matriz. O lado da matriz é composto por molas, o que permite o correto escoamento do material e, conseqüentemente, a fixação das chapas.

Figura 1 - Processo de *clinch*.



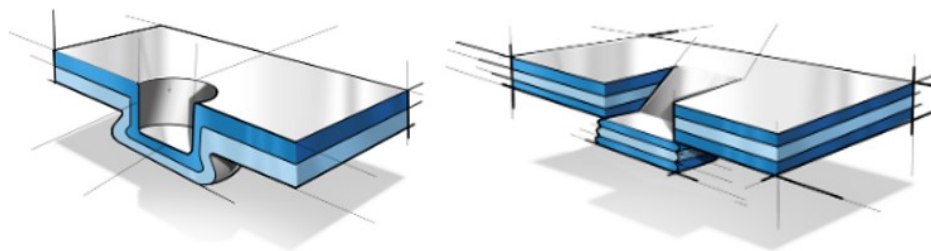
Fonte: (Tan; Hahn; Du, 2005, p. 723) adaptado pelo autor.

Essa tecnologia não é nova, já que a primeira patente foi registrada na Alemanha em 1897. Entretanto, sua aplicação em larga escala na indústria começou apenas na década de 1980. Em 1986, a BTM Corporation introduziu sua marca registrada Tog-L-Loc nos Estados Unidos.

Na Alemanha, a Trumpf GmbH e a Tox GmbH iniciaram a produção de equipamentos de *clinch* em 1987. Um ano depois, a Attexor Equipments S.A. começou a fabricar máquinas de *clinch* na Suíça. Durante esse período, foram criadas algumas normas para padronizar a união por *clinch* e seus controles de qualidade, como a norma alemã DIN 8593-5 e a norma australiana/neozelandesa AS/NZS 4600 (Varis; Lepistö, 2003).

Além da união mecânica, o *clinch* também pode ser usado para criar pontos de contato elétrico de baixa resistência em componentes (Füssel *et al.*, 2022). A técnica se baseia na deformação plástica localizada para criar uma interligação entre as chapas, proporcionando uma alternativa eficiente e econômica em relação a métodos tradicionais de união, como a soldagem (Buffa *et al.*, 2022). A figura 2 mostra os dois formatos de *clinch* mais comuns.

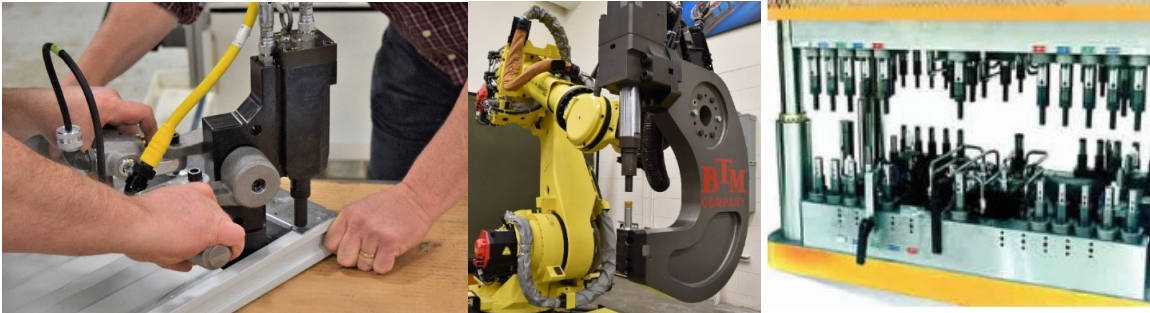
Figura 2 - Formatos comuns do *clinch*, circular e retangular.



Fonte: (Bollhoff-Attexor, 2020).

O *clinch* pode ser realizado com diversos tipos de equipamentos, como prensas, dispositivos portáteis, e máquinas manuais, semiautomáticas ou automáticas, que utilizam sistemas hidráulicos ou pneumáticos. A escolha do equipamento depende das características do produto, como a geometria da peça e o volume de produção. A força necessária para o processo varia conforme o material e as dimensões da ferramenta, geralmente entre 10 e 100 kN por ponto de *clinch*. As chapas, que devem estar sobrepostas, normalmente têm espessuras entre 0,2 e 4 mm para aço carbono, usando equipamentos comerciais. Não é necessário que as chapas tenham a mesma espessura (Steinfelder, 2022). A figura 3 mostra exemplos de equipamentos de *clinch*, como uma máquina manual, uma pinça operada por robô e um ferramental com múltiplos pontos acionados por prensa.

Figura 3 - Exemplos de equipamentos: manual, automático e prensa



Fonte: (BTM, 2020).

O princípio relativamente simples do *clinch* oferece diversas vantagens, como rapidez, ausência de geração de resíduos e baixo nível de ruído. O processo não causa calor, fagulhas, respingos, clarões ou luzes nocivas, dispensando, assim, o uso de equipamentos de proteção individual especiais. Diferentemente de outros métodos de união, o *clinch* não exige preparação prévia do material. Por exemplo, o rebiteamento normalmente requer furação, a colagem demanda limpeza da superfície, e a soldagem necessita de preparação específica. Além disso, o *clinch* não requer pós-tratamento, permitindo a utilização imediata das peças unidas. A simplicidade do processo reduz o tempo ocioso, pois não gera cavaco, sujeira ou perdas. A ausência de calor durante a união elimina os efeitos térmicos em tratamentos superficiais, limitando as transformações que ocorrem em processos tradicionais de soldagem. Outra característica é a rapidez do processo, este é atribuído à natureza localizada da deformação plástica, que permite a formação da junta em um curto período (Li *et al.*, 2019).

Conforme Naderli e Fazli (2024), o *clinch* apresenta vantagens significativas em comparação com outras técnicas tradicionais de união de peças metálicas, como soldagem, rebiteagem e aparafusamento:

- A união é realizada a partir dos próprios materiais, sem a necessidade de consumíveis como parafusos, rebites ou eletrodos;
- O processo ocorre em uma única operação, dispensando tratamentos pré ou pós-processo;
- É um método rápido, capaz de realizar uniões múltiplas;
- Não requer calor, preservando as camadas superficiais e evitando a produção de fumos;
- Trata-se de um processo limpo e de baixo consumo energético;
- O controle de qualidade pode ser visual ou monitorado por computador, possibilitando a verificação de 100% das uniões;
- A união obtida apresenta excelente estanqueidade.

No entanto, conforme Chen *et al.* (2020), o *clinch*, assim como qualquer outra tecnologia de união de chapas metálicas, possui algumas desvantagens:

- Requer uma força relativamente alta para a união dos materiais;
- Não é aplicável a materiais frágeis.

## 2.2 Sistema SCADA

O aumento anual de 18,8% nos investimentos no mercado da Indústria 4.0 no Brasil (Agência de Notícias da Indústria, 2023) tem evidenciado a crescente relevância de tecnologias de controle, como controladores programáveis (CPs), redes industriais e sistemas SCADA. Essas tecnologias são fundamentais para automação e monitoramento eficientes em ambientes industriais, tornando-se cada vez mais indispensáveis na cadeia produtiva.

A evolução dos sistemas de automação industrial reflete o progresso tecnológico. Inicialmente, eram utilizados controles mecânicos e manuais, que, ao longo do tempo, foram substituídos por sistemas baseados em eletrônica discreta, como relés e transdutores. Posteriormente, a introdução dos microprocessadores consolidou a transição para sistemas digitais, possibilitando maior integração e eficiência. Na atualidade, a digitalização transformou as fábricas em ambientes interconectados e inteligentes, com a adoção de sistemas ciberfísicos e protocolos avançados de comunicação, como *fieldbus* e Ethernet. Esses avanços permitem uma integração fluida entre equipamentos industriais e sistemas de gestão (Ding *et al.*, 2019).

Nesse cenário, compreender o funcionamento das redes industriais é essencial, já que estas dependem de protocolos de comunicação. Esses protocolos, definidos como conjuntos de regras e padrões que estabelecem como os dispositivos se conectam e interagem, garantem a interoperabilidade e permitem a troca eficiente e confiável de informações entre dispositivos de diferentes fabricantes (Romão, 2018). A automação industrial utiliza protocolos altamente sofisticados, projetados para atender às exigências de eficiência e confiabilidade de sistemas de controle distribuídos. Exemplos incluem Modbus, ICCP/TASE.2, DNP3, OPC, Ethernet/IP, Profibus, EtherCAT, Ethernet Powerlink, e SERCOS III.

SCADA, acrônimo para *Supervisory Control And Data Acquisition*, ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados, é uma tecnologia que permite ao operador monitorar e controlar remotamente processos distribuídos. Esses sistemas eliminam a necessidade de visitas regulares a locais remotos, possibilitando o controle centralizado de processos industriais, como ajuste de parâmetros, monitoramento de alarmes e coleta de dados (Boyer, 2009). Eles abrangem um conjunto de equipamentos, redes de comunicação e interfaces operacionais para gerenciar dados de aplicações industriais.

Plantas industriais modernas, como refinarias, indústrias químicas, usinas de energia e fábricas, possuem estruturas amplas e distribuídas de forma complexa. Nessas plantas, os operadores precisam monitorar e controlar continuamente vários setores para garantir operações ininterruptas. Com o avanço das tecnologias de rede, tornou-se possível comandar e controlar remotamente essas plantas. Inicialmente, as redes de controle eram simples conexões ponto-a-ponto entre dispositivos de comando e sensores ou atuadores remotos. Com o tempo, evoluíram para sistemas mais robustos e integrados, conhecidos como redes SCADA, compostas por sensores, atuadores e CPs conectados a uma unidade central de controle (Igre; Laughter; Williams, 2006).

Conforme Zanghi (2021), o hardware de um sistema SCADA é composto essencialmente por várias unidades terminais remotas (UTRs), que coletam e transmitem dados do campo para uma estação mestre. Essa estação exibe os dados recebidos e permite ao operador realizar tarefas de controle à distância, assegurando a supervisão contínua e eficiente dos processos.

Os CPs, base de muitos sistemas SCADA, também evoluíram significativamente. Segundo Sehr *et al.* (2021), esses dispositivos foram desenvolvidos para substituir a lógica de

relés em processos industriais e permanecem amplamente utilizados devido à sua confiabilidade e flexibilidade. Para Mellado e Núñez (2021), os CPs são projetados para resistir a condições adversas, como altas temperaturas e vibrações, além de simplificar a integração de sensores e atuadores, oferecendo alta confiabilidade e eficiência.

A digitalização moderna consolidou os sistemas SCADA e os CPs como pilares da automação industrial. Com a integração de tecnologias ciberfísicas e protocolos avançados, como *fieldbus* e Ethernet, a automação industrial alcançou novos patamares de eficiência, conectividade e gestão integrada (Ding *et al.*, 2019). Esses avanços tornam essas tecnologias indispensáveis para o desenvolvimento de plantas industriais inteligentes e conectadas.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa é orientada pela classificação proposta por Gil (2008), que categoriza estudos quanto à sua natureza, objetivos, procedimentos e abordagem. Neste contexto, o presente trabalho é caracterizado como uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória e descritiva, utilizando uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa) e procedimentos experimentais para o desenvolvimento e validação de um sistema supervisório integrado ao controle de ciclo de vida de ferramentas industriais.

Conforme Gil (2008), a pesquisa aplicada busca resolver problemas específicos e gerar conhecimentos com aplicação prática. Este estudo atende a essa definição ao propor soluções tecnológicas para monitoramento e gerenciamento da vida útil de punções e matrizes utilizados no processo de *clinch*. A investigação também assume um caráter exploratório, ao aprofundar o entendimento sobre as variáveis críticas do processo produtivo, e descritivo, ao detalhar os elementos envolvidos, como máquinas, ferramentas, comunicação entre sistemas e métodos de controle de qualidade.

A abordagem metodológica combina técnicas qualitativas e quantitativas. A etapa qualitativa envolve a análise detalhada das demandas do processo produtivo e dos problemas associados à qualidade das ferramentas, enquanto a abordagem quantitativa foca na coleta, armazenamento e análise de dados obtidos do sistema supervisório e do controlador programável. Essa combinação permite uma compreensão mais abrangente do problema e a validação empírica das soluções propostas.

O processo de desenvolvimento do sistema supervisório foi estruturado em etapas interdependentes, começando pela análise do ambiente de produção e das características das ferramentas utilizadas no processo de *clinch*. O *clinch*, método amplamente empregado para unir chapas metálicas sem solda, foi escolhido por suas vantagens, como resistência ao cisalhamento, preservação da camada protetiva das chapas metálicas e prevenção de vazamentos.

A implementação do sistema supervisório contou com um CP Siemens S7-1200 1214, programado no TIA Portal V15.1, conectado ao SCADA desenvolvido no Wonderware Indusoft Web Studio V8.0. Para simulação, foi utilizado o Siemens S7-PLCSIM V15.1 e o software NetToPlcSim para comunicação no ambiente virtual. Os dados coletados no CP foram organizados em bancos de dados específicos, como ciclos de uso, limites máximos de operação e status das ferramentas, assegurando precisão e rastreabilidade das informações. A interface homem-máquina (IHM) foi projetada para fornecer informações em tempo real ao operador, como status de manutenção, ciclos restantes e alertas preventivos. Essas informações também são acessíveis remotamente pelo sistema SCADA, que amplia as funcionalidades ao permitir análises detalhadas por gráficos, geração de relatórios em

diferentes formatos (.txt, .rtf, .csv) e visualização de eventos registrados no sistema.

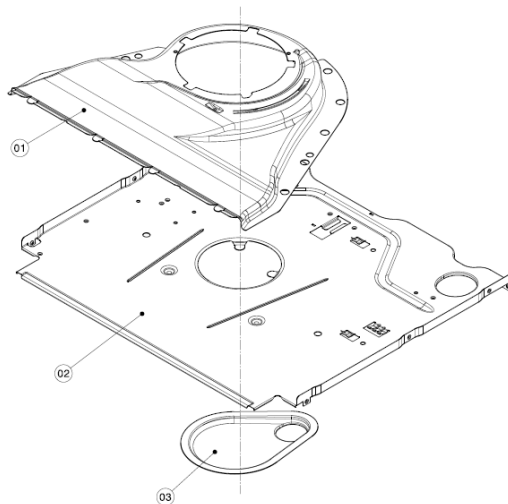
A metodologia incluiu a adoção de rigorosos procedimentos de controle de qualidade, com inspeções periódicas visuais e dimensionais, testes de tração e cisalhamento, além de análises da seção transversal para identificar a causa-raiz de falhas. O sistema SCADA, por sua vez, foi configurado para emitir alertas ao atingir 90% da vida útil estimada das ferramentas e ao alcançar o limite máximo de ciclos, permitindo ações corretivas imediatas e minimizando perdas no processo produtivo.

Assim, o foco na inovação e no uso integrado de ferramentas de controle automatizado evidencia a contribuição prática e científica do estudo, proporcionando melhorias na gestão do ciclo de vida de ferramentas industriais e na eficiência do processo produtivo.

### 3.1 Caracterização do Processo Produtivo

Os produtos de grande porte utilizados em cozinhas e áreas de serviços conhecidos como linha branca, contam com um canal de ar, esse componente sustenta uma ventoinha que direciona o ar quente do forno para o ambiente externo, ajudando a resfriar sistemas eletrônicos e manter a temperatura ideal de operação. O processo produtivo utiliza um conjunto de três peças: inferior, intermediária e superior, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Peça superior (1), intermediária (2) e inferior (3)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A escolha do *clinch* para as peças do canal de ar ocorre devido à:

- resistência ao cisalhamento: o *clinch* proporciona uma união simétrica com propriedades uniformes de resistência ao cisalhamento;
- preservação da camada protetiva: o *clinch* não danifica a camada de zinco das chapas metálicas, mantendo a resistência à corrosão;
- prevenção de vazamentos: o método evita cortes nas chapas, adequado para aplicações onde vazamentos são indesejáveis.

A união das peças é normalmente realizada por uma prensa hidropneumática, que oferece controle de precisão em velocidade e força. O processo de *clinch* é realizado em dois ciclos, conforme ilustrado na figura 5.

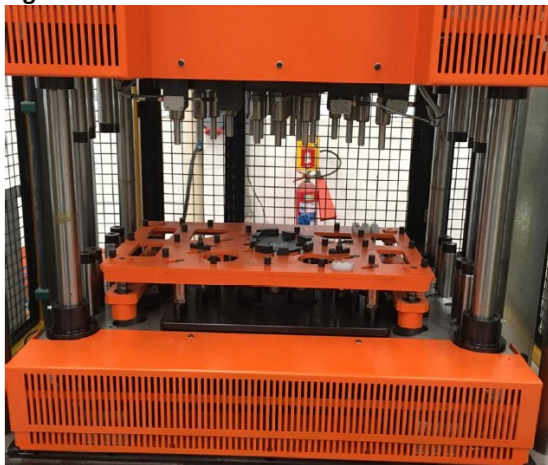
**Figura 5 - Prensa hidropneumática**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A ferramenta de *clinch*, realiza ambos os ciclos na mesma prensa, com berço e pinos guias para posicionamento, além de sensores para garantir a compatibilidade das peças, conforme mostrado na figura 6.

**Figura 6 - Ferramenta de *clinch***

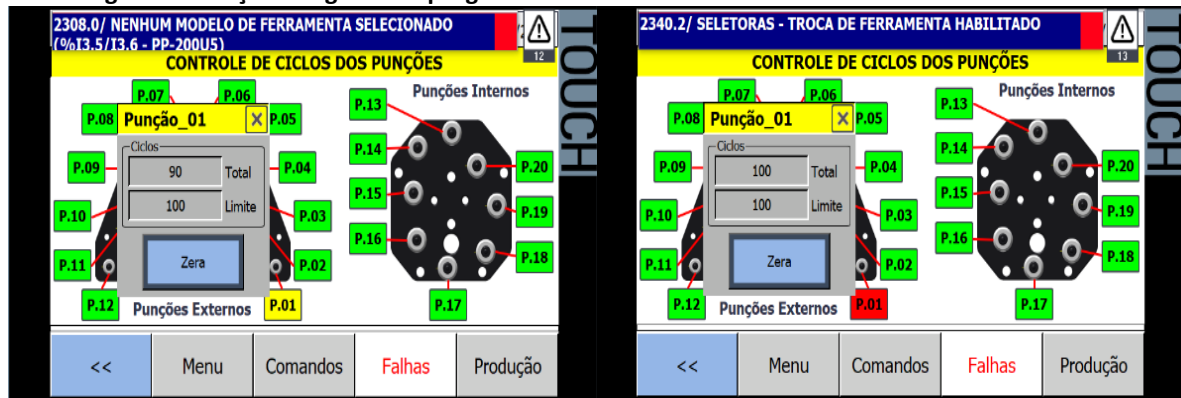


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O controle de qualidade é realizado por avaliações visuais periódicas e inspeção com medidores de espessura, além de análises dimensionais e testes de tração e cisalhamento. Em caso de anomalias, a análise da seção transversal ajuda a identificar a causa-raiz do problema.

Na interface homem-máquina (IHM) da prensa, o operador monitora o *status* de manutenção dos punções e matrizes. A tela de controle permite a visualização da quantidade máxima de ciclos e a opção de zerar a contagem após a troca. O operador é alertado quando o punção se aproxima do fim de sua vida útil e o sistema entra em modo de emergência ao atingir o limite máximo de ciclos. A figura 7 mostra a tela da IHM.

Figura 7 - Punção atinge limite programado



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A comunicação entre o Indusoft e o TIA Portal foi estabelecida através do driver SIETH, utilizando a rede Ethernet. Foram realizadas configurações no CP para permitir essa comunicação. Dados necessários para o SCADA estão armazenados em bancos de dados (DB) no programa do CP, conforme mostra a figura 8, as variáveis transmitidas incluem:

- quantidade de ciclos dos punções/ matrizes (tipo real);
- quantidade máxima de ciclos (tipo real);
- número do punção/ matriz selecionado (tipo inteiro);
- zeramento do punção/ matriz (tipo booleana).

Figura 8 - Lista de variáveis na DB2131 no TiaPortal

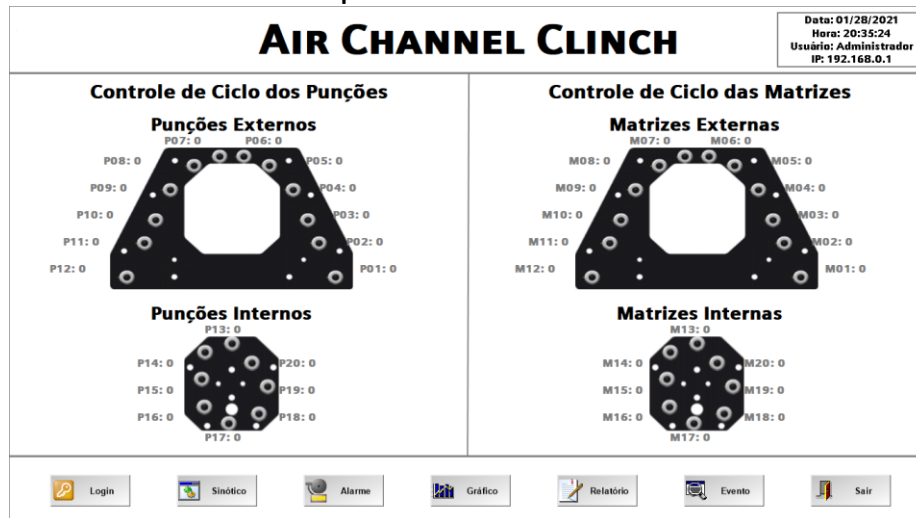
4		zeramento	Bool	0.2	false
5		nr_popup	Int	2.0	0
21		Control[1]	"Control_Ciclos"	28.0	
22		qtd_ciclos	Real	28.0	0.0
23		max_ciclos	Real	32.0	100.0

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

### 3.2 Desenvolvimento do Sistema e Ferramentas Tecnológicas

O sistema SCADA foi projetado para otimizar o controle do ciclo de vida de punções e matrizes, integrando funcionalidades de alerta preventivo e coleta de dados históricos. A IHM permite que o operador monitore o status de manutenção das ferramentas, receba notificações de vida útil próxima ao limite e acione modos de emergência quando necessário. Já o sistema SCADA permite que o usuário acesse remotamente as mesmas informações disponíveis na IHM, além de oferecer funcionalidades adicionais de manipulação e visualização de dados. Na figura 9, é possível ver a tela principal e as informações de controle e navegação para diferentes seções, como Alarme, Gráfico, Relatório e Evento.

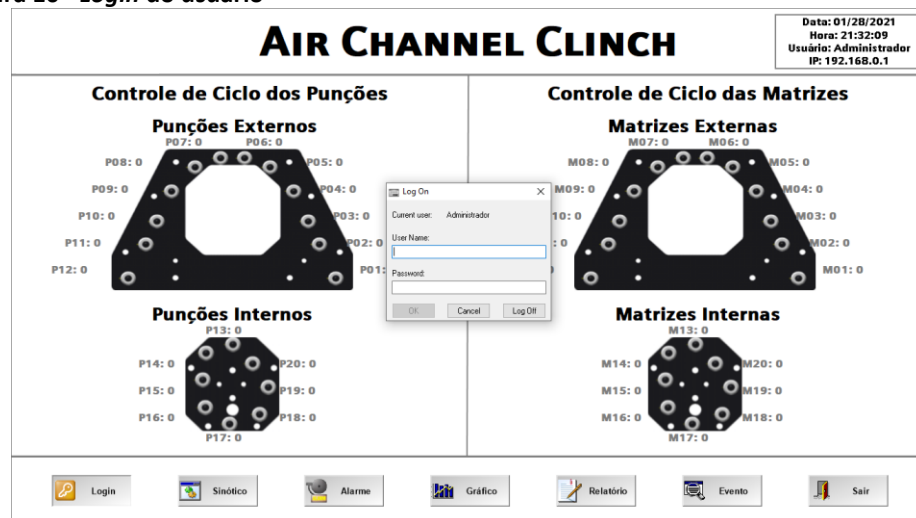
Figura 9 - Tela inicial do sistema supervisorio



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O sistema inclui funcionalidades para monitorar e manipular dados, gerar relatórios e registrar eventos. Além disso, o usuário pode selecionar entre dois perfis: operador, com acesso às funcionalidades do sistema, e administrador, que também pode alterar as configurações do programa. Veja a figura 10 com os detalhes.

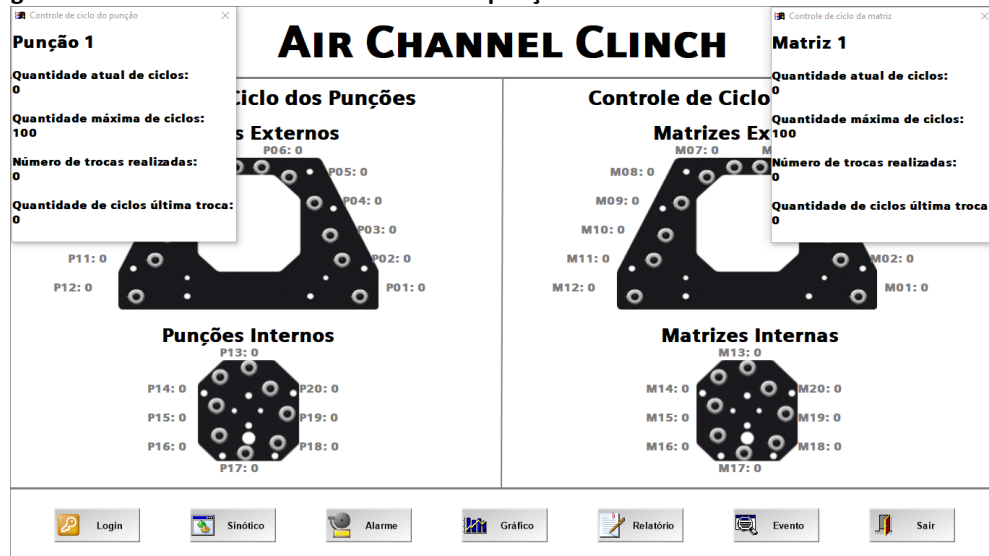
Figura 10 - Login do usuário



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A tela Sinótico, vista na figura 11, oferece uma visão detalhada do ciclo de cada punção e matriz, com contadores que se incrementam a cada novo ciclo do equipamento. Selecionando um punção ou matriz específico, o usuário pode visualizar informações detalhadas sobre ciclos atuais e máximos, número de trocas realizadas, e ciclos na última troca.

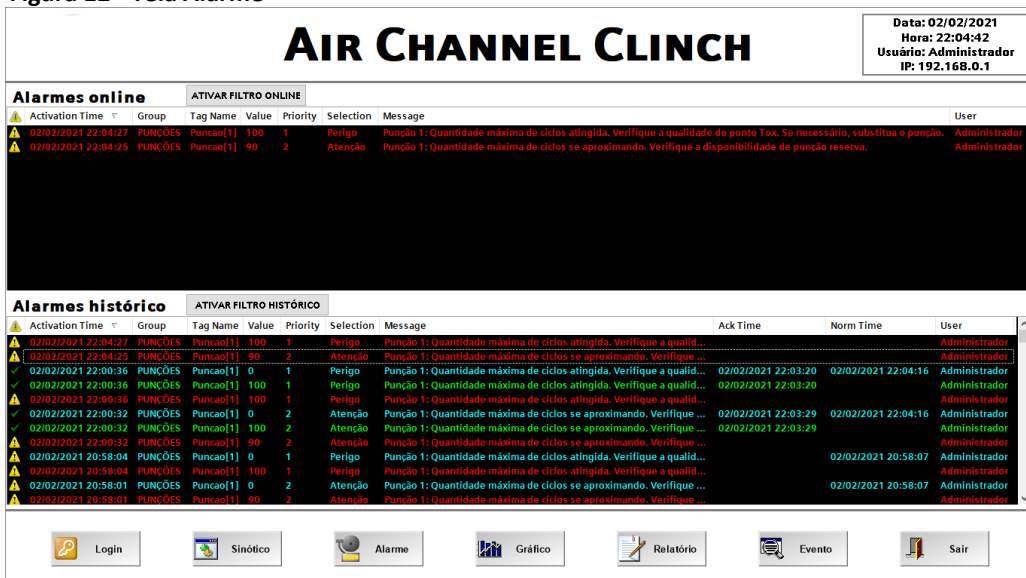
Figura 11 - Controle individual dos ciclos dos punções e matrizes



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os dados apresentados nas telas *pop-up*, figura 12, são obtidos do CP da prensa e por meio de scripts em VBScript no ambiente Indusoft. A tela Alarme notifica o usuário quando um punção ou matriz se aproxima do final de sua vida útil. Mensagens de alerta são emitidas aos 90% da vida útil do item, e outra ao atingir o ciclo máximo, permitindo ao operador avaliar a qualidade do ponto de *clinch* e decidir sobre a necessidade de troca.

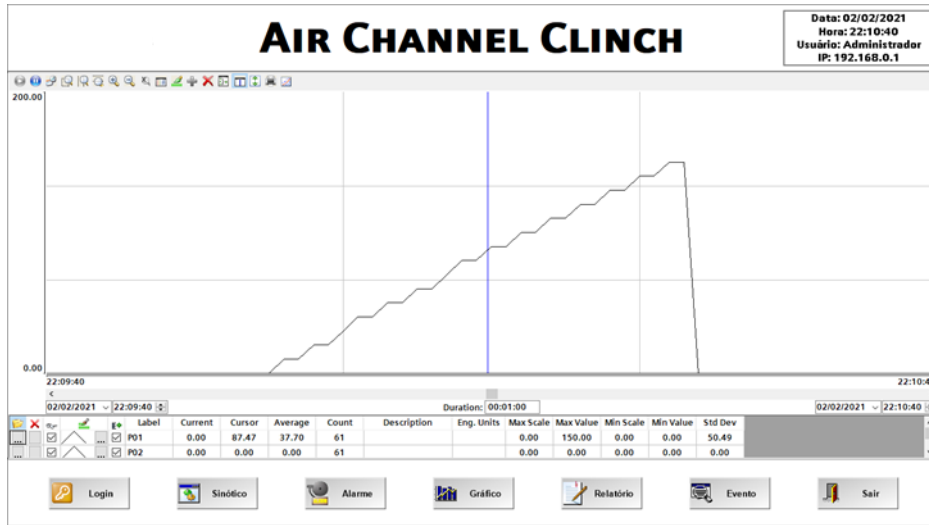
Figura 12 - Tela Alarme



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A tela Gráfico, na figura 13, oferece ferramentas para análise das tendências de ciclos dos punções e matrizes, incluindo controle estatístico do processo, com opções para salvar as análises em formato pdf.

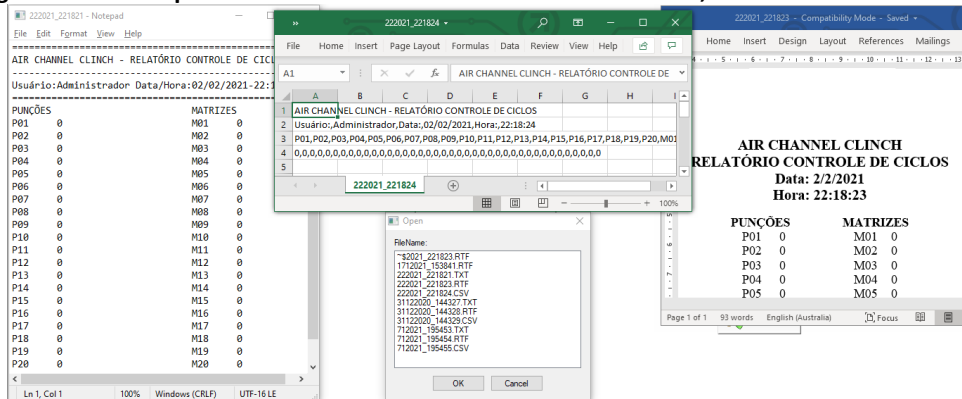
Figura 13 - Tela Gráfico



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A tela Relatório, ilustrada na figura 14, exibe as informações do Sinótico em formato tabular, com a possibilidade de salvar em três formatos diferentes .txt, .rtf, .csv e abrir os relatórios dentro da aplicação. Finalmente, a tela Evento registra as ações realizadas no sistema, como *logons*, aberturas de telas, e outras operações, acompanhadas de data, horário e usuário responsável.

Figura 14 - Janela para abrir relatório e relatórios em formato .txt, .rtf e .csv



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Desta forma, com o uso integrado de ferramentas de controle automatizado evidencia a contribuição prática e científica do estudo, proporcionando melhorias na gestão do ciclo de vida de ferramentas industriais e na eficiência do processo produtivo.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do sistema SCADA no processo de *clinch* trouxe resultados significativos que impactaram positivamente tanto o desempenho operacional quanto os resultados financeiros da empresa. A integração do sistema possibilitou um controle mais preciso do ciclo de vida de punções e matrizes, ferramentas cujo custo unitário é elevado. Com a aplicação do sistema SCADA, foi possível monitorar detalhadamente o desgaste dessas ferramentas, identificando padrões que permitiram intervenções preventivas e a consequente

extensão da vida útil. Essa melhoria resultou em uma economia anual nos custos de reposição, gerando impacto direto na redução de despesas operacionais.

Além dos benefícios financeiros, o sistema proporcionou avanços na qualidade dos produtos. Com o monitoramento contínuo e a intensificação de testes próximos ao fim da vida útil das ferramentas, as uniões realizadas no canal de ar apresentaram maior consistência, reduzindo falhas críticas como vazamentos e desalinhamentos. Essa melhoria na qualidade estrutural diminuiu as reclamações de clientes relacionadas ao superaquecimento de componentes eletrônicos, um problema recorrente antes da implementação do sistema. Assim, o SCADA garantiu não apenas a conformidade das uniões, mas também a preservação da funcionalidade e da durabilidade dos produtos.

A manutenção preditiva foi outro aspecto que se destacou. Os alarmes configurados para disparar ao atingir 90% do ciclo de vida estimado das ferramentas permitiram ações corretivas planejadas, reduzindo as paradas não planejadas. Esse controle mais rigoroso eliminou falhas inesperadas e otimizou os recursos de manutenção. Além disso, o sistema SCADA automatizou a coleta e o processamento de dados, gerando relatórios nos formatos .csv e .rtf de maneira eficiente. Essa automação reduziu o tempo dedicado pelos operadores à elaboração manual de relatórios, permitindo que esses profissionais focassem em atividades estratégicas para a operação.

A capacidade de rastrear o histórico completo de uso de cada punção e matriz ofereceu ao processo produtivo um nível de controle e análise sem precedentes. Essa rastreabilidade facilitou a identificação de falhas recorrentes e a tomada de decisões embasadas em dados históricos e em tempo real. Como resultado, a gestão operacional ganhou agilidade e alinhamento às melhores práticas industriais, consolidando o SCADA como um elemento indispensável para o monitoramento e a eficiência do processo de *clinch*.

Os resultados apresentados corroboram a literatura teórica que destaca a relevância de sistemas SCADA na automação industrial. Estudos como os de Varis e Lepistö (2003) e Chromik (2019) apontam que o monitoramento contínuo e a integração de dados são fundamentais para a redução de custos, a melhora da qualidade e a otimização de processos. O caso aqui descrito reforça essa visão, mostrando que o SCADA não apenas atendeu aos objetivos propostos, mas também estabeleceu as bases para inovações futuras, como a integração com bancos de dados automatizados e análises preditivas avançadas. Assim, os resultados evidenciam que a implementação do SCADA foi uma solução eficiente e transformadora para a gestão do processo de *clinch*.

## 5 CONCLUSÃO

O controle contínuo de qualidade é um aspecto essencial para o sucesso do processo de *clinch*, abrangendo desde métodos simples e visuais até sistemas automatizados em tempo real. A integração do monitoramento do ciclo de vida de punções e matrizes permite não apenas assegurar a qualidade das uniões realizadas, mas também otimizar a manutenção das ferramentas, contribuindo significativamente para a redução de custos operacionais.

A aplicação do sistema SCADA demonstrou sua eficiência ao fornecer dados em tempo real, gerar gráficos e relatórios, e permitir a análise detalhada da vida útil das ferramentas. Caso sejam identificadas quebras prematuras, o sistema facilita a investigação de causas potenciais, como desalinhamento de peças, desgaste de guias ou falhas em componentes. Esse monitoramento preventivo possibilita intervenções antecipadas, reduzindo a ocorrência

de falhas em série e otimizando o estoque de reposição, evitando tanto excessos quanto escassez de componentes críticos.

Considerando que a vida útil ideal de ferramentas de *clinch* deve atingir dezenas de milhares de uniões, a preservação das condições operacionais dessas ferramentas representa uma economia significativa, especialmente em processos que utilizam múltiplos conjuntos de punções e matrizes, cujo custo unitário é elevado. Além disso, a proximidade do término da vida útil das ferramentas pode ser acompanhada por testes intensificados de qualidade nas peças, garantindo que os produtos mantenham altos padrões de desempenho. No caso do canal de ar, isso significa assegurar que os pontos de *clinch* funcionem corretamente, protegendo os componentes eletrônicos contra superaquecimento e evitando potenciais reclamações de clientes.

Uma limitação identificada neste estudo é a necessidade de intervenção manual para gerar relatórios em intervalos predefinidos, o que depende da ação contínua de um operador. Para superar essa limitação, sugere-se como proposta futura o desenvolvimento de um banco de dados automatizado para registrar e processar informações de forma centralizada e em tempo real. Essa evolução tornaria o monitoramento ainda mais eficaz e abrangente, consolidando o sistema SCADA como uma ferramenta indispensável para a gestão de qualidade e eficiência operacional.

## REFERÊNCIAS

BOLLHOFF-ATTEXOR. **Characteristics of the clinching technology**. Disponível em: <https://bollhoff-attexor.com/en/technology>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BOYER, Stuart A. **SCADA: supervisory control and data acquisition**. International Society of Automation, 2009.

BTM. **Clinching Equipment**. Disponível em: <https://btmcomp.com/clinching-equipment>. Acesso em: 25 mai. 2024.

BUFFA, G. *et al.* Joining by forming technologies: current solutions and future trends. **International Journal of Material Forming**, v. 15, n. 3, p. 27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-022-01674-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12289-022-01674-8#citeas>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Mercado de Indústria 4.0 pode chegar a US\$ 56,2 bilhões no Brasil até 2028. **Portal da Indústria**, 7 jul. 2023. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/competitividade/mercado-de-industria-40-pode-chegar-a-us-562-bilhoes-no-brasil-ate-2028/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

CHROMIK, J. J. **Process-aware SCADA traffic monitoring: a local approach**. 2019. 223 f. Tese (Doctor of Philosophy) - University of Twente, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3990/1.9789036548014>. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/process-aware-scada-traffic-monitoring-a-local-approach>. Acesso em: 20 ago. 2024.

DING, K. *et al.* Defining a digital twin-based cyber-physical production system for autonomous manufacturing in smart shop floors. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 20, p. 6315-6334, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566661>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2019.1566661?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FÜSSEL, U. *et al.* Electrical contacting of aluminum bus bars using clinching and functional elements. **Engineering Proceedings**, v. 26, n. 1, p. 5, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2022026005>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4591/26/1/5>. Acesso em: 20 nov. 2024.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IGURE, V. M.; LAUGHTER, S. A.; WILLIAMS, R. D. Security issues in SCADA networks. **Computers & Security**, v. 25, n. 7, p. 498-506, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2006.03.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167404806000514>. Acesso em: 19 mai. 2024.

KALICH, J.; FÜSSEL, U. Design of clinched joints on the basis of binding mechanisms. **Production Engineering**, v. 16, n. 2, p. 213-222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01108-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11740-022-01108-z>. Acesso em: 19 nov. 2024.

LI, X. *et al.* An experimental study on micro-shear clinching of metal foils by laser shock. **Materials**, v. 12, n. 9, p. 1422, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12091422>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/9/1422>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MELLADO, J.; NÚÑEZ, F. Design of an IoT-PLC: A containerized programmable logical controller for the industry 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 25, p. 100250, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100250>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X21000492?via=ihub>. Acesso em: 21 nov. 2024.

NADERLI, R; FAZLI, A. Experimental investigation of the clinching process for joining the three-layer aluminum/polymer/aluminum composite sheets. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**, v. 7, n. 2, p. 308-326, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.10.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588840423000513>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PENG, H. *et al.* Recent development of improved clinching process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 110, p. 3169-3199, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05978-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-05978-4#citeas> . Acesso em: 30 jul. 2024.

PLIATSIOS, D. *et al.* A survey on SCADA systems: secure protocols, incidents, threats and tactics. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 3, p. 1942-1976, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2987688>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9066892>. Acesso em: 19 nov. 24.

ROMÃO, U. G. Análise das Redes Industriais existentes, comparações e especificações. **Rev. Acadêmica–Ensino de Ciências e Tecnologias**, Cubatão, v. 2, 2018. Disponível em: [https://intranet.cbt.ifsp.edu.br/qualif/volume02/ARTIGO\\_02\\_V02\\_2018.pdf](https://intranet.cbt.ifsp.edu.br/qualif/volume02/ARTIGO_02_V02_2018.pdf). Acesso em: 19 nov. 2024.

SEHR, Martin A. *et al.* Programmable logic controllers in the context of industry 4.0. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 17, n. 5, p. 3523-3533, 2020. DOI: <https://10.1109/TII.2020.3007764>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9134804>. Acesso em: 21 nov. 2024.

STEINFELDER, C.; REMPEL, D.; BROSIUS, A. Influence of the material properties on the clinching process and the resulting load-bearing capacity of the joint. **Journal of Advanced Joining Processes**. V. 10, 2024, ISSN 2666-3309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2024.100263>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666330924000797> . Acesso em 20 nov. 2024.

TAN, Y.; HAHN, O.; DU, F. Process monitoring method with window technique for clinch joining. **ISIJ international**, v. 45, n. 5, p. 723-729, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.723>. Disponível em: [https://www.istage.ist.go.jp/article/isijinternational/45/5/45\\_5\\_723/article/-char/ja/](https://www.istage.ist.go.jp/article/isijinternational/45/5/45_5_723/article/-char/ja/) . Acesso em: 13 jun. 2024.

TOX. **Alicates robóticas TOX e alicates de máquina TOX**. Disponível em: <https://br.tox-pressotechnik.com/produtos/alicates/alicates-roboticas-e-de-maquina/>. Acesso em: 24 jul. 2024.

VARIS, J. P.; LEPISTÖ, J. A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters. **Thin-Walled Structures**, v. 41, n. 8, p. 691-709, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0263-8231\(03\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S0263-8231(03)00026-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823103000260> . Acesso em: 15 mai 2024.

VARIS, J. Ensuring the integrity in clinching process. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 174, n. 1-3, p. 277-285, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.02.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013606000744> . Acesso em: 17 mai 2024.

ZANGHI, E. **Sistemas SCADA: Conceitos**. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/352156761\\_Sistemas\\_SCADA\\_Conceitos](https://www.researchgate.net/publication/352156761_Sistemas_SCADA_Conceitos). Acesso em: 20 nov. 2024.

### Sobre os Autores:

#### i André Roberto da Silva



Mestrando em Ciência da Computação na UFSCar, pós-graduado em Indústria 4.0, pós-graduado em Automação da Manufatura e Graduado em Licenciatura em Ciências Exatas com habilitação em Física. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/1738208783371178> Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5969-245X>

#### ii Gabriel de Carvalho



Mestrando em Engenharia Mecânica na UFSCar, pós-graduado em Engenharia de Produção, pós-graduado em MBA Executivo em Gerenciamento de Projetos e Graduado em Engenharia Mecânica. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/8918267683778428> Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-6248-1426>

#### iii Guilherme Mauri Faria da Cunha



Mestrando em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria pela Universidade de São Paulo. Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (2016), com graduação sanduíche na Griffith University (2014) através do programa Ciência sem Fronteiras fomentado pela CAPES. Possui especialização em Automação da Manufatura pelo SENAI (2021). Possui especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Cruzeiro do Sul (2022). CV: <http://lattes.cnpq.br/6039729358490878> Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-0729-2130>

iv **José Sérgio Medeiros Junior**



Mestrando em Engenharia da Produção pela UNIARA. Pós-Graduação Lato Sensu em Indústria 4.0 pelo Centro Universitário Internacional (2020). Licenciado em Eletrônica pelo Programa Especial de Formação Pedagógica pela Fatec Americana (2008). Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão Estratégica de Empresa pela UNICEP de São Carlos (2006) e Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela UNIP de Ribeirão Preto (2001). CV: <http://lattes.cnpq.br/5556395715782877> Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6204-0153>

v **Paulo José Rodolpho**



Possui graduação em Ciência da Computação pelo Centro Universitário Central Paulista (2001), Especialização em Formação Pedagógica para Educação Profissional pela Universidade Metodista de Piracicaba (2004) e Mestrado em Ciências pelo programa de Engenharia Mecânica na Escola de Engenharia de São Carlos (USP - 2013). Atualmente é Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe de São Carlos. CV: <http://lattes.cnpq.br/3915529378619804> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-3234-0620>

vi **Tony Emerson Marim**



Possui graduação em Automação Industrial pela Universidade Paulista (UNIP) e Licenciatura plena em Pedagogia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, além de mestrado em Engenharia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. Atualmente, ocupa o cargo de Professor de ensino Superior na Faculdade de Tecnologia do SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <https://lattes.cnpq.br/2215850363897403> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8802-239X>