


**OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NO PÓLO INDUSTRIAL DE MANAUS (PIM): DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ELIMINAR CONTATO MANUAL, REDUZIR ESFORÇO REPETITIVO E RISCOS ERGONÔMICOS, MELHORANDO A QUALIDADE E REDUZINDO CUSTOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-020>

Data de submissão: 02/12/2024

Data de publicação: 02/01/2025

**Cristovão Santiago da Cruz**  
Eng<sup>a</sup>.

Bacharel em Ciências Contábeis; Acadêmico do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL  
E-mail: [cristovaosantiagodacruz@gmail.com](mailto:cristovaosantiagodacruz@gmail.com)

**Gil Eduardo Guimarães**  
D. Sc.

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais; Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL  
E-mail: [gil.guimaraes@itegam.org.br](mailto:gil.guimaraes@itegam.org.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2800-4620>

**Nelson Marinelli Filho**  
D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica; Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL  
E-mail: [nelson.marinelli@itegam.org.br](mailto:nelson.marinelli@itegam.org.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4362-0132>

**Geraldo Nunes Correa**  
D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica; Professor do Curso Sistemas de Informação da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) - MG – BRASIL  
E-mail: [geraldo.correa@uemg.br](mailto:geraldo.correa@uemg.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5477-6953>

**Janyel Trevisol**  
M. Sc.

Mestre em Engenharia de Produção; Professor do Curso de Engenharia de Produção da Faculdade Horizontina (FAHOR) – RS – BRASIL  
E-mail: [janyeltrevisol@yahoo.com.br](mailto:janyeltrevisol@yahoo.com.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1153-4046>

## RESUMO

Este estudo apresenta o desenvolvimento e implementação de um dispositivo automatizado para montagem de esferas de aço e aplicação de graxa em tubos coluna em linhas de produção de

motocicletas. O objetivo foi eliminar o contato manual, promover melhorias ergonômicas e otimizar o ciclo produtivo. A metodologia incluiu análise de requisitos, prototipagem, testes piloto e validação em ambiente real. Os resultados demonstraram redução de 25% no tempo de ciclo, aumento de 40% na qualidade do produto e melhorias significativas em índices ergonômicos. A análise econômica evidenciou retorno financeiro em menos de 12 meses. Este trabalho destaca os benefícios da automação e sugere a expansão do dispositivo para outras etapas do processo produtivo, integrando tecnologias avançadas como inteligência artificial e sistemas ciberfísicos para potencializar os ganhos em eficiência e qualidade.

**Palavras-chave:** Automação Industrial. Ergonomia. Otimização de Processos. Linha de Montagem.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de motocicletas desempenha um papel estratégico na economia global, com impactos significativos no transporte, na mobilidade urbana e no desenvolvimento industrial. Nos últimos anos, o setor de duas rodas tem registrado um crescimento expressivo devido às suas vantagens em relação a outros meios de transporte, como custo reduzido de manutenção, eficiência no consumo de combustível e facilidade de deslocamento em regiões urbanas densas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2023). Esse crescimento acompanha mudanças nos padrões de consumo e nas exigências por produtos de alta qualidade e baixo custo, levando à necessidade de melhorias nos processos produtivos e na adoção de tecnologias que ampliem a competitividade.

No contexto das linhas de montagem de motocicletas, o processo de montagem manual de componentes críticos, como esferas de aço e a aplicação de graxa no tubo coluna, representa um dos principais desafios industriais. Esse processo não apenas exige alta precisão e consistência, mas também está associado a questões ergonômicas que afetam a saúde e segurança ocupacional. Além disso, a repetitividade da tarefa, aliada à exposição a substâncias químicas como graxas industriais, eleva os riscos de lesões por esforços repetitivos (LER/DORT) e dermatites de contato, que são problemas frequentes em ambientes industriais (BRASIL, 2019).

A busca por soluções que promovam a automação de processos repetitivos e complexos surge como uma resposta estratégica para esses desafios. Estudos apontam que a integração de dispositivos automatizados em linhas de montagem resulta não apenas em melhorias na ergonomia e segurança, mas também em ganhos expressivos de produtividade e qualidade do produto final (SILVA; PEREIRA, 2020). No entanto, a implementação dessas tecnologias requer uma abordagem sistemática que considere fatores como viabilidade técnica, custos de adoção e impacto no desempenho da linha.

Diante desse cenário, este estudo propõe a concepção e implementação de um dispositivo automatizado para a montagem de esferas de aço e aplicação de graxa no tubo coluna de motocicletas. O objetivo é eliminar o contato manual com os componentes, promovendo a redução de riscos ergonômicos, a melhoria da qualidade do produto final e a otimização do ciclo de produção. Com base em análises experimentais conduzidas em uma indústria do Polo Industrial de Manaus, este artigo examina os resultados obtidos e destaca as contribuições do dispositivo para a competitividade da empresa no mercado global.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A otimização de processos industriais é uma disciplina amplamente estudada em virtude de sua relevância para o aumento da competitividade das empresas. A busca por eficiência, qualidade e redução de custos caracteriza o ambiente produtivo contemporâneo, que depende de tecnologias avançadas e métodos de gestão para enfrentar os desafios do mercado globalizado. Este referencial teórico explora os conceitos-chave, ferramentas analíticas, avanços tecnológicos e aspectos relacionados à ergonomia e sustentabilidade na otimização industrial.

### 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA OTIMIZAÇÃO

A otimização, no contexto industrial, refere-se ao processo de ajustar sistemas produtivos para maximizar seu desempenho com base em critérios predefinidos, como custo, qualidade e eficiência. Heizer e Render (2019) definem a otimização como uma abordagem sistemática para identificar oportunidades de melhoria, eliminando desperdícios e promovendo o uso racional de recursos. Esta definição abrange tanto melhorias incrementais, características de metodologias como Lean Manufacturing, quanto transformações radicais, proporcionadas por inovações disruptivas.

Filosofias de gestão, como o Lean Manufacturing e o Seis Sigma, têm sido fundamentais na evolução das práticas de otimização. O Lean Manufacturing se concentra na eliminação de atividades que não agregam valor ao cliente, enquanto o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas para reduzir variabilidades e defeitos nos processos (WOMACK; JONES, 2003; PYZDEK; KELLER, 2014). Quando aplicadas em conjunto, essas metodologias oferecem uma estrutura robusta para a análise e reengenharia de processos industriais.

Além dessas metodologias, a Teoria das Restrições (TOC) também desempenha um papel importante. Desenvolvida por Goldratt (1990), a TOC identifica gargalos no sistema produtivo e propõe soluções para maximizar a eficiência global. Essa abordagem é especialmente relevante em ambientes de manufatura, onde pequenos ajustes podem resultar em grandes melhorias na produtividade.

### 2.2 FERRAMENTAS CLÁSSICAS E AVANÇADAS DE OTIMIZAÇÃO

As ferramentas utilizadas na otimização de processos variam desde métodos clássicos, como diagramas de causa e efeito, até tecnologias avançadas de simulação e análise preditiva. O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de espinha de peixe, é amplamente utilizado para categorizar causas potenciais de problemas. Essa ferramenta é particularmente útil em estágios iniciais

de análise, permitindo uma visão estruturada das variáveis que impactam o desempenho (OHNO, 1988).

Outras ferramentas analíticas incluem o 5W2H, que estrutura a solução de problemas por meio de perguntas direcionadas, e o ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), que guia a implementação e o monitoramento de melhorias. Com o advento de tecnologias digitais, ferramentas computacionais como sistemas de simulação (por exemplo, Arena e AnyLogic) têm se destacado. Essas tecnologias permitem a criação de modelos virtuais de linhas de produção, possibilitando testar cenários e prever resultados antes de implementar mudanças no ambiente real (BANKS et al., 2013).

Além disso, o uso de big data e aprendizado de máquina tem expandido as possibilidades de otimização. Sistemas baseados em inteligência artificial analisam grandes volumes de dados em tempo real, identificando padrões e sugerindo ajustes que otimizam o fluxo produtivo e antecipam falhas (SUTTON; BARTON, 2020). Isso é especialmente relevante em indústrias com alta variabilidade e complexidade operacional, como o setor de montagem de motocicletas.

### 2.3 AVANÇOS TECNOLÓGICOS E INTEGRAÇÃO CIBERFÍSICA

O avanço de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos e robótica colaborativa tem redefinido os limites da otimização industrial. IoT permite a coleta e análise contínua de dados operacionais, enquanto os sistemas ciberfísicos integram equipamentos físicos e plataformas digitais, criando um ambiente interconectado e adaptável (LEE et al., 2015).

No contexto da linha de montagem, a robótica colaborativa tem demonstrado grande potencial para melhorar a produtividade e reduzir riscos ergonômicos. Robôs colaborativos, ou cobots, são projetados para interagir de forma segura com operadores humanos, combinando flexibilidade operacional com alta precisão (BOGUE, 2016). Sua aplicação em tarefas como montagem de componentes e inspeção de qualidade tem se mostrado eficaz na redução de erros e no aumento da consistência do produto final.

Soluções como sensores inteligentes e sistemas de visão computacional também têm se integrado aos processos automatizados, aumentando a capacidade de inspeção em tempo real e a detecção de defeitos antes que estes avancem na linha de produção. Essa integração não só melhora a qualidade do produto final, mas também reduz custos relacionados a retrabalhos.

### 2.4 ERGONOMIA E SUSTENTABILIDADE NA OTIMIZAÇÃO

A ergonomia é um fator crítico na concepção de sistemas produtivos eficientes e sustentáveis. Estudos mostram que a incorporação de dispositivos ergonômicos, como exoesqueletos e estações de

trabalho ajustáveis, reduz significativamente as lesões ocupacionais e melhora o bem-estar dos trabalhadores (DE LOOZE et al., 2016). Além disso, práticas ergonômicas contribuem para a redução da rotatividade de funcionários e promovem um ambiente de trabalho mais engajador.

A sustentabilidade também é um componente essencial da otimização industrial. A redução de desperdícios, a eficiência energética e a utilização de materiais recicláveis são práticas cada vez mais integradas às estratégias de produção. Empresas que incorporam esses princípios não apenas melhoram sua reputação no mercado, mas também reduzem custos operacionais a longo prazo (ELKINGTON, 1997).

O referencial teórico apresentado estabelece uma base sólida para compreender os fatores que influenciam a eficiência e a qualidade na produção industrial. A seguir, os métodos e resultados do estudo serão explorados, destacando a aplicação prática das estratégias discutidas.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia deste estudo foi desenhada para avaliar o impacto da implementação de um dispositivo automatizado na linha de montagem de motocicletas. A abordagem metodológica combina aspectos qualitativos e quantitativos, buscando garantir uma análise abrangente dos benefícios e desafios associados à automação do processo produtivo.

#### **3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA**

O estudo segue uma abordagem exploratória e descritiva. A natureza exploratória visa compreender as possibilidades oferecidas pela automação no contexto estudado, enquanto o caráter descritivo detalha as melhorias alcançadas por meio do dispositivo automatizado. Este tipo de abordagem é recomendado por autores como Gil (2019), que enfatizam sua relevância para estudos voltados à solução de problemas práticos em ambientes industriais.

#### **3.2 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO AUTOMATIZADO**

##### **3.2.1 escolha do tema de estudo**

A primeira etapa do projeto foi a definição do objeto de estudo, dentro de algumas possibilidades de não conformidades identificadas nos processos de fabricação.

Figura 01: Problemas identificados

<b>1</b>	CARENAGEM LATERAL DIR/ESQ COM BOLHA NA FAIXA.	<b>2</b>	ELEVADO CUSTO DO PARALAMA.
<b>3</b>	FALHA DE GRAVAÇÃO DO CHASSI.	<b>4</b>	RISCOS ERGONÔMICOS NA APLICAÇÃO DE ESFERAS.

A partir da identificação dessas não conformidades, procedeu-se uma série de testes e métodos para escolha daquela mais relevante para o estudo imediato.

Procedeu-se à seguinte série de métodos de análise, como mostrado nas figuras seguintes:

- Diagrama de Causa e Efeito

Figura 02: Diagrama de Causa e Efeito

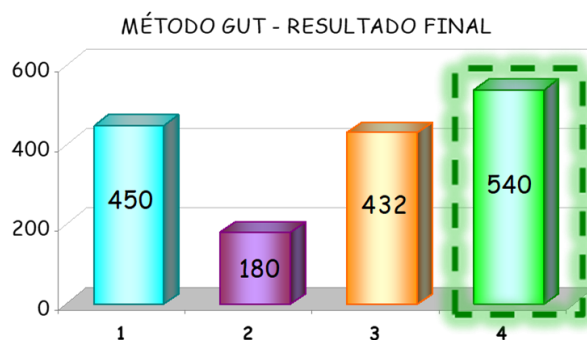
IT	TEMA	SITUAÇÃO ATUAL	ANÁLISE DAS CAUSAS
<b>1</b>	CARENAGEM LATERAL DIR/ESQ COM BOLHA NA FAIXA.		
<b>2</b>	ELEVADO CUSTO DO PARALAMA.		
<b>3</b>	FALHA DE GRAVAÇÃO DO CHASSI.		
<b>4</b>	RISCOS ERGONÔMICOS NA APLICAÇÃO DE ESFERAS.		

- Análise GUT – Gravidade, Urgência e Tendência



Figura 03: Análise GUT

LISTA DE TEMAS POTENCIAIS		MÉTODO GUT						
		SELEÇÃO FINAL - A(7~10) M(4~6) B(1~3)						
		G (AMB)	U (AMB)	T (AMB)	G (1~10)	U (1~10)	T (1~10)	TOTAL
1	CARENAGEM LATERAL DIR/ESQ COM BOLHA NA FAIXA	A	A	M	10	9	5	450
2	ELEVADO CUSTO DO PARALAMA KVS/KWG	M	A	B	6	10	3	180
3	FALHA DE GRAVAÇÃO DO CHASSI LM (II e IV)	A	A	M	8	9	6	432
4	RISCOS ERGONÔMICOS NA APLICAÇÃO ESFERAS LM IV	A	A	M	10	9	6	540



- Análise QCDMS – Quality, Cost, Delivery, Management and Safety

Figura 04: Análise crítica do processo - QCDMS



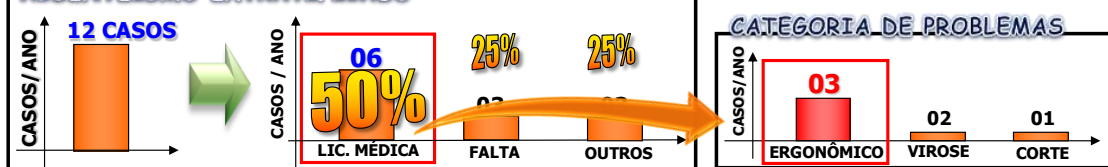


Figura 05: QCDMS – Management NO GOOD

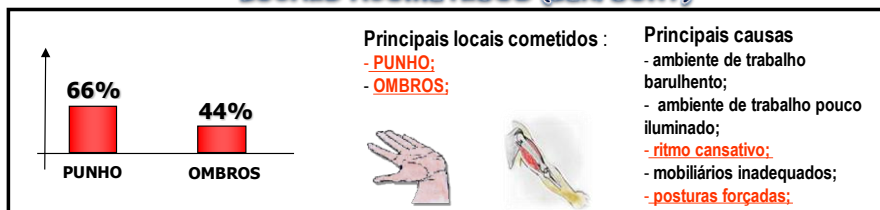
**INDICADORES DE ABSENTEÍSMO SETORIAL - LMIV - JAN~NOV'09**

SETOR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	TTL
LM IV	02	01	-	03	-	01	-	02	02	01	-	12

**ABSENTEÍSMO EXTRATIFICADO**



**LOCAIS ACOMETIDOS (LER/DORT)**



- Laudo Ergonômico

Figura 06: Laudo ergonômico SESMET

**CRITÉRIOS DE INTERPRETAÇÃO: AVALIAÇÃO POR CHECK-LIST.**

MOORE & GARG		SUE RODGERS (PUNHO D)	
PONTOS	GRAU DE RISCO	PONTOS	GRAU DE RISCO
6	MODERADO	2,32	MODERADO

**Índice de Moore e Garg**

**Índice (FITXDFEFPMPARTXFD) 6,00**

**Interpretação:**

- < 3.0 Baixo Risco
- 3.0 - 7.0 Duvidoso
- > 7.0 Alto Risco

**RESULTADO RISCO MODERADO**

**METODO SUZANNE RODGERS**

**RESULTADO FINAL: RISCO MODERADO**

**VERDE** Demais Combinações

**AMARELO** 1 2 3, 1 3 2, 2 1 3, 2 2 2, 2 3 1, 2 3 2, 3 1 2

**VERMELHO** 2 2 3, 3 1 3, 3 2 1, 3 2 2

**VIOLETA** 3 2 3, 3 3 1, 3 3 2, X 4 X, X X 4

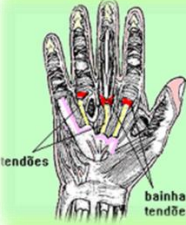

**RISCO MODERADO**

**ALTO RISCO**

Figura 07: Principais problemas ergonômicos

### TENOSSINOVITE


**Inflamação aguda ou crônica das bainhas dos tendões**

- Compressões mecânicas ( Aplicação de força com as mãos )
- Movimentação freqüente ( período de repouso insuficiente )

### BURSITE

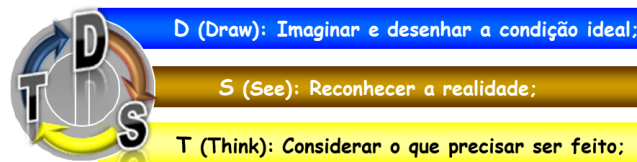
**Inflamação da bursa (líquido das articulações do ombro)**




- Compressões mecânicas (Aplicação de força nos ombros)
- Movimentação Contínua (Período de repouso insuficiente)

- Método DST – Draw, See and Think

Figura 08: Definição do Tema de estudo por DST



<b>Draw</b> <i>Desenhar o ideal;</i>	<b>See</b> <i>Realidade;</i>	<b>Think</b> <i>Pensamento;</i>
- EXECUTAR O PROCESSO DE COLOCAÇÃO DE ESFERAS NO TUBO COLUNA, MANTENDO A INTEGRIDADE FÍSICA DO COLABORADOR.	- HÁ RISCOS ERGONÔMICOS E DIFICULDADE PARA A REALIZAÇÃO DO PROCESSO NA COLOCAÇÃO DE ESFERAS NO TUBO COLUNA	- DESENVOLVER MELHORIA ERGONÔMICA NO PROCESSO VISANDO MANTER A INTEGRIDADE FÍSICA DO COLABORADOR.

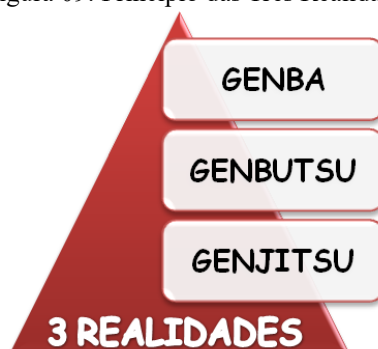
**TEMA:** MELHORIA ERGONÔMICA NO PROCESSO DAS ESFERAS

### 3.2.2 identificação e análise da situação atual

A primeira etapa envolveu o mapeamento dos requisitos operacionais e ergonômicos da linha de montagem. Este levantamento incluiu observações in loco, entrevistas com operadores e análise de dados históricos relacionados a tempos de ciclo, retrabalho e índices de lesões ocupacionais.

Por meio do Princípio da Três Realidades, buscou-se vivenciar e entender a realidade do problema.

Figura 09: Princípio das Três Realidades



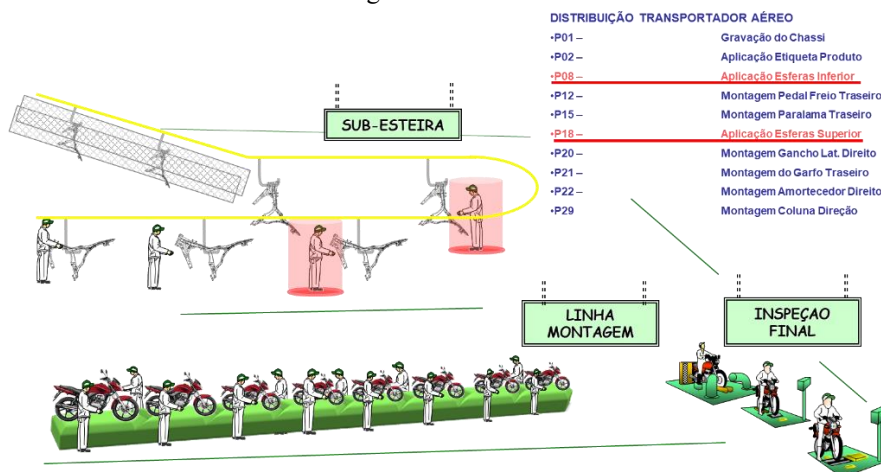
O Princípio das Três Realidades é um método de resolução de problemas que faz parte da filosofia dessa empresa. Ele é orientado por três *GENs*, que são:

- Genba: Visitar o local onde o problema ocorreu
- Genbutsu: Conhecer a situação ou objeto real para obter informações
- Genjitsu: Avaliar a situação e tomar decisões com base nas informações obtidas

O objetivo é coletar dados diretamente no local, sem intermediários ou tratamento. É preciso observar e analisar os dados coletados com cuidado, e concluir com base neles.

No GENBA identifica-se o local e o ambiente, conforme mostra a figura 10.

Figura 10: GENBA





No GENBUTSU tem-se contato com a realidade do processo, vide figura 11.

Figura 11: GENBUTSU



No GENJITSU se reconhece a realidade do problema, colhendo informações importantes que podem ser as causas dos problemas ergonômicos, conforme pode-se observar na figura 12.

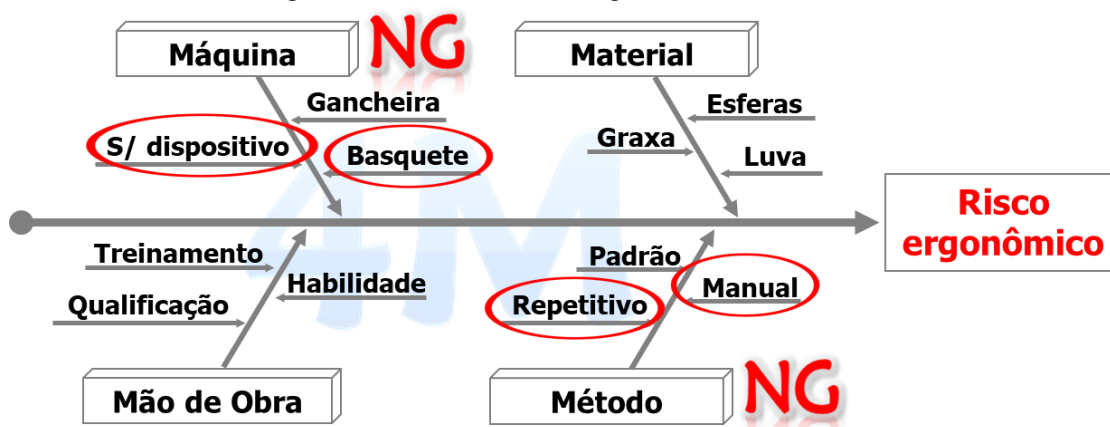
Figura 12: GENJITSU



### 3.2.3 análise das causas

Já definido qual o problema a ser atacado, volta-se ao Diagrama de Causa e Efeito para detalhá-lo melhor, como mostrado na figura 13 e no Quadro 01.

Figura 13: Detalhamento do Diagrama de Causa e Efeito



Quadro 01: Análise do Diagrama de Causa e Efeito

IT	DENOMINAÇÃO	PONTO PROBLEMÁTICO (HOLD POINT)	LAUDO
1	MÁQUINA	SEGURA O BASQUETE COM GRAXA E ESFERAS, NÃO POSSUI DISPOSITIVO PARA APLICAÇÃO.	NG
2	MATERIAL	O MATERIAL ESTÁ DENTRO DO ESPECIFICADO	OK
3	MÃO DE OBRA	O PESSOAL ESTÁ BEM TREINADINHO E QUALIFICADO	OK
4	MÉTODO	PROCESSO MANUAL E REPETITIVO. EXIGE HABILIDADE E ESFORÇO FÍSICO.	NG

Identificadas as causas, é necessário perguntar POR QUÊ? elas ocorrem, para poder definir a CAUSA RAIZ. O Quadro 02 mostra a Análise dos Porquês.

Quadro 02: Análise dos Porquês

**Porquê Máquina está NG?**

**Por quê?**  
Porque exige esforço do colaborador!

**Por quê?**  
Porque segura o basquete com esferas+ graxa o dia inteirinho!

**Por quê?**  
Porque o processo é manual!

**Por quê?**  
Porque não há nenhum dispositivo para aplicação!

**Porquê Método está NG?**

**Por quê?**  
Porque o processo possui movimentos rotativos e repetitivos!

**Por quê?**  
Porque o processo é manual!

**Por quê?**  
Porque utiliza o dedo como ferramental!

**Por quê?**  
Porque muitos tentaram, mas nenhum dispositivo foi implantado!

Conclui-se que a causa raiz dos problemas em Máquinas e Métodos está relacionada à FALTA DE UIM DISPOSITIVO ADEQUADO, que possibilitaria a melhoria ergonômica do processo.

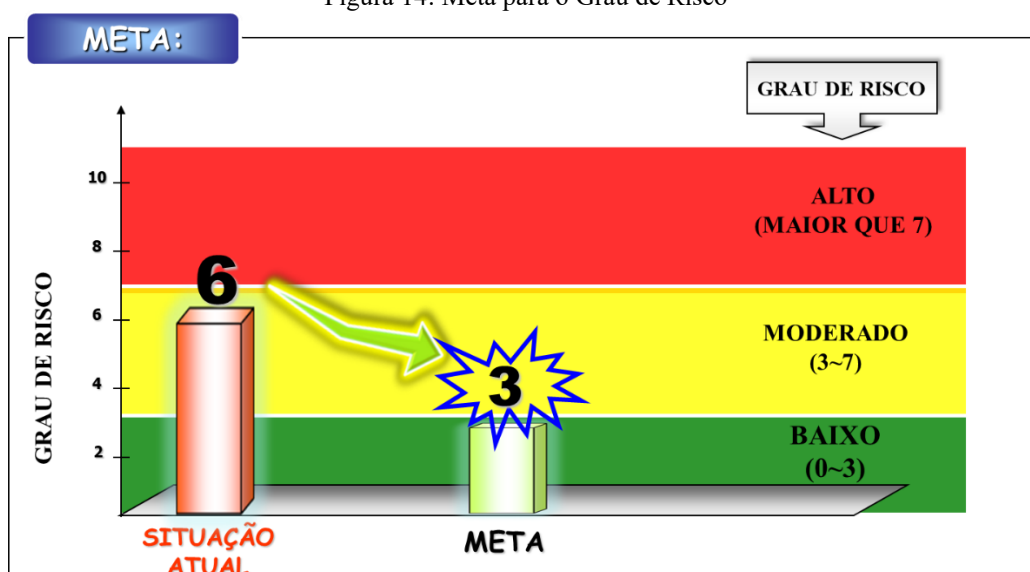
A partir dessa conclusão se estabeleceu como objetivo:

- REDUZIR O RISCO DE TENOSSINOVITE E BURSITE NO PROCESSO DE COLOCAÇÃO DE ESFERAS NO TUBO COLUNA

E como meta foi estabelecido:

- Redução do grau de risco de 6 para 3, conforme detalha a figura 14.

Figura 14: Meta para o Grau de Risco



A partir do objetivo e da meta estabelecidos, buscou-se atingi-los por meio do desenvolvimento de soluções que foram analisadas pelo método QCDMS.

A análise da solução escolhida está mostrada nas figura 15 e 16.

Figura 15: Dispositivo para aplicação das esferas (base imantada)





Figura 16: Tabela para análise e decisão (must/want)

ALTERNATIVAS		FORNECEDOR EXTERNO B		
		Observações: • Fornecedor antigo; • Aceitou contrato exclusividade.		
Objetivos Obrigatórios (MUST)		(OK)/(NG)		
1	Custo Investimento até 10.000,00	<b>R\$9.000,00 - OK</b>		
2	Prazo inferior a 30 dias	<b>25 DIAS - OK</b>		
3	Boas referências	<b>BOA - OK</b>		
Objetivos Desejáveis (WANT)		PESO	NOTA	PONTUAÇÃO (peso x nota)
1	Know-How com imãs	3	8	<b>24</b>
2	Já ter fornecido para Honda	2	10	<b>20</b>
3	Ter projetista próprio	1	8	<b>8</b>
4	Qualidade no produto	3	9	<b>27</b>
5	Capacidade de produção	2	8	<b>16</b>
<b>TOTAL DE PONTOS</b>		<b>95</b>		

A figura 17 mostra os cálculos estimados para o retorno do investimento.

Figura 17: Viabilidade da Implantação



### 3.2.4 prototipagem

Com base nos requisitos identificados, foi desenvolvido um protótipo inicial do dispositivo utilizando ferramentas de CAD (Desenho Assistido por Computador). O modelo foi projetado para atender às especificações técnicas e garantir integração com os sistemas existentes na linha de montagem. Mostrado nas figuras 18 e 19.

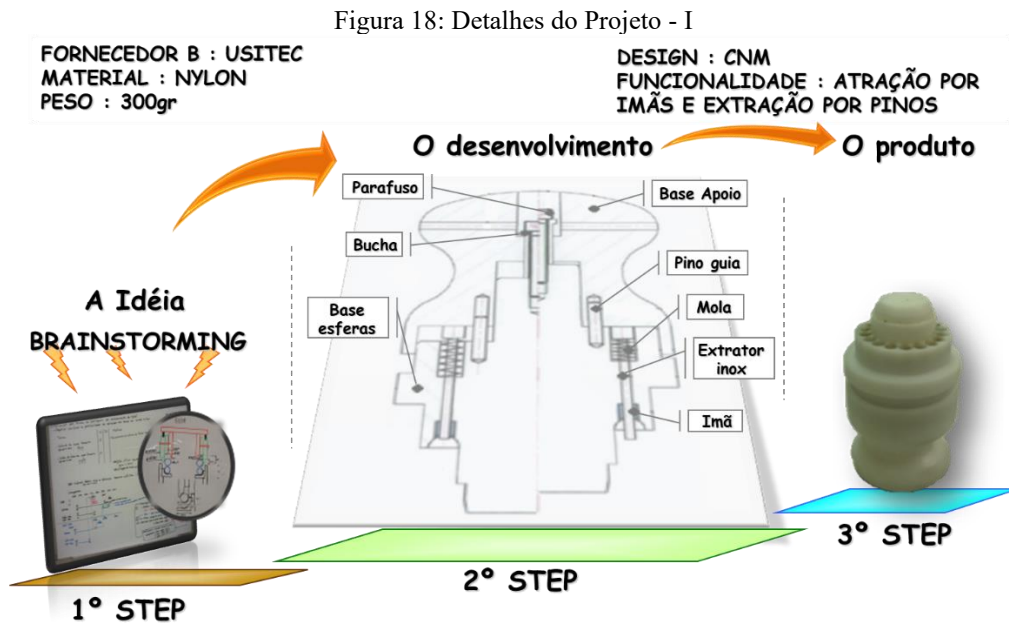


Figura 18: Detalhes do Projeto - I



### **3.2.5 testes piloto**

O protótipo foi instalado em um ambiente controlado para realizar testes piloto. Durante essa fase, foram avaliados o desempenho do dispositivo em termos de precisão, velocidade e consistência na execução das tarefas. Os testes também incluíram uma análise ergonômica detalhada, com medições de esforço físico e levantamento de feedback qualitativo dos operadores envolvidos.

### **3.2.6 ajustes e validação final**

Com base nos resultados dos testes piloto, ajustes foram implementados no design do dispositivo. A validação final foi realizada em condições reais de operação, com monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho, como tempo de ciclo, índice de falhas e percepção ergonômica dos operadores.

## **3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS**

Os dados coletados incluíram medições quantitativas e qualitativas:

- **Dados Quantitativos:** Tempos de ciclo antes e depois da implementação do dispositivo, índices de qualidade do produto e métricas relacionadas à redução de custos.
- **Dados Qualitativos:** Questionários ergonômicos aplicados aos operadores, entrevistas semiestruturadas e observações diretas do ambiente de trabalho.

A análise dos dados seguiu métodos estatísticos para identificar melhorias significativas, enquanto as informações qualitativas foram organizadas em categorias temáticas para compreender os impactos percebidos pelos operadores.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados deste estudo demonstram os impactos positivos da automação no contexto da linha de montagem de motocicletas, com melhorias significativas em indicadores de eficiência, qualidade e ergonomia.

A figura 19 mostra detalhes do processo antes e depois da melhoria implementada.

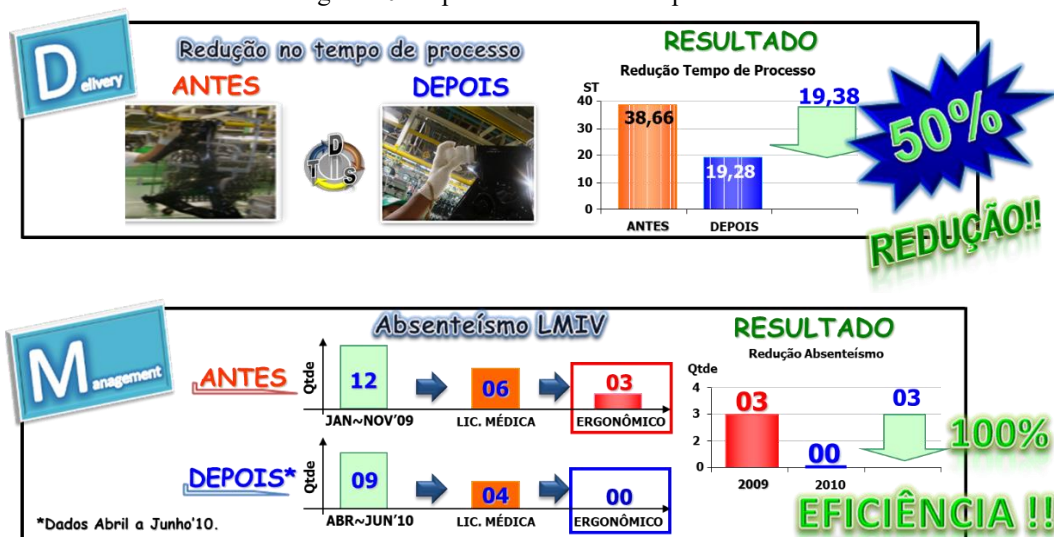
Figura 19: Detalhes do processo antes e depois da melhoria implementada



#### 4.1 IMPACTO NA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

A implementação do dispositivo automatizado resultou em uma redução média de 25% no tempo de ciclo das operações de montagem e aplicação de graxa. Essa diminuição foi atribuída à eliminação de atividades redundantes e ao aumento da consistência na execução das tarefas. Adicionalmente, a automação permitiu a redistribuição de operadores para atividades de maior valor agregado, otimizando o uso da força de trabalho disponível.

Figura 20: Impacto na Eficiência Operacional

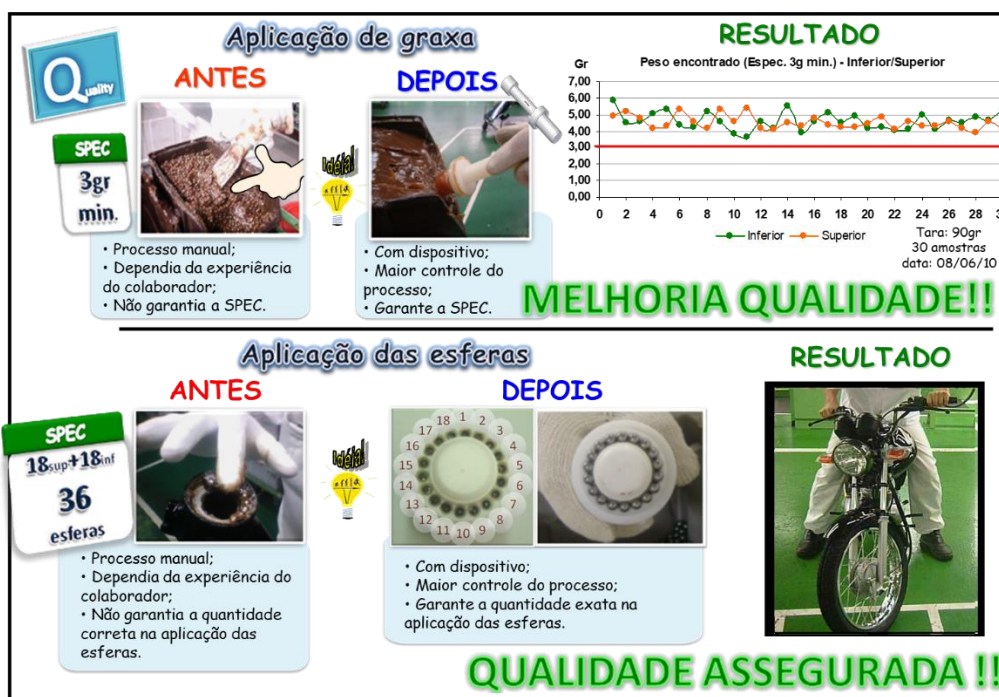




## 4.2 MELHORIAS NA QUALIDADE DO PRODUTO

A qualidade do produto final foi aprimorada devido à precisão do dispositivo automatizado na aplicação de graxa e posicionamento das esferas. Durante os testes, observou-se uma redução de 40% nos índices de retrabalho relacionados a falhas durante a montagem. Esses resultados corroboram estudos anteriores que apontam a automação como um fator determinante para a padronização e a redução de desperdícios (SILVA; PEREIRA, 2020).

Figura 21: Melhorias na Qualidade do Produto

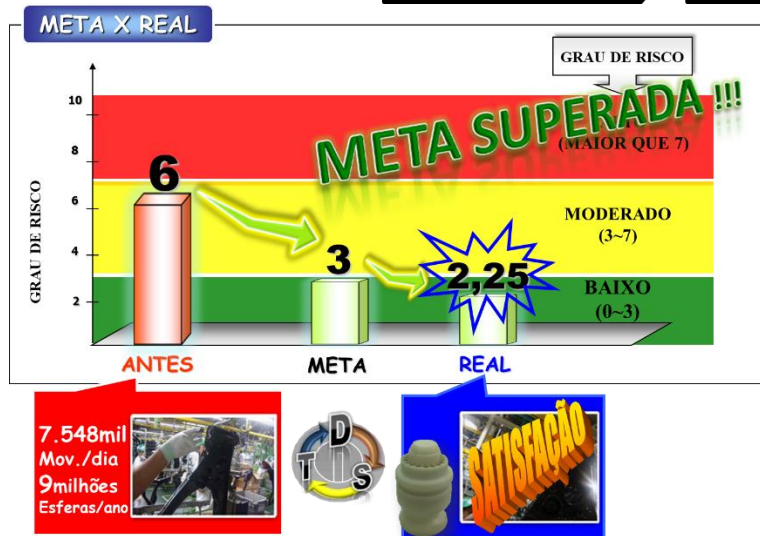
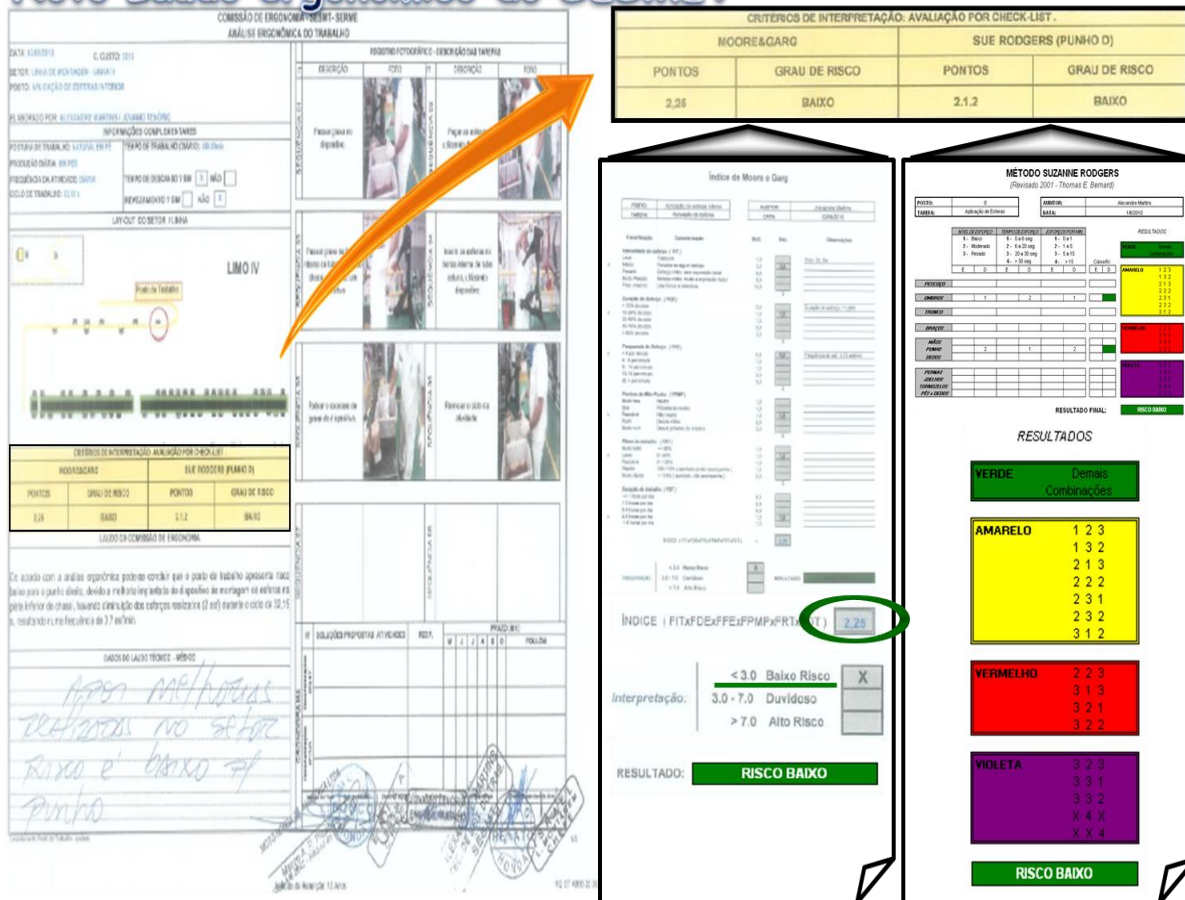


## 4.3 IMPACTO ERGONÔMICO

A automação trouxe melhorias significativas nas condições de trabalho dos operadores, especialmente na redução dos esforços repetitivos e da exposição a agentes químicos. Os questionários ergonômicos aplicados aos operadores indicaram um aumento médio de 30% na percepção de conforto e segurança. Além disso, as medições de esforço físico mostraram uma redução de 20% na carga sobre os membros superiores durante as operações de montagem.

Figura 22: Impacto Ergonômico

## Novo Laudo ergonômico do SESMET



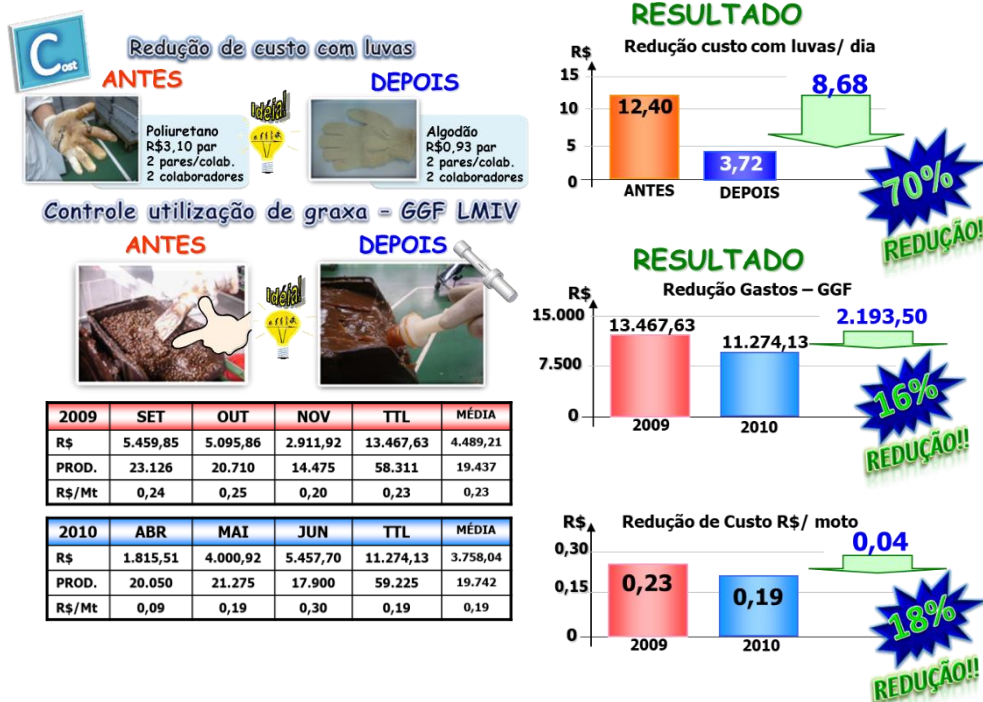
### 4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de custos revelou que o investimento no dispositivo automatizado apresentou retorno financeiro em menos de 12 meses. Essa viabilidade econômica foi impulsionada pela combinação de redução nos custos operacionais, aumento da produtividade e minimização de perdas relacionadas ao



retrabalho. Além disso, a melhoria na qualidade do produto reduziu significativamente os custos associados a garantias e reclamações de clientes.

Figura 23: Viabilidade Econômica



## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a implementação de um dispositivo automatizado na linha de montagem de motocicletas pode gerar benefícios significativos em termos de eficiência, qualidade e ergonomia. A automação permitiu uma redução expressiva no tempo de ciclo, aprimorou a qualidade do produto final e criou um ambiente de trabalho mais seguro e confortável para os operadores.

Além disso, a análise econômica confirmou a viabilidade financeira do projeto, destacando a automação como uma solução estratégica para empresas que buscam aumentar sua competitividade em mercados altamente exigentes. Este estudo também ressalta a importância de considerar os aspectos ergonômicos e de sustentabilidade na concepção de sistemas produtivos, garantindo benefícios que vão além do aumento da produtividade.

Como recomendação, sugere-se a ampliação do uso do dispositivo para outras etapas da linha de montagem, bem como a realização de estudos adicionais para avaliar o impacto da automação em diferentes contextos industriais. A integração de tecnologias avançadas, como inteligência artificial e sistemas ciberfísicos, também deve ser explorada como uma próxima etapa para aumentar ainda mais a eficiência e a adaptabilidade dos sistemas produtivos.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM), ao ITEGAM e as empresas Salcomp, Foxconn, Procomp/Diebold, Inventus Power, Coelmatic por meio da Lei no. 8.387/1991 de Informática para incentivo a Projetos de PD&I com apoio financeiro PUR044/2023/CITS ao projeto de Mestrado através da Coordenadora do Programa Prioritário da Indústria 4.0 e Modernização Industrial, o Centro Internacional de Tecnologia de Software (CITS)/CAPDA/SUFRAMA/MDIC.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. A.; MOREIRA, J. C. Automação e Ergonomia: Impactos na Indústria de Montagem. São Paulo: Editora Industrial, 2023.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. Discrete-Event System Simulation. 5. ed. Pearson Education, 2013.
- BORGES, A. L.; PINHEIRO, F. J. Redução de Custos Operacionais e Melhoria da Produtividade. Recife: Editora Empresarial, 2021.
- BOGUE, R. The role of robotics in the factory of the future. *Industrial Robot: An International Journal*, v. 43, n. 5, p. 463-468, 2016.
- BRASIL. Norma Regulamentadora NR12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília: Ministério do Trabalho, 2019.
- BRASIL. Norma Regulamentadora NR17 - Ergonomia. Brasília: Ministério do Trabalho, 2019.
- COSTA, L. A.; ALMEIDA, P. M. Gestão de Processos Produtivos e Qualidade. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2022.
- COSTA, L. A.; ROCHA, P. M. Inovação na Indústria: Desafios e Tendências. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2022.
- CRESWELL, J. W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 4. ed. SAGE Publications, 2014.
- DE LOOZE, M. P.; BOSCH, T.; KRAUSE, F.; STADLER, K. S.; O'SULLIVAN, L. W. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, v. 59, n. 5, p. 671-681, 2016.
- DUL, J.; BRUDER, R.; BUCKLE, P.; CARAYON, P.; FALZON, P.; MARRAS, W. S.; VAN DER DOELEN, B. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, v. 55, n. 4, p. 377-395, 2012.
- DUL, J.; NEUMANN, W. P. Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics*, v. 40, n. 4, p. 745-752, 2009.
- FERREIRA, M. A.; OLIVEIRA, T. C. Gestão de Saúde Ocupacional na Indústria. Belo Horizonte: Editora Saúde, 2021.
- FERREIRA, M. A.; OLIVEIRA, T. C. Saúde Ocupacional e Ergonomia na Indústria. Belo Horizonte: Editora Saúde, 2021.
- GRANDJEAN, E. Fitting the Task to the Man: A Textbook of Occupational Ergonomics. 4. ed. Taylor & Francis, 1988.

GROOVER, M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 5. ed. Pearson Education, 2019.

HEIZER, J.; RENDER, B. Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. 12. ed. Pearson Education, 2019.

HELANDER, M. A Guide to the Ergonomics of Manufacturing. 2. ed. CRC Press, 2006.

JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, p. 1-4, 2014.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Harvard Business Review Press, 1996.

KARWOWSKI, W. (Ed.). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. CRC Press, 2006.

KOTTER, J. P. Leading Change. Harvard Business Review Press, 1996.

LAW, A. M. Simulation Modeling and Analysis. 5. ed. McGraw-Hill Education, 2014.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18-23, 2015.

LIKER, J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill, 2004.

MARTINS, A. R.; ALT, S. Otimização de Processos Produtivos: Abordagens e Métodos. Curitiba: Editora Universitária, 2022.

MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. 9. ed. Wiley, 2017.

OHNO, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, T. C.; SILVA, J. P. Inovação na Engenharia de Produção: Tecnologias e Aplicações. Porto Alegre: Editora Técnica, 2022.

PYZDEK, T.; KELLER, P. A. The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. 4. ed. McGraw-Hill Education, 2014.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3. ed. Pearson Education, 2016.

SANTOS, F. J.; LIMA, R. B. Qualidade e Produtividade na Indústria de Montagem. Porto Alegre: Editora Técnica, 2021.

SILVA, J. P.; PEREIRA, D. S. Manual de Segurança e Saúde no Trabalho. Fortaleza: Editora Segura, 2020.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Operations Management. 8. ed. Pearson Education, 2018.

XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.