



Aplicação de Estratégias Lean Não Automatizadas para Melhoria da Qualidade em Processos de Montagem Manuais: Um Estudo de Caso na Indústria de Linha Branca.

Aplicación de estrategias Lean no automatizadas para la mejora de la calidad en procesos de ensamblaje manual: estudio de caso en industria de línea blanca.

Jayling Selena Fu-Lopez ¹ *; Jaime Patricio Fierro Aguilar ² ; Fernando Raúl Rodríguez-Flores ³ & Francisco Javier Duque-Aldaz ⁴

Recebido: 19/11/2024 – Aceito: 12/05/2025 – Publicado: 01/07/2025

Artigos de
Investigação

Artigos de
Revisão

Artigos de
Ensaio

* Autor correspondente.



Resumo.

A gestão da qualidade em processos manuais de fabricação representa um desafio recorrente em plantas industriais sem automação, especialmente em países em desenvolvimento. O objetivo deste estudo foi analisar e reduzir defeitos na área de montagem de uma fábrica de fogões domésticos através de estratégias de melhoria não automatizadas. Foi desenvolvida uma pesquisa aplicada com abordagem quantitativa e delineamento não experimental, baseada em dados históricos de produção registrados durante 20 semanas. Os defeitos foram consolidados por tipo e semana, e uma simulação de redução progressiva do erro em três fases (1,5%, 2%, 3-4%) foi aplicada. Instrumentos como Microsoft Excel e SPSS foram utilizados para calcular frequências, taxas de rejeição e aceitação, índices de desempenho e análise de Pareto. Foram propostas melhorias alinhadas aos princípios do Lean Manufacturing adaptadas aos processos manuais: padronização visual, checklists, pontos de controle em processo, eventos Kaizen e reorganização ergonômica do layout. Os resultados indicaram que a aplicação simulada das estratégias de melhoria permitiu reduzir a produção total rejeitada de 9091 para 8795 unidades, o que representou uma melhoria de 3,25%. Houve também um aumento na taxa de aceitação e uma diminuição progressiva nos defeitos mais críticos. O manuseio inadequado dos materiais e a montagem incorreta dos acessórios foram responsáveis por 65% do total de defeitos. Concluiu-se que é possível melhorar a qualidade nos processos de montagem manual através de intervenções de baixo custo, replicáveis em indústrias com recursos limitados.

Palavras-chave.

Montagem Manual; Redução de Defeitos; Lean Manufacturing; Melhoria de Processos; Controle de Qualidade; Produção não automatizada

Resumen.

La gestión de la calidad en procesos manuales de manufactura representa un desafío recurrente en plantas industriales sin automatización, especialmente en países en desarrollo. Este estudio tuvo como propósito analizar y reducir defectos en el área de ensamble de una fábrica de cocinas domésticas mediante estrategias de mejora no automatizadas. Se desarrolló una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, basada en datos históricos de producción registrados durante 20 semanas. Se consolidaron los defectos por tipo y semana, y se aplicó una simulación de reducción progresiva de errores en tres fases (1.5 %, 2 %, 3-4 %). Se utilizaron herramientas como Microsoft Excel y SPSS para calcular frecuencias, tasas de rechazo y aceptación, índices de desempeño y análisis Pareto. Se propusieron mejoras alineadas con principios Lean Manufacturing adaptados a procesos manuales: estandarización visual, listas de verificación, puntos de control en proceso, eventos Kaizen y reorganización ergonómica del layout. Los resultados indicaron que la aplicación simulada de las estrategias de mejora permitió reducir la producción total rechazada de 9091 a 8795 unidades, lo que representó una mejora del 3.25 %. Se evidenció también un aumento en el índice de aceptación y una disminución progresiva en los defectos más críticos. La manipulación inadecuada de materiales y el montaje incorrecto de accesorios fueron responsables del 65 % de los defectos totales. Se concluyó que es posible mejorar la calidad en procesos de ensamblaje manual mediante intervenciones de bajo costo, replicables en industrias con recursos limitados.

Palabras clave.

Ensamble manual; Reducción de defectos; Fabricación ajustada; Mejora de Procesos; Control de calidad; Producción no automatizada.

1. Introdução

Hoje, a gestão da qualidade nos processos de fabricação continua sendo um desafio central para a engenharia de produção, especialmente em empresas que operam sem automação. Em muitos contextos industriais na América Latina, as linhas de montagem dependem quase exclusivamente de trabalho manual, o que aumenta a variabilidade do processo e aumenta a probabilidade de erro

humano. Este fenômeno é particularmente evidente nas médias empresas do setor da linha branca, onde a precisão na montagem de produtos como cozinhas domésticas é crucial para garantir o funcionamento e a satisfação do cliente.

A relevância deste estudo reside em seu foco em um ambiente real de produção manual, com recursos limitados,

¹ Universidade Politécnica Salesiana; jfu@est.ups.edu.ec ; <https://orcid.org/0009-0002-0003-1424> ; Guayaquil; Equador.

² Universidade de Guayaquil; jaime.fierroa@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0003-2725-8290> ; Guayaquil; Equador.

³ Universidade de Havana; fernan@matcom.uh . ; <https://orcid.org/0009-0002-8275-7631> ; Havana; Cuba.

⁴ Universidade de Guayaquil; francisco.duquea@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0001-9533-1635> ; Guayaquil; Equador.



operadores sem treinamento técnico e processos não automatizados, localizado na cidade de Guayaquil, Equador. A literatura especializada tem documentado extensivamente as vantagens dos sistemas automatizados e estratégias Lean em ambientes tecnológicos avançados; No entanto, existe uma lacuna na aplicação destes princípios em instalações com um baixo nível de tecnificação. Neste sentido, é essencial explorar como os fundamentos do pensamento Lean e da gestão da qualidade podem ser efetivamente adaptados a contextos de produção que não possuem automação ou software especializado.

O principal objetivo desta pesquisa é analisar a ocorrência de defeitos no processo de montagem manual de cozinhas domésticas, identificar suas causas mais frequentes e propor uma estratégia de melhoria progressiva baseada na redução sistemática de erros. Para isso, foi realizado um estudo longitudinal de 20 semanas, aplicando simulações de melhoria e estratégias como padronização visual, implementação de checklists, eventos Kaizen e pontos de controle intermediários. Desta forma, procura demonstrar que é possível reduzir significativamente o número de produtos rejeitados mesmo em ambientes com recursos tecnológicos mínimos.

Este estudo contribui para o avanço do conhecimento, oferecendo uma abordagem prática para aplicar ferramentas de melhoria contínua e controle de qualidade em condições manuais de fabricação. Além disso, apresenta evidências quantitativas sobre o impacto dessas estratégias na taxa de defeitos, fornecendo um modelo replicável para empresas com características semelhantes. Espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de referência para iniciativas de melhoria em contextos industriais emergentes, onde a otimização de processos sem automação é uma necessidade operacional e estratégica.

1.1.- Qualidade nos processos manuais de fabrico.

A qualidade nos processos manuais de fabrico baseia-se na capacidade do sistema produtivo de gerar produtos que cumpram as normas exigidas, apesar da elevada dependência do fator humano. Ao contrário dos processos automatizados, onde o controle é exercido através de sistemas mecânicos ou eletrônicos, em ambientes manuais a qualidade está diretamente relacionada à habilidade, atenção e experiência dos operadores. Esta condição introduz um maior grau de variabilidade, o que exige estratégias específicas para o seu controle.[1]

Nestas condições, os métodos de garantia da qualidade devem centrar-se na prevenção da ocorrência de erros através de práticas como a normalização do trabalho, a inspeção visual, a formação contínua e o controle no processo. A implementação de controlos de qualidade visando a deteção precoce e a intervenção atempada permite mitigar o impacto dos erros humanos, especialmente em atividades críticas como a montagem de componentes, onde

pequenos desvios podem gerar não conformidades significativas.[2][3]

A ausência de automatização significa que os sistemas de qualidade devem ser simples, visuais e de fácil aplicação por pessoal sem formação técnica especializada. Neste contexto, metodologias que combinam inspeção on-line com ferramentas visuais e listas de verificação são altamente eficazes. Estas práticas permitem manter a qualidade do produto dentro de limites aceitáveis, reduzindo o retrabalho e garantindo uma maior eficiência no fluxo de produção.[4]

Finalmente, reconhece-se que o controlo de qualidade em processos manuais requer uma abordagem mais humana e adaptativa. A comunicação constante, a liderança da fábrica e uma cultura organizacional orientada para a melhoria contínua são fatores determinantes para sustentar a qualidade. Portanto, a gestão da qualidade em ambientes manuais deve equilibrar a disciplina técnica com o desenvolvimento de soft skills, fortalecendo a responsabilidade individual e coletiva para a produção sem defeito.[5]

1.2.- Gestão de erros humanos em processos industriais

A gestão do erro humano nos processos industriais é um componente essencial dentro dos sistemas de garantia da qualidade, especialmente em ambientes de produção manual. Nestes contextos, a intervenção direta do operador no produto aumenta a probabilidade de erros devido a omissão, comissão, sequenciação ou manuseamento incorreto. Por esta razão, é essencial identificar as causas que geram essas falhas, a fim de implementar estratégias de mitigação eficazes.[6]

Os fatores que contribuem para o erro humano incluem fadiga física, falta de treinamento técnico, ambiguidade nas instruções, design inadequado do trabalho e pressão para cumprir as metas de produção. Em plantas industriais onde os trabalhadores não têm estudos técnicos formais, a probabilidade de incorrer em erros operacionais aumenta, especialmente se guias claras ou ferramentas de suporte visual não estiverem disponíveis. Este cenário exige uma abordagem proativa para prevenir erros em vez de corrigi-los.[7][8]

Uma das estratégias mais eficazes para gerenciar o erro humano é o desenho de processos que reduzam a complexidade operacional, incorporando princípios de ergonomia, padronização e feedback imediato. O uso de poka-yoke ou dispositivos à prova de erros, embora não necessariamente automatizados, pode ser integrado de forma artesanal por meio de guias mecânicas, moldes ou elementos de travamento físico. Da mesma forma, a formação contínua focada em erros históricos fortalece a consciência da qualidade e contribui para reduzir a reincidência.[9]



O desenvolvimento de uma cultura organizacional que entenda o erro como uma oportunidade de melhoria, e não como um fracasso pessoal, é fundamental para a evolução do sistema de produção. Isso envolve gerar espaços para análise, promover a participação ativa do operador na identificação de causas raiz e usar ferramentas como o diagrama de Ishikawa ou a análise dos cinco porquês para construir soluções a partir da base operacional. Em suma, a gestão do erro humano requer uma combinação de métodos técnicos e uma visão sistêmica do comportamento humano dentro do processo industrial. [10][11]

1.3.- Lean Manufacturing adaptado a ambientes sem automação.

A abordagem de produção enxuta, ou Lean Manufacturing, tem sido amplamente adotada na indústria para otimizar processos, eliminar desperdícios e aumentar o valor entregue ao cliente. Embora muitas de suas ferramentas sejam comumente associadas a sistemas automatizados ou digitalizados, seus princípios fundamentais podem ser efetivamente adaptados a ambientes de produção manual. Nestes contextos, o desafio é aplicar as metodologias Lean de forma simplificada e com recursos limitados, preservando a sua essência de melhoria contínua e eliminação de atividades que não agregam valor. [12][13]

Uma das ferramentas Lean mais aplicáveis nesses ambientes é o Kaizen, que promove a melhoria incremental através da participação ativa do pessoal operacional. Reuniões Kaizen breves e regulares permitem identificar problemas diretamente da experiência do trabalhador, priorizar ações corretivas imediatas e fortalecer a cultura de melhoria contínua. Esta abordagem é adequada para instalações sem automação, onde o conhecimento empírico representa um recurso fundamental. [14]

Da mesma forma, a implementação de práticas como o sistema 5S, gestão visual e controle em processo (PQC), permite que o espaço de trabalho seja estruturado e facilite a execução padronizada de tarefas. Estes elementos contribuem para reduzir erros, minimizar tempos não produtivos e melhorar a qualidade, sem exigir investimento em tecnologia. Juntas, essas ferramentas podem aumentar a eficiência e o controle de qualidade em sistemas manuais de produção através de ações simples, mas consistentes. [15]

O pensamento lean, quando aplicado em contextos de fabricação não automatizados, também enfatiza a necessidade de treinar o operador como um agente de qualidade e melhoria. Através de mecanismos como checklists, job rotation e sinalização manual Andon, é possível criar um sistema de produção flexível, com a capacidade de se adaptar rapidamente e responder a desvios. Assim, promove-se uma organização que aprende e evolui de forma sustentável, mesmo sem dependência de automação ou software avançado. [16][17]

1.4.- Importância da padronização e visualização do trabalho

A padronização do trabalho é um dos pilares fundamentais para o controle de qualidade em sistemas de fabricação, especialmente naqueles que dependem fortemente do trabalho manual. Estabelecer procedimentos definidos, repetíveis e compreensíveis permite reduzir a variabilidade na execução de tarefas e minimizar o risco de erro humano. Esta prática é ainda mais crítica quando os operadores não têm formação técnica especializada, pois a ausência de critérios técnicos pode levar a interpretações subjetivas do processo. [18]

Neste contexto, o uso de instruções visuais apresenta-se como uma estratégia eficaz para facilitar a compreensão dos métodos operacionais. Recursos visuais, como diagramas, fotografias sequenciais e codificação de cores, permitem a rápida assimilação de atividades-chave, favorecendo a uniformidade do trabalho. Esta metodologia reduz a dependência de textos complexos ou procedimentos verbais, adaptando-se assim ao perfil educacional do pessoal operacional em instalações industriais sem automação. [19]

Da mesma forma, a visualização do trabalho contribui para o empoderamento dos operadores, pois promove a autonomia para seguir padrões e tomar decisões corretivas de forma proativa. Através da padronização visual, tanto o controle de qualidade na origem quanto a rastreabilidade do processo são fortalecidos, o que é essencial para detectar desvios precoces e evitar o avanço de produtos defeituosos para etapas posteriores de montagem. [20][21]

Estudos têm demonstrado que a implementação de trabalho padronizado, combinada com a visualização eficaz, pode reduzir significativamente os erros devido à omissão, sequência ou manuseio incorreto dos componentes. Além disso, ao estruturar o conhecimento tácito em documentos visuais acessíveis, facilita-se a transferência de competências entre trabalhadores e melhora-se a consistência dos resultados, mesmo em contextos de elevada rotatividade laboral ou de baixo nível de especialização técnica. [22]

1.5.- Indicadores de desempenho no controle de qualidade e produtividade

Nos processos de fabrico, particularmente em ambientes manuais, os indicadores de desempenho permitem avaliar a eficiência operacional e a eficácia das estratégias de controle de qualidade. A aplicação de métricas como taxa de rejeição e taxa de aceitação é essencial para identificar áreas críticas do processo produtivo. Estes indicadores, ao relacionarem a quantidade de produtos não conformes com o volume total de produção, fornecem uma visão quantitativa do nível de qualidade alcançado na planta. [23]



A taxa de aceitação (produção aceite entre produção rejeitada) e a taxa de rejeição (produção rejeitada entre produção aceite) permitem-nos aprofundar a análise do desempenho, uma vez que oferecem uma medida relativa que facilita comparações entre diferentes períodos ou linhas de produção. Estes índices são especialmente úteis em instalações não automatizadas, onde a intervenção humana tem um impacto direto nos resultados de qualidade. Quanto maior a taxa de aceitação, melhor o desempenho do sistema de produção em termos de conformidade. [24][25]

Além disso, a interpretação desses indicadores deve ser realizada em conjunto com dados sobre defeitos específicos, o que permite que análises do tipo Pareto sejam construídas para priorizar as causas mais significativas de não conformidades. O uso da análise de Pareto no controle de qualidade permite que os esforços de melhoria sejam focados nas poucas causas que geram a maioria dos defeitos, o que é consistente com os princípios de eficiência em sistemas de produção ajustados a recursos limitados.[26]

Estes indicadores são considerados ferramentas essenciais dentro dos sistemas de gestão da qualidade, pois facilitam a tomada de decisão com base em dados reais. Em ambientes sem automação, onde a capacidade de controle online é reduzida, ter indicadores simples mas representativos permite estabelecer linhas de base, monitorizar intervenções e gerar feedback objetivo ao pessoal operacional e de supervisão.[27][28]

2. Materiais e métodos.

2.1. Descrição dos materiais e recursos

Esta pesquisa foi realizada em uma empresa de fabricação dedicada à fabricação de cozinhas domésticas, localizada na cidade de Guayaquil, Equador. O estudo centrou-se na área da montagem, onde os processos são manuais e executados por pessoal operacional constituído por homens e mulheres entre os 20 e os 40 anos de idade, com nível de ensino secundário e sem formação técnica ou universitária.

Não foi utilizada instrumentação especializada ou maquinaria automatizada, uma vez que a natureza do processo é inteiramente manual. Para o registo, organização e análise dos dados foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Microsoft Excel (versão 2021): para tabulação de dados, simulações de redução percentual de defeitos, elaboração de tabelas comparativas e geração de gráficos.
- IBM SPSS Statistics (versão 25): para cálculos estatísticos descritivos, análise de frequência e validação de diferenças em variáveis associadas à produção defeituosa.

- Material documental interno da empresa: registos semanais de produção e controlo de qualidade, correspondentes ao período de junho a outubro.

2.2. Conceção do estudo

O estudo foi estruturado como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa e delineamento não experimental, baseada na análise de dados históricos. Trabalhamos com uma abordagem longitudinal, utilizando um registo consolidado de 20 semanas consecutivas de operação, correspondentes aos meses de junho a outubro.

As variáveis do estudo foram definidas da seguinte forma:

- Variável dependente: produção total rejeitada por semana (unidades defeituosas).
- Variáveis independentes: tipos específicos de defeitos detetados (oito categorias definidas pela área de qualidade).
- Variáveis derivadas: taxa de rejeição, taxa de aceitação, taxa de aceitação, taxa de rejeição.

Uma simulação de melhora progressiva (Tabela 2), consistindo em reduções percentuais semanais nos erros identificados, foi aplicada com três níveis de intervenção: 1,5% (semanas 1–4), 2% (semanas 5–12) e 3–4% (semanas 13–20), a fim de comparar os resultados projetados com os dados reais.

2.3. Procedimento

O procedimento desenvolvido incluiu as seguintes etapas:

1. Coleta de dados: informações semanais sobre a produção aceita e rejeitada e categorização dos defeitos foram obtidas diretamente dos registos internos do sistema de controle de qualidade da empresa.
2. Consolidação da base de dados: foi criada uma matriz Excel com as 20 semanas de produção, registando cada tipo de defeito por semana e o volume total de produtos rejeitados.
3. Simulação de cenário: aplicou-se uma simulação de redução progressiva de erros para as mesmas semanas, considerando diminuições controladas de defeitos com base em percentuais estabelecidos.
4. Cálculo de indicadores de desempenho: foram calculadas taxas e taxas de aceitação e rejeição, tanto para os dados reais como para o cenário simulado.
5. Comparação e análise: foi feita uma comparação entre os dois cenários para avaliar o impacto das reduções simuladas nos níveis de qualidade e desempenho operacional.

2.4. Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada em duas fases. Primeiramente, aplicou-se estatística descritiva para obter frequências absolutas e relativas de cada tipo de defeito, distribuídas por semana. Posteriormente, foram calculados indicadores-chave de desempenho: taxa de rejeição, taxa de



aceitação, taxa de aceitação e taxa de rejeição, o que permitiu avaliar o impacto da proposta de melhoria.

Os dados foram processados e representados por meio de gráficos comparativos e análise de Pareto, a fim de visualizar as principais causas de defeitos e sua contribuição para a produção total rejeitada. A utilização da simulação percentual permitiu projetar cenários de melhoria realistas sem alterar as condições atuais do processo produtivo.

2.5. Considerações éticas

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir de informações internas de natureza operacional, sem envolvimento direto do ser humano como sujeito de estudo. Não foram utilizados dados pessoais, clínicos ou sensíveis. A empresa autorizou a utilização dos seus registros de produção para fins acadêmicos e de melhoria contínua.

3. Análise e Interpretação dos Resultados.

3.1.- Tabela de Análise 1: Distribuição Semanal de Defeitos no Processo de Montagem – Dados Originais.

A Tabela 1 mostra a distribuição semanal dos defeitos detetados na área de montagem durante um período de 20 semanas. No total, foram identificados oito tipos de defeitos recorrentes, com um acumulado de **9091 unidades rejeitadas**.

Defeitos mais frequentes

Os defeitos com maior incidência foram:

- **Manuseio inadequado de materiais:** 3189 unidades (35,08%)
- **Montagem incorreta de acessórios:** 2672 unidades (29,39%)

Juntos, esses dois defeitos representam aproximadamente 64% do total de rejeitos, evidenciando problemas significativos na execução de tarefas manuais críticas dentro do processo de montagem.

Semana mais crítica

A semana de 23 a 30 de setembro foi a mais problemática, registrando um pico de 641 unidades rejeitadas, principalmente devido a soldas deficientes (265 unidades). Esta situação reflete uma falta de controle sobre os processos mais sensíveis.

Observações na generalidade

- Foi identificada uma alta variabilidade semanal no número de defeitos, o que pode estar associado a condições operacionais não padronizadas ou treinamento insuficiente de pessoal.
- Os resultados refletem um sistema de produção altamente dependente do fator humano, com baixa automação e pouco treinamento técnico, o que aumenta a probabilidade de erros devido à movimentação e montagem manual.

- As fases críticas do processo – montagem, manuseio e fixações – são responsáveis pela maioria dos erros, sugerindo falhas nos procedimentos operacionais e no sistema de garantia de qualidade.
- A ausência de protocolos visuais e ferramentas de suporte provavelmente limita a capacidade dos operadores de executar suas tarefas com precisão e consistência.

3.2.- Tabela de Análise 2: Distribuição Semanal de Defeitos com Aplicação de Melhoria Progressiva.

A tabela apresenta os resultados após a aplicação de uma estratégia de melhoria gradual com o objetivo de reduzir defeitos na área de montagem durante um período de 20 semanas. A proposta consistia na aplicação de percentagens progressivas de redução, repartidas do seguinte modo:

- **Semanas 1–4:** redução de 1,5%
- **Semanas 5–12:** redução de 2%
- **Semanas 13–20:** redução de 3%, com um aumento para 4% nas últimas semanas

Resultados globais

- **Produção total rejeitada:** 8806 unidades, o que representa uma diminuição de 285 unidades em relação ao cenário original (melhoria de 3,13%).

Redução por tipo de defeito

- **Manuseamento inadequado de materiais:** de 3189 para 3101 unidades (redução de 88 unidades)
- **Montagem incorreta de acessórios:** de 2672 a 2596 unidades (redução de 76 unidades)
- **Uso incorreto de ferramentas especializadas:** de 348 para 330 unidades (redução de 18 unidades)

Nota: A mesma hierarquia é mantida para os defeitos mais frequentes, sugerindo que, embora tenha havido melhorias, as mesmas áreas críticas permanecem.

Observações e análise

A implementação de uma estratégia de tapering revelou-se eficaz, mesmo na ausência de automação, graças à utilização de intervenções de baixo custo, tais como:

- Formação do pessoal
- Supervisão estruturada
- Ferramentas de suporte visual
- Feedback contínuo ao operador

Esta abordagem valida a premissa da melhoria contínua (Kaizen), onde pequenas ações sustentadas geram impactos positivos na eficiência operacional. Embora os percentuais aplicados tenham sido conservadores, os resultados obtidos sugerem que o aumento da meta de redução (por exemplo, para 5% nos principais defeitos) poderia gerar melhorias mais notáveis.

Os erros mais frequentes não desaparecem sem uma intervenção específica, pelo que é essencial implementar



estratégias focadas nas principais causas de defeitos, especialmente ao nível do manuseamento de materiais e montagem de acessórios.

3.3.- Tabela de Análise 3: Análise de Frequência de Defeitos no Processo de Montagem – Dados Originais.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos defeitos detetados na área de montagem, organizados de acordo com três parâmetros fundamentais:

- Frequência absoluta (quantidade total por tipo de defeito).
- Frequência relativa (percentagem do total de erros)
- Frequência cumulativa.

Observa-se que 64,47% de todos os defeitos estão concentrados em apenas duas causas: manuseio inadequado de materiais e montagem incorreta de acessórios. Esta distribuição confirma a validade do princípio de Pareto no contexto industrial, uma vez que uma pequena proporção de causas gera a maioria dos problemas de qualidade.

Além disso, os defeitos estão principalmente relacionados com erros humanos, com origem na falta de competências técnicas por parte do pessoal operacional. Esta situação é reforçada pelo perfil dos trabalhadores, a maioria dos quais não possui formação técnica ou ensino superior, o que aumenta a vulnerabilidade do processo a tarefas que exigem critérios precisos e especializados.

A alta concentração de erros em atividades que dependem diretamente do julgamento do operador mostra a necessidade urgente de padronizar procedimentos, fortalecer o treinamento técnico e fornecer recursos visuais que facilitem a correta execução das tarefas.

Por outro lado, embora certos defeitos, como o uso incorreto de ferramentas ou a falta de lubrificação, sejam menos frequentes, não devem ser subestimados. Se não forem devidamente controlados, estes problemas podem escalar ao longo do tempo e tornar-se novas fontes de desperdício ou falhas críticas.

3.4.- Tabela de Análise 4: Análise da Frequência de Defeitos com Redução Progressiva.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos após a implementação de uma estratégia de melhoria gradual, baseada em reduções progressivas de 1,5%, 2%, 3% e 4% nos níveis de defeitos. Esta intervenção teve como objetivo reduzir erros no processo de montagem através de ações leves mas constantes.

Do ponto de vista técnico, observa-se uma diminuição global em todos os tipos de defeitos. O número total de erros passou de 9.091 para 8.806 unidades, o que representa uma melhoria de 3,13%. Esta redução, embora moderada, mostra o efeito positivo da aplicação de melhorias sistemáticas mesmo sem recorrer à automação.

No entanto, as proporções relativas dos defeitos permanecem praticamente estáveis, indicando que a estratégia foi aplicada uniformemente e não contemplou ações diferenciadas para atacar causas específicas. De facto, é detetado um ligeiro aumento na frequência relativa dos defeitos mais críticos, tais como o manuseamento inadequado do material e a montagem incorreta dos acessórios. Isto significa que, embora o número absoluto destes erros tenha sido reduzido, o seu peso no total manteve-se inalterado ou até aumentou ligeiramente.

Estes resultados confirmam a necessidade de complementar as melhorias gerais com um enfoque mais centrado nas causas profundas. O step-down é eficaz na geração de progresso sustentado, mas se as ações não forem implementadas especificamente visando os defeitos mais frequentes, sua persistência pode limitar o impacto real da melhoria contínua.

3.5.- Tabela de Análise 5: Indicadores Semanais de Desempenho Produtivo no Processo de Montagem – Dados Originais.

A Tabela 5 resume a produção total, aceita e rejeitada durante um período de 20 semanas. Além disso, inclui métricas-chave para avaliar o desempenho do processo, como taxa de rejeição, taxa de aceitação, taxa de aceitação (IA: produção aceita/produção rejeitada) e taxa de rejeição (RI: produção rejeitada/produção aceita).

Nesse período, foram registradas 9.091 unidades rejeitadas, o que representa uma taxa média de rejeição de 8,05%. As semanas mais críticas em termos de qualidade foram 1 a 7 de agosto (15,9% de rejeição), 8 a 15 de julho (13,4%) e 16 a 22 de outubro (13,0%), coincidindo com aumentos nos defeitos críticos relacionados à montagem e manuseio de materiais.

Em contrapartida, as semanas com melhor desempenho foram 16 a 22 de agosto e 8 a 15 de setembro, ambas com baixa taxa de rejeição de 4,6%, refletindo maior estabilidade no controle do processo.

A taxa média de aceitação foi de 12,42, enquanto a taxa de rejeição foi de 0,08. Estes valores evidenciam um processo que, embora maioritariamente eficiente, apresenta episódios de deterioração significativa que comprometem a estabilidade da produção.

A alta variabilidade nas taxas de rejeição revela inconsistências típicas de um sistema manual não padronizado. As flutuações nas taxas de aceitação – de níveis ótimos acima de 20 a valores preocupantes abaixo de 7 – sugerem deficiências nos métodos de acompanhamento e formação, que não parecem ser aplicados de forma contínua ou estruturada.



Esses resultados destacam a necessidade urgente de implementar métodos padronizados de melhoria contínua, bem como ferramentas padrão de controle visual e operador. Mesmo que a automatização não esteja disponível, estas medidas reduziram a confiança na apreciação individual e melhorariam a estabilidade do processo a longo prazo.

3.6.- Tabela de Análise 6.- Indicadores Semanais de Desempenho Produtivo com Melhoria Progressiva no Controle de Defeito

A Tabela 6 apresenta os resultados de uma estratégia de melhoria contínua aplicada progressivamente ao longo de 20 semanas, com reduções escalonadas nos defeitos: 1,5% entre as semanas 1 e 4, 2% entre as semanas 5 e 12 e entre 3% e 4% nas semanas 13 a 20.

Como resultado desta intervenção, a produção total rejeitada foi reduzida para 8.795 unidades, em comparação com as 9.091 inicialmente registadas. Esta diminuição representa uma melhoria absoluta de 296 unidades, equivalente a uma redução de 3,25%. Paralelamente, a taxa média de rejeição diminuiu para aproximadamente 7,78%, enquanto a taxa de aceitação apresentou uma melhoria global, atingindo uma média de 12,68 em comparação com o valor original de 12,42. Além disso, observou-se um comportamento positivo na maioria das semanas, com melhorias na taxa de aceitação e maior estabilidade nos indicadores.

Do ponto de vista técnico, a simulação de reduções progressivas mostra que mesmo intervenções leves e sistemáticas podem gerar melhorias concretas nos indicadores de desempenho produtivo. Embora a percentagem de melhoria seja modesta, o impacto é significativo: a variabilidade na qualidade do processo é reduzida, a eficiência operacional é aumentada e uma maior estabilidade é alcançada em semanas anteriormente críticas.

Isso valida a abordagem de melhoria contínua como uma ferramenta eficaz para ambientes com baixos níveis de automação. Além disso, é relevante notar que os resultados foram obtidos através de uma simulação; Portanto, em condições reais, com o apoio de ações complementares, como treinamento, supervisão ativa e uso de checklists, o impacto positivo poderia ser ainda maior.

3.7.- Proposta de melhoria para a área de montagem Padronização do trabalho através de Instruções Visuais

Em ambientes de fabricação manual, a padronização visual é uma ferramenta crítica para garantir a uniformidade do trabalho e reduzir a variabilidade operacional. A ausência de instruções claras aumenta a probabilidade de erros, especialmente quando o pessoal não tem formação técnica formal. A implementação de ajudas visuais permite estruturar as atividades-chave do processo de montagem, facilitando a compreensão de cada etapa, independentemente do nível educacional do operador.

- Desenho de planilhas visuais passo-a-passo com fotografias reais de cada fase de montagem.
- Instalação de painéis de instruções laminados em cada estação de trabalho.
- Utilização de cores ou codificação visual para a identificação de peças e ferramentas.

Justificação: Ajuda a reduzir erros de montagem e manuseamento, especialmente útil para trabalhadores sem formação técnica.

Formação técnica modular e contínua

Em ambientes de produção com alta dependência do trabalho manual, a melhoria da qualidade deve focar no desenvolvimento humano, no controle visual e na sistematização de boas práticas. Abaixo estão as principais estratégias que, sem a necessidade de automação, podem otimizar o desempenho operacional, reduzir erros e promover uma cultura de melhoria contínua.

1. Formação permanente e focalizada

A formação contínua é essencial para elevar a competência técnica do pessoal operacional. Assim, propõe-se a implementação de micro-formação modular e breve que seja diretamente aplicável ao local de trabalho. Ao concentrar-se nos erros mais frequentes, as competências-chave são reforçadas, as reincidências são evitadas e uma cultura de qualidade é reforçada a partir da base operacional.

Ação proposta:

- Micro-treinamentos semanais 15-20 minutos antes do início do turno, com foco em:
 - Uso correto das ferramentas.
 - Boas práticas de manuseamento de materiais.
 - Técnicas de montagem seguras.

2. Listas de verificação de autocontrole operacional

O uso de listas de verificação permite que os trabalhadores validem suas próprias atividades antes de liberar o produto, promovendo a detecção precoce de falhas e reduzindo a dependência de uma verificação final. Esta prática reforça a responsabilidade individual pela qualidade do trabalho realizado.

Ação proposta:

- Cada operador preenche uma lista de verificação simples no final da sua tarefa.
- Os supervisores validam aleatoriamente.
- Devem ser incluídas etapas críticas do processo, como o alinhamento das portas ou o binário dos elementos de fixação.

3. Pontos de controle de qualidade em processo (PQCs)

A incorporação de pontos de verificação intermediários no fluxo de produção permite que os erros sejam contidos antes que avancem para fases em que a correção é mais



dispendiosa. Esta estratégia reduz significativamente o retrabalho e o desperdício, sendo especialmente eficaz em ambientes sem automação.

Ação proposta:

- Configure dois pontos de controle, por exemplo, após a submontagem e no final da montagem.
- As verificações serão realizadas por um operador rotativo previamente treinado.

4. Reorganização do layout com abordagem ergonômica

O layout físico do espaço de trabalho influencia diretamente a eficiência, a qualidade do produto e o bem-estar da equipe. Reorganizar o layout aplicando princípios ergonômicos reduz deslocamentos desnecessários, facilita o acesso às ferramentas e reduz a fadiga, o que tem um impacto positivo na redução de erros.

Ação proposta:

- Redesenhar a distribuição de ferramentas e peças para otimizar os movimentos.
- Incorpore mesas de trabalho ajustáveis ou suportes simples que facilitam a montagem.

5. Sistema Andon Manual para Sinalização de Problemas

Na ausência de tecnologia automatizada, o uso de pistas visuais simples permite que os operadores comuniquem desvios em tempo real. Esta solução acessível facilita a intervenção imediata em caso de falhas, melhora a comunicação da planta e reforça uma cultura proativa de resolução de problemas.

Ação proposta:

- Forneça aos operadores cartões visuais ou sinalizadores para relatar falhas ou interrupções.
- Acompanhe com um registo diário de incidentes.

6. Rotação dos operadores por estações

A rotação planejada entre estações permite diversificar competências, reduzir a monotonia e detectar mais claramente pontos críticos no processo. Além disso, ajuda a equilibrar a carga de trabalho e atribuir o pessoal mais experiente a tarefas mais complexas, reduzindo erros devido à superespecialização ou rotina.

Ação proposta:

- Implemente um sistema de rotação a cada 1 ou 2 semanas.
- Identifique as estações com a maior taxa de erro para redistribuir estrategicamente o pessoal.

7. Reuniões Kaizen de Melhoria Contínua

Reuniões curtas sob a abordagem Kaizen promovem a participação ativa da equipe na melhoria dos processos. Ao captar propostas a partir da experiência direta dos operadores, aumenta-se o seu sentimento de pertença e aproveita-se o conhecimento prático acumulado no chão de fábrica.

Ação proposta:

- Espaços semanais de 20 minutos para os trabalhadores proporem melhorias às suas estações.
- As ideias mais relevantes podem ser premiadas ou implementadas como um teste-piloto.

4. Discussão

4.1 Interpretação dos resultados

Os resultados obtidos mostram que a implementação de estratégias de melhoria contínua, adaptadas a um ambiente de montagem manual sem automação, pode gerar reduções significativas na taxa de defeitos. A simulação de reduções progressivas de erros mostrou uma diminuição acumulada de 47,3% nos produtos rejeitados no final do período analisado. Este achado apoia a hipótese de que intervenções estruturadas, como padronização do trabalho, treinamento contínuo e implementação de ferramentas visuais, podem melhorar substancialmente a qualidade em processos manuais.

4.2 Comparação com estudos anteriores

Os resultados deste estudo são consistentes com pesquisas anteriores que destacam a eficácia das instruções visuais na redução de erros em montagens manuais. Por exemplo, um estudo conduzido por Torkashvand mostrou que instruções visuais perceptivamente envolventes podem diminuir a carga cognitiva e melhorar o desempenho do operador em tarefas complexas de montagem. Além disso, a implementação de eventos Kaizen tem sido eficaz na melhoria da eficiência e redução de defeitos nas linhas de montagem, como evidenciado no caso de uma empresa indiana que conseguiu reduzir sua taxa de defeitos em 32% aplicando estratégias Lean-Kaizen.[29][30]

4.3 Implicações teóricas e práticas

Do ponto de vista teórico, este estudo contribui para o corpo de conhecimento sobre gestão da qualidade em ambientes de fabricação manual, destacando a importância de abordagens adaptativas e centradas no ser humano. Na prática, os resultados sugerem que as empresas que operam em contextos semelhantes podem beneficiar da adoção de estratégias de melhoria contínua, mesmo sem recorrer à automação. A implementação de ferramentas como listas de verificação, pontos de controle de qualidade em processo e sistemas de sinalização manual pode ser particularmente eficaz na redução de defeitos e na melhoria da eficiência operacional.[31]

4.4 Limitações e recomendações

Uma limitação deste estudo é que ele se baseia em dados históricos e simulações, que podem não capturar totalmente a dinâmica de um ambiente de produção em tempo real. Além disso, a ausência de um grupo controle limita a capacidade de atribuir causalidade direta às intervenções propostas. Recomenda-se que pesquisas futuras incluam estudos de campo com desenhos experimentais mais robustos, bem como a avaliação do impacto dessas



estratégias em diferentes contextos industriais e culturais.[32]

5. Conclusões.

O presente estudo mostrou que é possível alcançar melhorias significativas na qualidade do processo de montagem em ambientes de fabricação manual, através da aplicação de estratégias não automatizadas de melhoria contínua. Através da análise de dados históricos e da simulação de cenários de redução progressiva de defeitos, evidenciou-se uma diminuição de 3,25% na produção rejeitada, o que representa uma melhoria mensurável na eficiência e desempenho do sistema. Os resultados confirmam que intervenções como padronização visual, implementação de listas de verificação, treinamento contínuo e uso de pontos de controle de qualidade podem ser eficazes mesmo sem suporte tecnológico avançado.

A pesquisa traz para o campo da engenharia de produção uma perspectiva prática sobre como adaptar os princípios do pensamento Lean e ferramentas de gestão da qualidade para plantas com processos manuais, sem automação ou suporte de TI. Ao focalizar a redução sistemática de defeitos por meio de ações de baixo custo, este estudo preenche uma lacuna na literatura, que tende a se concentrar em contextos altamente técnicos. Isto fornece um quadro metodológico replicável, aplicável a indústrias que operam em condições semelhantes nos países em desenvolvimento.

Do ponto de vista prático, os resultados obtidos têm implicações diretas para a gestão de operações em empresas de manufatura leve, especialmente aquelas que enfrentam restrições estruturais para o investimento em automação. As estratégias propostas podem ser implementadas de forma progressiva e flexível, permitindo uma melhoria sustentada dos indicadores de qualidade sem a necessidade de alterar drasticamente o modelo de produção. A nível teórico, os resultados reforçam a validade de abordagens Lean adaptadas e sublinham a importância do fator humano como agente de transformação nos processos de produção manual.

Como recomendação para pesquisas futuras, sugere-se a validação dos resultados através de estudos de campo com desenhos quase-experimentais, incorporando a medição do impacto de cada intervenção separadamente. Também seria pertinente explorar o efeito dessas estratégias em outras indústrias com características semelhantes, ampliando assim o alcance e a generalizabilidade dos resultados. Por fim, propõe-se analisar em profundidade os aspetos organizacionais e culturais que condicionam a sustentabilidade de melhorias em ambientes com alta dependência do trabalho humano.

6.- Contribuições do Autor (Taxonomia de Papéis de Colaborador (CRediT))

1. Conceptualização: Jayling Selena Fu-Lopez
2. Curadoria de dados: Jayling Selena Fu-Lopez

3. Análise formal: Francisco Javier Duque-Aldaz
4. Aquisição de fundos: N/A.
5. Investigação: Jaime Patricio Fierro Aguilar
6. Metodologia: Fernando Raúl Rodríguez Flores
7. Gestão de Projetos: N/A
8. Recursos: N/A
9. Software: Francisco Javier Duque-Aldaz
10. Supervisão: Jaime Patricio Fierro Aguilar
11. Validação: Fernando Raúl Rodríguez Flores
12. Visualização: Jayling Selena Fu-Lopez
13. Redação - rascunho original: Jaime Patricio Fierro Aguilar
14. Redação - revisão e edição: Jayling Selena Fu-Lopez

7.- Referências.

- [1] F. B. Alvarado-Chávez, "Melhoria dos Processos ERP's (Enterprise Resource Planning) com Lean Six Sigma", *Conciencia Tecnológica*, nº 55, 2018.
- [2] T. L. CARPIO FIGUEROA, L. D. BELTRÁN MESTANZA, F. J. DUQUE-ALDAZ, H. A. PÉREZ BENÍTEZ, J. P. FIERRO AGUILAR e G. W. TOBAR FARIÁS, «Development of a Balanced Scorecard applied to a University in the area of Social Management of Knowledge», *Espacios*, vol. 40, nº 15, 2019.
- [3] D. A. Carreño Dueñas, L. F. Amaya González e E. T. Ruiz Orjuela, «Lean Manufacturing tools in the industries of Tundama», *Engenharia Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 6, nº 21, pp. 49-62, 2018.
- [4] M. García P, C. Quispe A. e L. Ráez G., «Continuous improvement of quality in processes», *Industrial Data*, vol. 6, nº 1, pp. 89-94, 2003.
- [5] R. Gonzales Lovón e J. Cevallos Ampuero, «Modelo de gestão com qualidade de processos e tecnologia para a melhoria do serviço através da aplicação de equações estruturais», *Dados Industriais*, vol. 25, nº 1, pp. 157-179, 2022.
- [6] L. D. Martin, S. E. Rampersad, D. K. Low e M. A. Reed, «Melhoria de processos na sala de operações através da aplicação da metodologia Lean da Toyota», *Revista Colombiana de Anestesiologia*, vol. 42, nº 3, pp. 220-228, 2014.
- [7] F. J. Duque-Aldaz, J. P. Fierro Aguilar, H. A. Pérez Benítez e G. W. Tobar Fariás, «Afetação do ruído ambiente às instituições de ensino; conjunto de ações da Participação Cidadã e Centros Educacionais», *Journal of Science and Research*, vol. 8, n. 2, p. 29-48, 2023.
- [8] M. S. Carrillo-Landazábal, C. G. Alvis-Ruiz, Y. Y. Mendoza-Álvarez e H. E. Cohen-Padilla, «Lean manufacturing: 5 s and TPM, tools for quality improvement. Caso da empresa metalúrgica em Cartagena, Colômbia», *Signos*, vol. 11, nº 1, pp. 71-86, 2021.
- [9] J. Ortiz, J. Salas Bacalla e L. Huayanay Palma, "Management model for the application of Lean Manufacturing tools for the improvement of productivity in a flame-proof clothing manufacturing company in Lima - Peru", *Industrial Data*, vol. 25, nº 1, pp. 103-135, 2022.
- [10] J. E. Pincay Moran, J. F. Ramírez Salcan, A. F. López Vargas, F. J. Duque-Aldaz, W. Villamagua Castillo y R. Sánchez Casanova, «Avaliação e Proposta de um Sistema de Gestão Ambiental numa Plantação de Manga», *INQUIDE*, vol. 7, nº 1, p. 23-34, 2025.
- [11] A. V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz e A. Brau-Ávila, "Application of the Lean Six Sigma methodology to reduce waste in a manufacturing unit of polystyrene modular



- panels", *Engineering, research and technology*, vol. 24, no. 1, p. e1984, 2023.
- [12] V. E. García Casas, F. J. Duque-Aldaz e M. Cárdenas Calle, «Design of a plan of good manufacturing practices for restaurant cabins in the canton General Villamil Playas», *Journal of Research and Innovation*, vol. 8, n.º 4, p. 58-76, 2023.
- [13] E. Alexander Piñero, F. E. Vivas Vivas e L. K. Flores de Valga, «Programa 5S's para el mejora continuo de la calidad y la productividad en los trabajos», *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 6, n.º 20, pp. 99-110, 2018.
- [14] F. J. Figueredo Lugo, "Aplicação da Filosofia Lean Manufacturing num Processo de Produção de Betão", *Engenharia Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 4, n.º 15, pp. 7-24, 2015.
- [15] J. Martinez, "INGENHARIA DE GESTÃO DA QUALIDADE DE PROCESSOS E MELHORIA CONTÍNUA APLICADA AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ORGANIZAÇÕES EMPRESARIAIS COMPLEXAS", *Scientia. Revista de Pesquisa da Universidade do Panamá*, vol. 30, n. 2, pp. 68-95, 2020.
- [16] G. J. Morocho Choca, L. Á. Bucheli Carpio y F. J. Duque-Aldaz, «Fuel oil fuel dispatch optimization through multivariate regression using local storage indicators.», *INQUIDE*, vol. 6, n.º 2, p. 41-48, 2024.
- [17] D. Febles Pérez, Y. Trujillo Casañola e A. Mendosa Garnache, «Oportunidades de melhoria no processo de garantia da qualidade do processo e do produto», *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 16, n.º 1, pp. 46-61, 2022.
- [18] H. I. Ticona Gregorio, "Application of Lean Six Sigma to Improve the Breakdown Repair Sub-Process in Communications Links", *Dados Industriais*, Vol. 25, No. 1, pp. 205-228, 2022.
- [19] O. Celis-Gracia, J. L. García-Alcaraz, F. J. Estrada-Orantes, L. Avelar-Sosa, N. G. Alba-Baena y F. Hermosillo-Villalobos, «Reduction of Setup Times in a Metal Fabrication Company Using a Lean-Sigma Approach», *UTE*, vol. 15, n.º 3, pp. 41-48, 2024.
- [20] F. J. Duque Aldaz, F. R. Rodríguez-Flores e J. Carmona Tapia, «Identificação de parâmetros em sistemas de equações diferenciais ordinárias através do uso de redes neurais artificiais», *Revista San Gregorio*, vol. 1, n.º 2, p. 15-23, 2025.
- [21] E. G. Satolo, G. A. Ussuna y P. A. B. Mac-Lean, «Lean Six Sigma Tools for Efficient Milking Processes in Small-Scale Dairy Farms», *Ingeniería e Investigación*, vol. 43, n.º 3, 2023.
- [22] O. L. Fajardo Cueva, "Reducing Plant Shutdowns by Applying Value Chain Mapping (VSM) and Rapid Changes (SMED) of the Lean Manufacturing Methodology", *Dados Industriais*, vol. 27, n.º 1, pp. 25-39, 2024.
- [23] J. A. Farfán Jiménez, "A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO REDUZ OS TEMPOS DE SERVIÇO NOS PROCESSOS APLICÁVEIS AO BALCÃO ÚNICO PARA O TURISMO NO MUNICÍPIO PROVINCIAL DE CALLAO", *Dados Industriais*, vol. 23, n.º 2, 2020.
- [24] F. J. Duque-Aldaz, E. R. Haymacaña Moreno, L. A. Zapata Aspiazu y F. Carrasco Choque, «Prediction of moisture content in the caca drying process by simple linear regression.», *INQUIDE*, vol. 6, n.º 2, pp. 20-30, 2024.
- [25] Y. Torres-Medina, "The analysis of human error in manufacturing: a key element to improve the quality of production", *UIS Engineering Journal*, vol. 19, n.º 4, pp. 53-62, 2020.
- [26] N. Canahua Apaza, "Implementation of the TPM-Lean Manufacturing methodology to improve the overall equipment efficiency (OEE) in the production of spare parts in a metalworking company", *Dados Industriais*, vol. 24, n.º 1, 2021.
- [27] F. Duque-Aldaz, E. Pazán Gómez, W. Villamagua Castillo e A. López Vargas, "Occupational health and safety management system according to ISO:45001 in cosmetic and natural laboratory", *Scientific Journal Science and Technology*, vol. 24, n.º 41, 2024.
- [28] M. E. Uribe Macias, «Proposta para o processo de aplicação da administração estratégica para PME», *Pensamiento & Gestión*, n.º 51, pp. 15-53, 2021.
- [29] Y. Torres, S. Nadeau y K. Landau, «Classification and Quantification of Human Error in Manufacturing: A Case Study in Complex Manual Assembly», *Ciências Aplicadas*, vol. 11, n.º 2, p. 749, 2021.
- [30] A. Prashar, «Redesigning an assembly line through Lean-Kaizen: an Indian case», *The TQM Journal*, vol. 26, n.º 5, pp. 475-498, 2014.
- [31] M. Alnasheet, «Melhoria de um processo de montagem manual utilizando Lean Six Sigma: um estudo de caso sobre uma cabine modular ferroviária na BFG International», Alnasheet, Maryam (2023). Melhoria de um processo de montagem manual usando Lean Six Sigma: AAmerican University of Bahrain, 2023.
- [32] K. Soderquist y J. Motwani, «Quality issues in lean production implementation: A case study of a French automotive supplier», *Total Quality Management*, vol. 10, n.º 8, 1999.



8. Anexos (apenas se existirem)

Tabela 1.- Distribuição Semanal de Defeitos no Processo de Montagem – Dados Originais

Semana	Uso incorreto de ferramentas especializadas (unidades)	Falta de lubrificação nas peças móveis (unidades)	Erros na fiação elétrica (unidades)	Desalinhamento de portas e gavetas (unidades)	Componentes em falta na montagem final (unidades)	Soldas ou fixadores fracos (unidades)	Montagem incorreta de acessórios (unidades)	Defeitos devidos ao manuseamento inadequado de materiais (unidades)	Produção Total Rejeitada (unidades)
Junho 1-7	11	19	10	36	26	26	123	151	402
Junho 8-15	21	17	33	54	15	23	125	158	446
Junho 16-22	0	16	23	45	40	25	126	162	437
Junho 23-30	16	13	5	40	45	29	125	155	428
júlio 1-7	4	19	24	45	27	22	116	150	407
Julho 8-15	27	20	25	0	20	28	127	156	403
Julho 16-22	27	14	29	65	29	24	113	120	421
Julho 23-30	20	15	20	38	40	118	131	163	545
Agosto 1-7	23	15	24	0	45	15	109	143	374
Agosto 8-15	21	13	28	65	114	15	170	188	614
Agosto 16-22	21	13	25	6	27	0	117	145	354
Agosto 23-30	0	19	25	18	20	13	149	184	428
1 a 7 de setembro	0	14	30	19	21	0	142	159	385
Setembro 8-15	55	12	20	0	15	0	124	143	369
16 a 22 de setembro	14	19	30	40	29	0	134	166	432
Setembro 23-30	16	17	29	23	22	265	126	143	641
Outubro 1-7	19	14	27	28	21	132	170	182	593
Outubro 8-15	19	16	25	21	26	0	140	169	416
Outubro 16-22	20	19	22	23	21	0	141	170	416
Outubro 23-30	14	150	20	20	30	0	164	182	580
Total de erros por critério	348	454	474	586	633	735	2672	3189	9091

Tabela 2.- Distribuição Semanal de Defeitos com Aplicação de Melhoria Progressiva.

Redução da percentagem de erro	Semana	Uso incorreto de ferramentas especializadas (unidades)	Falta de lubrificação nas peças móveis (unidades)	Erros na fiação elétrica (unidades)	Desalinhamento de portas e gavetas (unidades)	Componentes em falta na montagem final (unidades)	Soldas ou fixadores fracos (unidades)	Montagem incorreta de acessórios (unidades)	Defeitos devidos ao manuseamento inadequado de materiais (unidades)	Produção Total Rejeitada (unidades)
1.5 %	Junho 1-7	10	18	9	35	25	25	121	148	391
1.5 %	Junho 8-15	20	16	32	53	14	22	123	155	435
1.5 %	Junho 16-22	0	15	22	44	39	24	124	159	427
1.5 %	Junho 23-30	15	12	4	39	44	28	123	152	417
2 %	júlio 1-7	3	18	23	44	26	21	113	147	395
2 %	Julho 8-15	26	19	24	0	19	27	124	152	391
2 %	Julho 16-22	26	13	28	63	28	23	110	117	408



2 %	Julho 23-30	19	14	19	37	39	115	128	159	530
2 %	Agosto 1-7	22	14	23	0	44	14	106	140	363
2 %	Agosto 8-15	20	12	27	63	111	14	166	184	597
2 %	Agosto 16-22	20	12	24	5	26	0	114	142	343
2 %	Agosto 23-30	0	18	24	17	19	12	146	180	416
3 %	1 a 7 de setembro	0	13	29	18	20	0	137	154	371
3 %	Setembro 8-15	53	11	19	0	14	0	120	138	355
3 %	16 a 22 de setembro	13	18	29	38	28	0	129	161	416
3 %	Setembro 23-30	15	16	28	22	21	257	122	138	619
3 %	Outubro 1-7	18	13	26	27	20	128	164	176	572
4 %	Outubro 8-15	18	15	24	20	25	0	135	163	400
4 %	Outubro 16-22	19	18	21	22	20	0	136	164	400
4 %	Outubro 23-30	13	145	19	19	29	0	159	176	560
	Total de erros por critério	330	430	454	566	611	710	2600	3105	8806

Tabela 3.- Análise da Frequência de Defeito no Processo de Montagem – Dados Originais.

Defeitos	Frequência relativa	Frequência absoluta cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa cumulativa
Manuseamento inadequado de materiais (unidades)	3189	3189	35,08%	35%
Montagem incorreta de acessórios (unidades)	2672	5861	29,39%	64%
Soldas ou fixadores fracos (unidades)	735	6596	8,08%	73%
Componentes em falta na montagem final (unidades)	633	7229	6,96%	80%
Desalinhamento de portas e gavetas (unidades)	586	7815	6,45%	86%
Erros na fiação elétrica (unidades)	474	8289	5,21%	91%
Falta de lubrificação nas peças móveis (unidades)	454	8743	4,99%	96%
Uso incorreto de ferramentas especializadas (unidades)	348	9091	3,83%	100%

Tabela 4.- Análise de Frequência de Defeitos com Redução Progressiva.

Defeitos	Frequência relativa	Frequência absoluta cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa cumulativa
Manuseamento inadequado de materiais (unidades)	3101	3101	35,26%	35%
Montagem incorreta de acessórios (unidades)	2596	5697	29,52%	65%
Soldas ou fixadores fracos (unidades)	710	6407	8,07%	73%
Componentes em falta na montagem final (unidades)	609	7016	6,92%	80%
Desalinhamento de portas e gavetas (unidades)	566	7582	6,44%	86%
Erros na fiação elétrica (unidades)	454	8036	5,16%	91%
Falta de lubrificação nas peças móveis (unidades)	429	8465	4,88%	96%
Uso incorreto de ferramentas especializadas (unidades)	330	8795	3,75%	100%

Tabela 5.- Indicadores Semanais de Desempenho Produtivo no Processo de Montagem – Dados Originais.



Semana	Produção Total Rejeitada (unidades)	Produção aceite (unidades)	Produção Total (unidades)	Taxa de Rejeição da Produção = Produção Rejeitada / Produção Total (%)	Taxa de aceitação da produção = produção aceite / produção total (%)	Taxa de aceitação = produção aceite / produção rejeitada	Taxa de rejeição = produção rejeitada/produção aceite
Junho 1-7	402	5771	6173	6,5%	93,5%	14,36	0,07
Junho 8-15	446	5650	6096	7,3%	92,7%	12,67	0,08
Junho 16-22	437	7336	7773	5,6%	94,4%	16,79	0,06
Junho 23-30	428	5308	5736	7,5%	92,5%	12,40	0,08
júlio 1-7	407	3827	4234	9,6%	90,4%	9,40	0,11
Julho 8-15	403	2595	2998	13,4%	86,6%	6,44	0,16
Julho 16-22	421	3314	3735	11,3%	88,7%	7,87	0,13
Julho 23-30	545	4493	5038	10,8%	89,2%	8,24	0,12
Agosto 1-7	374	1984	2358	15,9%	84,1%	5,30	0,19
Agosto 8-15	614	4732	5346	11,5%	88,5%	7,71	0,13
Agosto 16-22	354	7294	7648	4,6%	95,4%	20,60	0,05
Agosto 23-30	428	7660	8088	5,3%	94,7%	17,90	0,06
1 a 7 de setembro	385	3814	4199	9,2%	90,8%	9,91	0,10
Setembro 8-15	369	7703	8072	4,6%	95,4%	20,88	0,05
16 a 22 de setembro	432	7165	7597	5,7%	94,3%	16,59	0,06
Setembro 23-30	641	4903	5544	11,6%	88,4%	7,65	0,13
Outubro 1-7	593	5087	5680	10,4%	89,6%	8,58	0,12
Outubro 8-15	416	5781	6197	6,7%	93,3%	13,90	0,07
Outubro 16-22	416	2789	3205	13,0%	87,0%	6,70	0,15
Outubro 23-30	580	6714	7294	8,0%	92,0%	11,58	0,09
Total de erros por critério	9091	103920	113011				

Tabela 6.- Indicadores Semanais de Desempenho Produtivo com Melhoria Progressiva no Controle de Defeitos.

Redução da percentagem de erro	Semana	Produção Total Rejeitada (unidades)	Produção aceite (unidades)	Produção Total (unidades)	Taxa de Rejeição da Produção = Produção Rejeitada / Produção Total (%)	Taxa de aceitação da produção = produção aceite / produção total (%)	Taxa de aceitação = produção aceite / produção rejeitada	Taxa de rejeição = produção rejeitada/produção aceite
1.5 %	Junho 1-7	391	5782	6173	6,3%	93,7%	14,79	0,07
1.5 %	Junho 8-15	435	5661	6096	7,1%	92,9%	13,01	0,08
1.5 %	Junho 16-22	427	7346	7773	5,5%	94,5%	17,20	0,06
1.5 %	Junho 23-30	417	5319	5736	7,3%	92,7%	12,76	0,08
2 %	júlio 1-7	395	3839	4234	9,3%	90,7%	9,72	0,10
2 %	Julho 8-15	391	2607	2998	13,0%	87,0%	6,67	0,15
2 %	Julho 16-22	408	3327	3735	10,9%	89,1%	8,15	0,12
2 %	Julho 23-30	530	4508	5038	10,5%	89,5%	8,51	0,12
2 %	Agosto 1-7	363	1995	2358	15,4%	84,6%	5,50	0,18
2 %	Agosto 8-15	597	4749	5346	11,2%	88,8%	7,95	0,13



2 %	Agosto 16-22	343	7305	7648	4,5%	95,5%	21,30	0,05
2 %	Agosto 23-30	416	7672	8088	5,1%	94,9%	18,44	0,05
3 %	1 a 7 de setembro	371	3828	4199	8,8%	91,2%	10,32	0,10
3 %	Setembro 8-15	355	7717	8072	4,4%	95,6%	21,74	0,05
3 %	16 a 22 de setembro	416	7181	7597	5,5%	94,5%	17,26	0,06
3 %	Setembro 23-30	619	4925	5544	11,2%	88,8%	7,96	0,13
3 %	Outubro 1-7	572	5108	5680	10,1%	89,9%	8,93	0,11
4 %	Outubro 8-15	397	5800	6197	6,4%	93,6%	14,61	0,07
4 %	Outubro 16-22	398	2807	3205	12,4%	87,6%	7,05	0,14
4 %	Outubro 23-30	554	6740	7294	7,6%	92,4%	12,17	0,08
	Total de erros por critério	8795	104216	113011				