PROJETO *KAIZEN* NA FABRICAÇÃO DE TORRE DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

KAIZEN PROJECT IN THE MANUFACTURING OF POWER TRANSMISSION TOWERS

Sebastião Renato Pereira Junior
Estudante de Bacharelado em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: rennatojr@gmail.com

Patricia Passos da Silva
Estudante de Bacharelado em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: patipassos2823@gmail.com

Orientadora – Ana Carolina Mendonça Mansur
Pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica pela
Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
E-mail: ana.mansur@unifatecpr.com.br

RESUMO

A implementação do projeto *Kaizen* nas etapas de fabricação, galvanização, pré-montagem e expedição de torres de transmissão de energia tem como objetivo central otimizar o processo produtivo, minimizando desperdícios e aumentando a eficiência operacional, com ênfase na melhoria contínua da qualidade e na redução do tempo de manufatura. Essa abordagem é aplicada por meio da análise detalhada dos fluxos de trabalho, da identificação de gargalos e da adoção de boas práticas, abrangendo os processos de corte, furação, gravação, dobra, recorte, galvanização e pré-montagem, assegurando a montagem correta da torre antes da expedição para o canteiro de obras. Os resultados foram implementados em uma indústria de fabricação de estruturas metálicas onde foi possível identificar uma significativa redução no tempo total de movimentação, manufatura, diminuição de retrabalhos e de não conformidades, além do aumento na satisfação do cliente, proporcionado por entregas mais rápidas e produtos de alta qualidade.

Palavras-chave: *Kaizen*, Torre de Transmissão de Energia, Manufatura Enxuta.

ABSTRACT

The implementation of the *Kaizen* project in the stages of manufacturing, galvanizing, pre-assembly, and shipment of power transmission towers aims primarily to optimize the production process by minimizing waste and increasing operational efficiency, with a strong emphasis on continuous quality improvement and reduction of manufacturing time. This approach is applied through detailed workflow analysis, identification of bottlenecks, and the adoption of best practices, encompassing the processes of cutting, drilling, marking, bending, trimming, galvanizing, and pre-assembly, ensuring the correct assembly of the tower before shipment to the construction site. The results include a significant reduction in total manufacturing time, decreased rework and nonconformities, and increased customer satisfaction through faster deliveries and high-quality products.

Keywords: *Kaizen*, Power Transmission Tower, Lean Manufacturing.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica tem impulsionado o desenvolvimento da infraestrutura de transmissão, tornando as torres de transmissão componentes essenciais para o fornecimento eficiente de energia. Nesse cenário, a otimização dos processos de fabricação dessas estruturas é fundamental para garantir qualidade, segurança e cumprimento de prazos e custos exigidos pelo mercado. A aplicação do Lean Manufacturing contribui para a redução de desperdícios e o aumento da eficiência nas organizações *(MACHADO, 2020).*

Este trabalho propõe a aplicação do projeto *Kaizen* uma abordagem voltada à melhoria contínua nas etapas de fabricação, galvanização, pré-montagem e expedição de torres de transmissão. Por meio das ferramentas Gráfico de Espaguete, cronoanálise, 5S, brainstorming, diagrama de Ishikawa e 5W2H, o estudo visa eliminar desperdícios, melhorar a eficiência e promover uma cultura de excelência.

Os principais objetivos são a redução do tempo de manufatura, a minimização de retrabalhos e não conformidades, além da elevação da satisfação do cliente, contribuindo com a sustentabilidade e competitividade da indústria de transmissão de energia.

2. METODOLOGIA

2.1 Processo de Fabricação

O processo de fabricação das peças envolve diversas etapas mecânicas e automatizadas que garantem a qualidade e a precisão do produto final. Inicialmente, realiza-se o corte, a furação e a gravação por meio de processos mecânicos, sendo que, através da CNC (Comando Numérico Computadorizado), essas operações são executadas de forma automatizada, ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Máquina CNC para cantoneiras



Fonte: Os autores, 2025.

Em seguida, ocorre a dobra mecânica, utilizando matriz a frio com controle específico para evitar a perda de espessura do material, representado na Figura 2.

Figura 02 – Dobradeira para cantoneiras



Fonte: Os autores, 2025.

A etapa de abre e fecha da aba também é realizada mecanicamente, a frio, ilustrado na Figura 3, com uso de matriz apropriada para garantir a conformação correta da aba.

Figura 3 – Prensa Abre e Fecha Aba



Fonte: Os autores, 2025.

O recorte das cantoneiras é feito por prensa de recorte, igualmente mecânica e a frio, representado na Figura 4.

Figura 4 – Prensa de Recorte



Fonte: Os autores, 2025.

Após essas etapas, realiza-se a pré-montagem das peças, com verificação de montagem e dimensões, sendo possível a inspeção por parte do cliente, ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Pré-montagem Torre de Transmissão de Energia



Fonte: Os autores, 2025.

Em seguida, procede-se à preparação da superfície, com limpeza e tratamento adequados para garantir a aderência do zinco. Por fim, as peças passam pela galvanização, que consiste na imersão em zinco e posterior inspeção, seguindo as normas técnicas aplicáveis, ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Setor Galvanização a quente



Fonte: Os autores, 2025.

2.2 Conformidade com Normas e Códigos.

A fabricação segue rigorosamente normas técnicas nacionais e internacionais, como ABNT, INMETRO, ASTM, SAE e AWS. Entre as principais normas aplicadas estão:

- NBR 5426 e NBR 5427: Norma de Inspeção por Amostragem de atributos e variáveis.

- NBR 6323 e ASTM A123: Requisitos e verificação da galvanização.
- NBR 7007 e ASTM A6: Requisitos para perfis de aço-carbono.
- ASTM A36, A123, A153, entre outras: Especificações internacionais de materiais e processos.

2.3 Definição do Escopo

O estudo focou na aplicação do *Kaizen* nas etapas de fabricação de torres de transmissão de energia: corte, furação, dobra, marcação, galvanização, pré-montagem e expedição. Essas etapas foram selecionadas por apresentarem maior ocorrência de retrabalhos devido ao furo de fluxo, tempo ocioso e movimentações excessivas. Utilizou-se uma linha de produção real como estudo de caso para garantir a viabilidade prática das melhorias propostas.

2.4 Coleta de Dados

A coleta foi realizada in loco, por meio de observação direta (Gemba Walk), entrevistas, registros de produção e medições cronometradas. Foram coletadas informações sobre tempos de ciclo, movimentação de materiais, layout físico, fluxos de informação, indicadores operacionais e dados de manutenção, visando à identificação de desperdícios e gargalos.

2.5 Gráfico de Espaguete

Ferramenta utilizada para mapear o percurso dos operadores e materiais dentro do processo, permitindo identificar desperdícios, otimizar o layout e reduzir movimentações e tempos de transporte.

2.6 Cronoanálise

Aplicada para medir os tempos reais das operações, como setup, execução, movimentação e espera entre processos. Os dados subsidiaram a identificação de perdas e a definição de focos de melhoria, visando à redução do lead time.

2.7 Mapa Futuro do Processo

Com base na análise dos dados, foram propostas melhorias para otimizar os fluxos produtivos e eliminar desperdícios, com foco na eficiência.

2.8 Implementação e Avaliação

As melhorias foram aplicadas na linha de produção e os resultados monitorados por meio da comparação de indicadores antes e depois das mudanças.

2.9 Documentação e Comunicação

Os resultados e aprendizados foram registrados e compartilhados com a equipe, assegurando a continuidade das práticas *Kaizen*.

2.10 Definição das Ferramentas Utilizadas

A seguir, apresentam-se breves definições das ferramentas utilizadas neste estudo, com o objetivo de embasar tecnicamente a aplicação dos métodos adotados.

2.10.1 Gráfico de Espaguete:

Ferramenta de mapeamento visual utilizada para registrar o percurso de operadores, materiais ou informações no ambiente produtivo. Permite identificar deslocamentos excessivos e ineficientes, possibilitando melhorias no layout e redução de desperdícios, em conformidade com os princípios da manufatura enxuta.

2.10.2 Cronoanálise:

Método de estudo de tempos e movimentos que mede a duração de cada atividade realizada em um processo. Através da cronometragem precisa, identifica perdas operacionais, tempos ociosos e gargalos, contribuindo para a redução do lead time e o aumento da produtividade.

2.10.3 5W2H:

Ferramenta de planejamento e gestão que estrutura ações corretivas ou preventivas por meio de sete perguntas: *What* (O quê?), *Why* (Por quê?), *Where* (Onde?), *When* (Quando?), *Who* (Quem?), *How* (Como?) e *How much* (Quanto custa?). Favorece a clareza e a organização na execução de planos de ação.

2.10.4 5S:

Metodologia japonesa voltada à organização e padronização do ambiente de trabalho, composta por cinco princípios: *Seiri* (senso de utilização), *Seiton* (senso de ordenação), *Seiso* (senso de limpeza), *Seiketsu* (senso de padronização) e *Shitsuke* (senso de disciplina). Promove melhorias na eficiência, segurança e bem-estar organizacional.

2.10.5 Diagrama de Ishikawa (ou de Causa e Efeito):

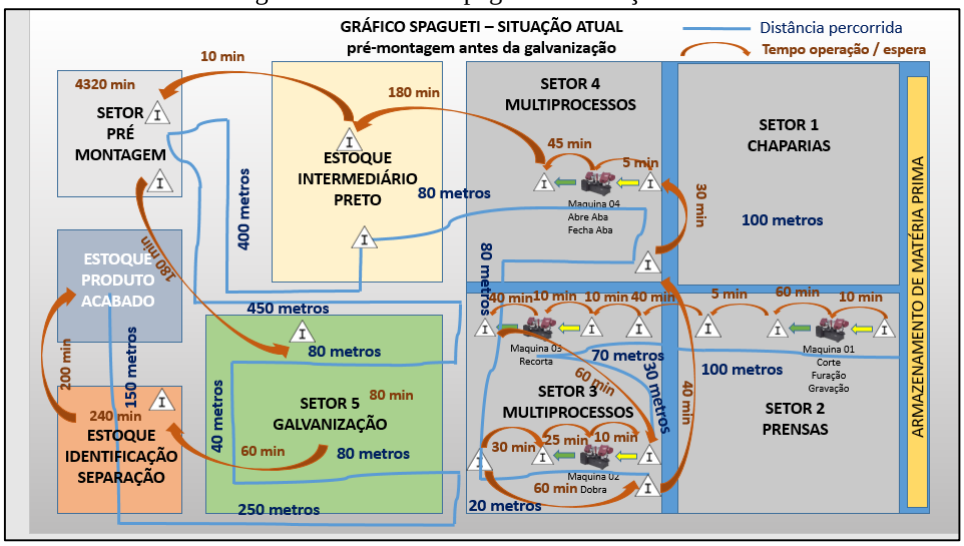
Ferramenta gráfica utilizada para identificar e categorizar as possíveis causas de um problema. Representado no formato de “espinha de peixe”, facilita a análise de causas raiz em áreas como mão de obra, métodos, materiais, máquinas, meio ambiente e medidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do projeto *Kaizen* nas etapas de fabricação, galvanização, pré-montagem e expedição de torres de transmissão gerou resultados expressivos, refletindo ganhos operacionais, organizacionais e qualitativos ao longo da linha de produção. Através do gráfico de espaguete, pudemos observar uma alteração de fluxo significativa, onde a pré-montagem que era antes do processo de galvanização, passa a ser posterior a

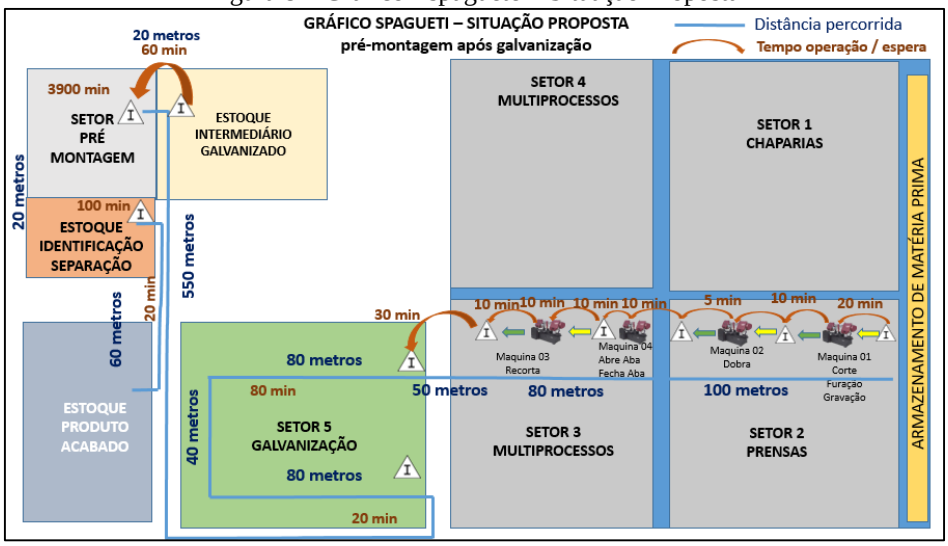
esta etapa, gerando grandes ganhos, conforme comparativo representado as Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Gráfico Espaguete – Situação Atual



Fonte: Os autores, 2025.

Figura 8 – Gráfico Espaguete – Situação Proposta



Fonte: Os autores, 2025.

3.1 Redução de Tempo e Movimentações

A reorganização do fluxo produtivo, com destaque para a introdução da pré-montagem após a galvanização, possibilitou uma redução significativa no tempo total de operação e espera. Os dados demonstraram uma diminuição de 5750 minutos para 4285

minutos por torre, representando um ganho de 1465 minutos, ou aproximadamente 24,4 horas por unidade produzida.

Esse ganho operacional, quando projetado para uma produção média mensal de 18 torres, resultou em 440 horas economizadas por mês e 5280 horas por ano. Essa economia de tempo impacta diretamente na capacidade produtiva da empresa, aumentando a produtividade sem a necessidade de ampliação de recursos ou investimentos adicionais em infraestrutura.

3.2 Melhoria no Layout e Redução de Desperdícios

A utilização do gráfico de espaguete evidenciou um alto índice de movimentações desnecessárias antes da intervenção *Kaizen*. Após o redesenho do layout, a distância percorrida por operadores e materiais foi reduzida de 1830 metros para 1080 metros, minimizando desperdícios de transporte e esforço físico, conforme os princípios da manufatura enxuta.

Além disso, houve uma redução dos pontos de estoque intermediário, de 19 para 10, o que contribuiu para um ambiente mais organizado e uma gestão visual mais eficiente. Essa mudança se alinha com os princípios do 5S, melhorando a rastreabilidade dos componentes e diminuindo o risco de falhas por erros de separação ou extravio de peças.

3.3 Confiabilidade da Montagem e Qualidade do Produto

A adoção da pré-montagem após a galvanização permitiu verificar as condições finais dos componentes galvanizados, assegurando a compatibilidade dimensional e funcional das peças. Isso reduziu a incidência de não conformidades em campo e retrabalhos no canteiro de obras, promovendo entregas mais confiáveis e assertivas.

A inspeção após a galvanização também facilitou a detecção de defeitos como excesso de zinco em furos, empenamentos e deformações, permitindo que ajustes fossem realizados ainda na fábrica. Com isso, a documentação técnica pôde ser consolidada de forma mais precisa, garantindo maior integridade dos dados no Data Book.

Esta seção será dedicada à apresentação e análise dos resultados obtidos a partir das intervenções propostas. Serão utilizadas tabelas, gráficos e outros recursos para comparar indicadores antes e depois da aplicação do *Kaizen*, como tempo de ciclo, taxa de retrabalho, produtividade e índice de satisfação do cliente, Tabela 1.

Gráfico de Espaguete			
Situção	Distância Percorrida	Tempo Operação / Espera	Estoque entre Processo
Unidade	Metros	Minutos	Quantidade
Atual	1830	5750	19
Proposta	1080	4285	10
Ganhos	750	1465	9

Tabela 1 – Gráfico Espaguete

4. VANTAGENS E DESVANTAGEM DA SITUAÇÃO PROPOSTA

4.1 Vantagens da Situação Proposta (pré-montagem após galvanização)

A adoção da pré-montagem após o processo de galvanização apresenta vantagens relevantes sob os aspectos de qualidade, produtividade e organização industrial. Um dos principais benefícios consiste na verificação dimensional e funcional dos componentes já galvanizados, o que possibilita a identificação de desvios causados pelo processo de galvanização, tais como excesso de zinco em furos, empenamentos ou deformações. Esta abordagem permite que eventuais não conformidades sejam detectadas e corrigidas dentro do ambiente fabril, evitando retrabalhos mais complexos e custosos no canteiro de obras.

A reorganização do fluxo produtivo gerou maior confiabilidade na montagem e reduziu falhas em campo. A distância percorrida caiu de 1830 m para 1080 m e o tempo total de operação e espera de 5750 min para 4285 min, resultando em um ganho médio de 1465 min (24,4 h) por torre — cerca de 440 h mensais e 5280 h anuais. Os pontos de estoque intermediário foram reduzidos de 19 para 10, melhorando a organização, diminuindo erros e alinhando o processo aos princípios do 5S e da melhoria contínua. A montagem galvanizada também trouxe mais precisão à documentação técnica e data book.

4.2 Desvantagens da Situação Proposta (pré-montagem após galvanização)

Apesar das vantagens mencionadas, a pré-montagem após a galvanização também apresenta algumas desvantagens operacionais. Uma das principais limitações reside na manipulação das peças galvanizadas, que requer maior cuidado para evitar danos ao revestimento. Além disso, o excesso de zinco pode dificultar a montagem, exigindo intervenções manuais, como escareamento e limpeza de furos, o que pode demandar ferramentas específicas e tempo adicional.

A execução da pré-montagem fica condicionada à finalização do processo de galvanização, o que pode implicar em impactos no cronograma, caso ocorram atrasos na etapa anterior. Também é necessário considerar a possibilidade de aumento pontual dos custos operacionais, tanto pela exigência de retrabalho mecânico quanto pela necessidade de capacitação dos operadores para atuação com peças galvanizadas.

4.3 Comparativo entre Situação Atual e Situação Proposta

A Tabela 2 compara a situação atual (pré-montagem antes da galvanização) com a situação proposta (pré-montagem após a galvanização), evidenciando melhorias como a detecção antecipada de falhas ainda em fábrica, redução do risco de retrabalho em campo, diminuição do tempo médio por torre e ganhos horas e melhora no controle do data book. Por outro lado, a proposta apresenta uma leve redução na facilidade de montagem, aumento moderado nos custos com retrabalho e maior dependência do processo de galvanização.

Critério	Situação Atual (pré-montagem antes da galvanização)	Situação Proposta (pré-montagem após a galvanização)
Detecção de falhas de galvanização	Limitada	Antecipada, ainda em fábrica
Risco de retrabalho em campo	Elevado	Reduzido
Tempo médio por torre	5750 minutos	4285 minutos
Ganho mensal estimado	-	440 horas
Ganho anual estimado	-	5280 horas

Pontos de estoque intermediário	19	10
Facilidade de controle do data book	Baixa	Elevada
Facilidade de montagem	Alta	Média (peças galvanizadas)
Custo com retrabalhos e ajustes	Baixo	Moderado
Dependência da galvanização	Baixa	Alta

Tabela 2 – Situação Atual x Situação Proposta

5. CONCLUSÃO

A reorganização do fluxo produtivo com a implementação do projeto Kaizen nas etapas de fabricação, galvanização, pré-montagem e expedição das torres de transmissão trouxe avanços significativos no processo industrial. A principal mudança — posicionar a pré-montagem após a galvanização — contribuiu para maior confiabilidade do produto final, já que possibilitou a verificação dimensional e funcional dos componentes em sua condição definitiva, reduzindo o risco de não conformidades em campo e retrabalhos no canteiro de obras.

Os ganhos em eficiência foram expressivos, com redução do tempo de operação, diminuição da distância percorrida no processo e eliminação de movimentações desnecessárias. Além disso, a redução dos pontos de estoque intermediário e o alinhamento ao 5S favoreceram um ambiente mais organizado, melhorando a rastreabilidade dos componentes e a gestão visual. O novo fluxo também viabilizou maior precisão na documentação técnica e na consolidação do data book, fortalecendo o controle de qualidade.

Apesar dos benefícios, o novo modelo exige maior atenção na manipulação das peças galvanizadas, além de maior dependência do cronograma da galvanização, o que pode impactar o planejamento em casos de atrasos. Também se observou um leve aumento no custo operacional, decorrente das adaptações necessárias durante a montagem e dos cuidados adicionais com o revestimento.

Diante desses resultados, conclui-se que a situação proposta representa uma evolução positiva no processo produtivo, trazendo ganhos consistentes em qualidade, produtividade e organização. Recomenda-se a continuidade do monitoramento dos indicadores e a capacitação das equipes para garantir a sustentação das melhorias e a superação dos desafios identificados.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A36/A36M-14 – Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2014. Acesso em: 29/05/2025

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**.** ASTM A123/A123M-17 – Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. Acesso em: 29/05/2025

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A153/A153M-16A – Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. Acesso em: 09/05/2025

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6323:2015 – Revestimento metálico – Galvanização por imersão a quente de produtos de aço e ferro fundido – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015. Acesso em: 09/05/2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14982:2003 – Chapas de aço-carbono e de aço de baixa liga para conformação a frio. Rio de Janeiro, 2003. Acesso em: 11/03/2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 7438:2017 – Materiais metálicos — Ensaio de dobramento. Rio de Janeiro, 2017. Acesso em: 11/03/2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 9013:2017 – Corte térmico de metais – Classificação da qualidade do corte. Rio de Janeiro, 2017. Acesso em: 14/02/2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 2768-1:2009 – Tolerâncias gerais – Parte 1: Tolerâncias para dimensões lineares e angulares sem indicação individual de tolerâncias. Rio de Janeiro, 2009. Acesso em: 14/02/2025.

MACHADO, Marilei Carvalho. A importância da implementação do sistema Lean Manufacturing nas organizações. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Franciscana, Santa Maria, 2020. Disponível em: https://www.ufn.edu.br/site/biblioteca/repositorio-tfg/BaixarTFG/Marilei%20Carvalho%20Machado/ADMINISTRA%C3%87%C3%83O_2020_TFG%20AUTORIZADO_2%C2%B0%20SEMESTRE_Marilei%20Carvalho%20Machado~pdf. Acesso em: 14/02/2025. Acesso em: 14/02/2025.