

ANÁLISE DE TRANSIÇÃO DO PROCESSO DE CORTE MANUAL PARA LASER VISANDO AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NUMA EMPRESA DE TRANSFORMADORES EM SUZANO

Vivian Aparecida da Silva¹
Mayara Thais Soares da Silva²
Sandra Helena da Silva de Santis³
Cleverson Faber de Assis⁴

RESUMO: Este estudo investiga os impactos da substituição do corte manual pelo corte a laser em uma indústria de transformadores localizada em Suzano (SP), com foco na melhoria da produtividade, qualidade e eficiência do processo fabril. Utilizando uma abordagem de estudo de caso com métodos quantitativos e qualitativos, a pesquisa avaliou indicadores como tempo de corte, desperdício de material, custo por peça e segurança no trabalho. Os resultados apontam avanços expressivos em todos esses aspectos, além de melhorias na ergonomia e nas condições dos operadores, devido à automação e à redução do esforço manual. A implementação do corte a laser, em consonância com os princípios da Indústria 4.0, mostrou-se uma estratégia eficaz para a modernização e a sustentabilidade da produção.

Palavras-chave: Automação industrial. Corte a laser. Indústria 4.0.

3143

ABSTRACT: This study investigates the impacts of replacing manual cutting with laser cutting in a transformer manufacturing company located in Suzano (SP), focusing on improving productivity, quality, and efficiency in the production process. Using a case study approach with both quantitative and qualitative methods, the research evaluated indicators such as cutting time, material waste, cost per unit, and workplace safety. The results show significant improvements in all these areas, along with enhanced ergonomics and working conditions for operators due to automation and reduced manual effort. The implementation of laser cutting, aligned with the principles of Industry 4.0, proved to be an effective strategy for modernizing and sustaining the production process.

Keywords: Industrial automation. Laser cutting. Industry 4.0.

¹Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial, Faculdade Tecnologia Ferraz de Vasconcelos.

²Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial, Faculdade Tecnologia Ferraz de Vasconcelos.

³Mestrado em Ciências – USP, Faculdade Tecnologia Ferraz de Vasconcelos.

⁴Pós -Graduado em Logística e Operações – IFSP, Faculdade Tecnologia Ferraz de Vasconcelos.

I INTRODUÇÃO

A busca contínua por maior produtividade, eficiência e qualidade tem impulsionado a adoção de tecnologias avançadas no setor industrial, como apontam Slack, Brandon-Jones e Johnston (2015), ao destacarem a importância de alinhar estratégias operacionais com a modernização tecnológica. Nesse cenário, a inserção de máquinas de corte a laser vem se consolidando como uma alternativa estratégica para modernizar as linhas de produção, oferecendo não apenas melhorias operacionais, mas também maior flexibilidade frente às exigências do mercado, como a personalização de produtos e a redução dos prazos de entrega.

Complementarmente, para Heizer, Render e Munson (2017), a automação e o controle de processos contribuem decisivamente para ganhos em qualidade e produtividade, além de proporcionarem maior previsibilidade e padronização. Segundo Pyzdek e Keller (2014, p. 198), “a otimização de processos consiste na prática de ajustar e aprimorar continuamente os métodos de produção, a fim de maximizar a eficiência, reduzir custos e assegurar padrões consistentes de qualidade”. Sob essa ótica, a automatização do corte representa um passo importante rumo à digitalização dos processos industriais e ao alinhamento com os princípios da Indústria 4.0.

Entre as tecnologias aplicáveis ao corte de materiais metálicos e compostos, destacam-se:

- a) Corte a laser;
- b) Corte a jato de água;
- c) Corte a plasma

Todas reconhecidas pela precisão, velocidade e adaptabilidade. O uso dessas técnicas, sobretudo nos setores automotivo e metalúrgico, tem gerado resultados expressivos em termos de qualidade final do produto, economia de insumos e capacidade de atender grandes volumes de produção em períodos reduzidos.

Ainda que seja evidenciado as vantagens pela substituição dos métodos manuais por processos automatizados, é necessário realizar uma análise minuciosa que avalie os impactos técnicos, econômicos e produtivos dessa transição. Considerando esse contexto, a análise volta-se para os impactos gerados pela implementação do corte a laser, especialmente nos aspectos relacionados à eficiência operacional, à qualidade dos processos e ao aproveitamento de materiais no ambiente industrial.

Este estudo tem como objetivo principal analisar os efeitos da adoção da tecnologia de

corte a laser em uma indústria de transformadores situada em Suzano, no estado de São Paulo. Os objetivos específicos são definidos entre:

- a) identificar os benefícios trazidos pela automação do processo de corte;
- b) levantar os principais desafios enfrentados durante a transição tecnológica;
- c) avaliar a qualidade das peças resultantes da nova tecnologia;
- d) mensurar os índices de desperdício de material antes e depois da implementação.

A análise foi conduzida ao longo do período de 5 meses (180 dias), abrangendo desde a fase de implementação gradual da tecnologia até a consolidação dos processos automatizados. Durante esse intervalo, foram realizadas observações técnicas, medições operacionais e entrevistas com os colaboradores envolvidos diretamente nas etapas de corte.

A metodologia adotada será o estudo de caso, segundo Yin (2015), o estudo de caso é especialmente útil em pesquisas aplicadas que buscam analisar transformações concretas em processos organizacionais reais, permitindo o cruzamento entre dados qualitativos e quantitativos. Além de permitir a utilização de dados operacionais, entrevistas com profissionais da área e análise comparativa de indicadores de desempenho no período anterior e posterior à implantação da tecnologia. Espera-se, com isso, fornecer dados concretos que auxiliem na tomada de decisões estratégicas e contribuam para a modernização sustentável da indústria.

3145

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço das tecnologias de manufatura tem promovido a substituição gradual do corte manual por sistemas automatizados, conforme argumentam Groover (2014) e Kalpakjian e Schmid (2010), que reconhecem os sistemas automatizados como essenciais na manufatura moderna para ganhos de escala, precisão e consistência.. Essa transição se tornou especialmente relevante em processos que exigem geometrias complexas, elevados padrões de qualidade e alta produtividade. A automação nesse contexto é viabilizada por equipamentos de ponta, como os sistemas de corte a laser, jato de água, plasma e roteadores CNC, que se destacam por sua eficiência, repetibilidade e velocidade operacional (Codinter, 2024).

O corte de chapas metálicas representa uma das etapas mais críticas dentro da indústria de transformação, sendo essencial para a produção de bens que vão desde peças automotivas até componentes eletrônicos. O aço carbono é um dos materiais mais frequentemente utilizados nesse processo, devido à sua robustez e ampla aplicabilidade. Segundo Silva (2017), o corte a

laser é particularmente eficaz nesse material, permitindo o processamento de diferentes espessuras com elevada precisão, rapidez e acabamento superior, quando comparado a métodos tradicionais como oxicorte e corte mecânico.

Com a evolução do corte a laser, observou-se uma mudança significativa na forma como a indústria realiza operações de separação de materiais. Essa tecnologia, ao concentrar um feixe de luz de alta potência em uma área extremamente pequena, possibilita cortes extremamente precisos, com densidades de potência que podem atingir valores em torno de 10^6 W/mm². Pereira (2019) aponta que os lasers de CO₂ e de fibra são os mais comuns na indústria atual, com o laser de fibra sendo mais eficiente no corte de chapas finas e médias, especialmente por sua economia energética e qualidade de acabamento. A adição de gases auxiliares, como oxigênio e nitrogênio, durante o processo, melhora o desempenho ao auxiliar na remoção de resíduos e na proteção dos componentes da máquina.

Nos processos de corte a laser, três tecnologias se destacam no setor industrial: laser de CO₂, laser de fibra e Nd:YAG. O equipamento que utiliza laser de CO₂, apesar de ser uma das primeiras tecnologias desenvolvidas, ainda apresenta boa versatilidade e menor custo de aquisição, sendo utilizado em diversos tipos de materiais, embora tenha menor eficiência energética em comparação aos modelos mais recentes. O laser de fibra, por sua vez, consolidou-se como a opção mais eficiente para a maioria das aplicações industriais, devido à sua alta precisão, velocidade de processamento, baixo consumo de energia e reduzida necessidade de manutenção. Por fim, o laser Nd:YAG é empregado em operações específicas, como cortes de maior profundidade e processos de soldagem que exigem elevado nível de precisão e resistência (NWETON, [s.d.]).

3146

Os benefícios do corte a laser vão além do aspecto técnico. De acordo com Souza (2020), essa tecnologia pode reduzir o tempo de produção em até 40% em relação aos métodos convencionais, além de garantir maior repetibilidade e qualidade nas peças fabricadas. Lima (2020) reforça essa perspectiva ao destacar a capacidade do corte a laser de reduzir perdas de material e aumentar significativamente a produtividade.

A automação associada a sistemas CNC (Controle Numérico Computadorizado) é outro fator determinante para a eficiência do processo. Esse tipo de controle permite executar cortes com exatidão, assegurando a repetibilidade das operações e minimizando falhas humanas. Para Carvalho (2021), essa automação impacta diretamente na competitividade das

empresas. De acordo com Hermann, Pentek e Otto (2016), a Indústria 4.0 é caracterizada pela integração entre sistemas ciberfísicos, automação inteligente e conectividade, elementos que tornam tecnologias como o corte a laser centrais para o novo paradigma industrial.

A versatilidade do corte a laser permite sua aplicação em diversos segmentos industriais, como os setores automotivo, aeroespacial, eletrônico, da construção civil e, principalmente, o metalúrgico. Martins (2018) observa que a tecnologia possibilita o corte de formas geométricas complexas e variadas espessuras, sem a necessidade de constantes trocas de ferramentas, o que favorece uma produção mais dinâmica e customizável.

Além de melhorar a eficiência produtiva, o corte a laser promove práticas sustentáveis. A acurácia do processo diminui o desperdício de material e a necessidade de retrabalho, enquanto o consumo energético reduzido — especialmente com a utilização de lasers de fibra — incentiva a implementação de ações alinhadas aos princípios ESG (Ambiental, Social e Governança). Oliveira (2020) ressalta que a redução dos custos operacionais, somada à durabilidade e baixa manutenção das máquinas, compensa o investimento inicial elevado, proporcionando retorno financeiro em prazos relativamente curtos.

Além disso, conforme apontado por Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), tecnologias inteligentes como o corte a laser são pilares da digitalização industrial e da customização em massa, tendências que definem o novo modelo de produção. Seu potencial de adaptação, impulsionado pelas demandas da Indústria 4.0 e pelas exigências de um mercado competitivo, posiciona essa solução como um diferencial estratégico para as empresas que buscam inovação, eficiência e sustentabilidade (NEWTON, [s.d.]).

3147

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em uma indústria fabricante de transformadores situada na cidade de Suzano, no estado de São Paulo. A empresa utilizava anteriormente métodos manuais para o corte de chapas metálicas, caracterizados por menor precisão e maior índice de desperdício. Diante da necessidade de modernizar sua linha de produção e torná-la mais eficiente, optou-se pela implementação do corte automatizado a laser.

Figura 1: Processo de corte manual de chapas metálicas.



Fonte: Freepik, 2025

Figura 2: Processo de corte automatizado a laser.



Fonte: Freepik, 2025

Em ambientes industriais caracterizados pela elevada competitividade, a incorporação de inovações tecnológicas constitui-se em um fator estratégico, ao promover a melhoria da qualidade dos produtos e a redução das perdas durante os processos produtivos. Slack et al. (1999) salientam que a adoção de sistemas automatizados possibilita ganhos expressivos em termos de precisão, além de proporcionar a diminuição do tempo de ciclo e do retrabalho.

3148

Materiais e Equipamentos Utilizados

A avaliação dos impactos da nova tecnologia foi realizada com o uso de recursos específicos, conforme descrito a seguir:

Chapas Metálicas: Foram utilizadas chapas de aço carbono e ligas metálicas em diferentes espessuras, variando de 1 mm a 12 mm, de modo a representar diferentes aplicações industriais. As chapas estavam de acordo com as especificações da norma ABNT NBR 11888:2017, assegurando o controle dimensional e a padronização do material. As chapas foram produzidas conforme os critérios definidos na norma ABNT NBR 11888:2017, assegurando a precisão nas dimensões e a conformidade padronizada do material.

Máquina de Corte a Laser CNC: A tecnologia aplicada foi o corte a laser de fibra óptica, operada por sistema CNC (Controle Numérico Computadorizado). Esse tipo de equipamento é reconhecido por sua elevada precisão, baixo consumo de energia e necessidade reduzida de manutenção. Fontana (2009) destaca que esse processo proporciona “bordas mais limpas e cortes

de alta precisão”. Já Pereira (2019) reforça que o laser de fibra é especialmente indicado para espessuras finas e médias, otimizando o consumo energético e diminuindo retrabalhos.

Instrumentos de Medição: A fim de assegurar a exatidão das análises, utilizaram-se paquímetros digitais, régua milimetrada e microscópio óptico portátil. Esses equipamentos possibilitaram a mensuração precisa das dimensões, a avaliação detalhada da rugosidade das bordas e a detecção de possíveis falhas nas peças.

4 Procedimentos Metodológicos

As etapas abaixo apresentando o processo de comparação realizado entre o corte manual e o corte automatizado.

Medição do tempo de corte: consiste no período necessário para cortar uma peça padrão, esse dado foi registrado nos processos manual e automatizado. Campos (2018) aponta que a utilização de sistemas automatizados de corte a laser pode ocasionar uma redução significativa no tempo de produção, promovendo maior eficiência produtiva.

Avaliação da Qualidade do Corte: A análise da qualidade envolveu critérios como precisão dimensional, uniformidade do acabamento e ausência de rebarbas ou imperfeições. As amostras foram inspecionadas visualmente e medidas com instrumentos de precisão, com base nas diretrizes da norma ISO 9013:2017, que regula a qualidade de cortes térmicos.

Cálculo do Desperdício de Material: Foi registrado o volume de material descartado em cada processo. O peso dos resíduos foi medido para determinar o índice de aproveitamento da chapa metálica. Segundo Campos (2018), a automação “otimiza o uso do material e melhora o retorno sobre o investimento”. Souza (2020) acrescenta que os sistemas automatizados podem reduzir as perdas em até 30%, quando comparados aos métodos manuais.

Verificação da Repetibilidade do Processo: Foram realizados cortes em séries repetidas de peças com as mesmas características, a fim de analisar a estabilidade e a uniformidade do processo automatizado. Lima (2020) evidencia que a implantação sistemas CNC reduz significativamente a variabilidade entre peças, garantindo um padrão consistente na produção.

A aplicação dessa metodologia permitiu avaliar de forma objetiva os ganhos de eficiência, qualidade e redução de custos obtidos com a adoção do corte a laser. Os dados levantados constituem base sólida para a análise comparativa entre as tecnologias e para a tomada de decisão sobre a viabilidade da sua implementação definitiva no ambiente industrial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adoção da tecnologia de corte a laser na indústria de transformadores analisada resultou em avanços significativos em termos de produtividade, qualidade e segurança no processo de fabricação das caixas metálicas. O processo anterior, manual, exigia uma série de etapas sequenciais e minuciosas, como a medição manual da espessura das chapas, traçagem com lápis de ferro, corte por guilhotina acionada por pedal, perfuração com brocas manuais e diversas operações com auxílio de lixadeiras e dobradeiras. Além do tempo elevado, essas etapas envolviam riscos ocupacionais constantes, como acidentes com ferramentas cortantes, exposição a ruídos intensos e esforços ergonômicos repetitivos.

A implantação do corte a laser CNC permitiu que a realização dessas demandas fosse significativamente otimizada. A automação do processo de corte resultou em um aprimoramento significativo da precisão dimensional, ao eliminar a necessidade de marcações manuais e reduzir a frequência de retrabalhos. Com o corte executado automaticamente conforme as especificações definidas no software, houve maior uniformidade entre as peças e uma diminuição dos desvios dimensionais. Consequentemente, essa evolução contribuiu para a redução dos índices de não conformidade e retrabalho, problemas que eram comuns devido às falhas humanas no processo manual.

3150

6 Tempo de Corte

A transição para o corte a laser resultou em uma redução considerável no tempo de produção. O processo manual exigia cerca de 30 minutos para cortar uma peça, com o corte a laser esse tempo foi reduzido para apenas 10 minutos por peça. Essa diminuição representa uma redução de 66,7%, calculada da seguinte forma:

Equação 1: Cálculo da Redução do Tempo de Corte

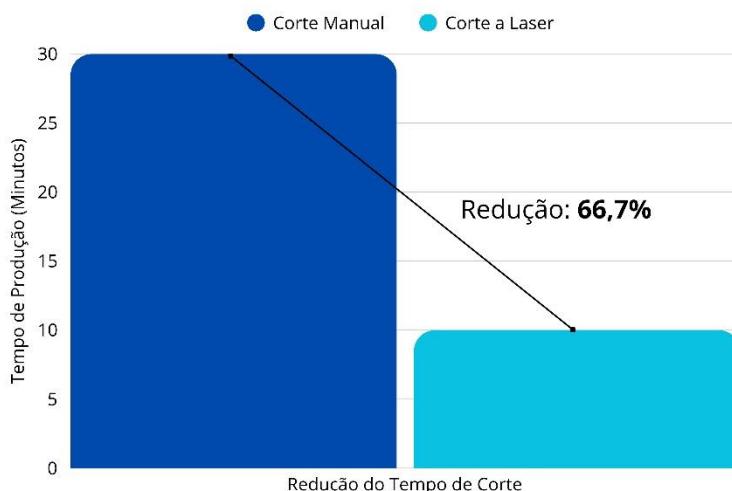
$$\text{Redução percentual} = \frac{30 - 10}{30} \times 100 = 66,7\%$$

Fonte: Autor, 2025

Essa redução significativa no tempo de corte colaborou diretamente para o aumento da capacidade produtiva da empresa, permitindo a fabricação de um número maior de peças em um período reduzido. A automação do processo eliminou a dependência de múltiplas etapas manuais e a necessidade de ajustes constantes nas máquinas, que antes consumiam tempo

adicional, como apresentado por meio do Gráfico 1.

Gráfico 1: Resultado da Redução do Tempo de Corte



Fonte: Autor, 2025

Os cálculos apresentados evidenciam a diferença entre os dois métodos de corte, destacando a eficiência em termos de tempo proporcionada pela tecnologia a laser. Essa melhoria não apenas agilizou o processo produtivo, como também contribuiu para a padronização dos tempos de fabricação e maior previsibilidade na linha de produção, impactando positivamente o planejamento operacional da empresa. 3151

7 Desperdício de Material

A melhoria referente ao desperdício de material pode ser evidenciada por meio do cálculo apresentado na Equação 2 abaixo.

Equação 2: Cálculo de Redução do Desperdício de Material

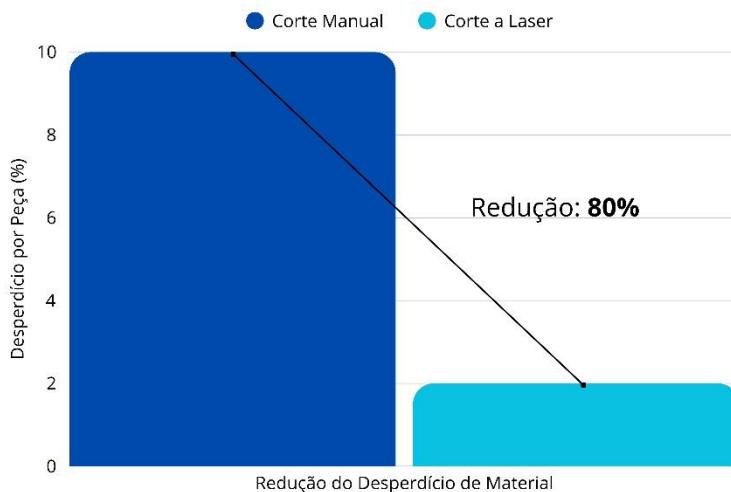
$$Melhoria\ percentual = \frac{10 - 2}{10} \times 100 = 80\%$$

Fonte: Autor, 2025

A interpretação dos resultados revela que o processo manual gerava cerca de 10% de desperdício por peça cortada, devido a imprecisões nas medidas, falhas de execução e perdas associadas ao uso de ferramentas manuais. Com a implementação do corte a laser, esse índice caiu para apenas 2%, representando uma melhoria de 80%. Essa evolução é ilustrada no gráfico

o2 a seguir:

Gráfico 2: Resultado da Redução do Desperdício de Material



Fonte: Autor, 2025

O uso da tecnologia de corte a laser, combinado com o melhor aproveitamento do espaço no posicionamento das peças, possibilitou uma maior eficiência no consumo do aço, minimizando perdas e reduzindo a quantidade de resíduos gerados durante a fabricação. Isso, além de contribuir para a sustentabilidade, também representou uma economia significativa no custo de matéria-prima. 3152

8 Custo por Peça

O custo por peça, um dos principais indicadores operacionais, também foi impactado positivamente pela implementação do corte a laser. A redução de custos é expressa pela Equação 3 a seguir:

Equação 3: Cálculo da Redução do Custo por Peça

$$\text{Redução percentual} = \frac{50 - 45}{50} \times 100 = 10\%$$

Fonte: Autor, 2025

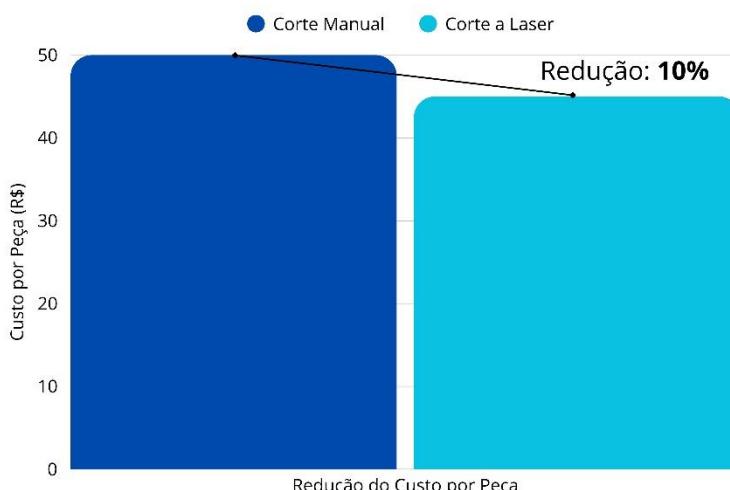
A análise dos dados evidencia que o custo médio de produção por peça, utilizando o corte manual, era de R\$ 50,00. Esse valor considerava fatores como tempo de operação, manutenção frequente das ferramentas e os custos adicionais decorrentes de retrabalhos provocados por imprecisões no processo. Com a implementação do corte a laser, o custo foi reduzido para R\$

45,00 por peça, representando uma diminuição de 10%.

Essa redução percentual reflete diretamente na competitividade do processo produtivo. A economia obtida decorre da otimização do tempo de produção, da redução de perdas de material e da menor demanda por manutenção corretiva, fatores que anteriormente impactavam negativamente os custos operacionais.

Além disso, o resultado da análise percentual demonstra que, mesmo considerando o investimento inicial na aquisição da tecnologia de corte a laser, os benefícios financeiros obtidos ao longo do tempo são capazes de compensar esse valor. O Gráfico 3 ilustra essa diferença no custo por peça antes e após a modernização do processo.

Gráfico 3: Resultado da Redução do Custo por Peça



3153

Fonte: Autor, 2025

Esse indicador reforça a viabilidade econômica da adoção da tecnologia, não apenas no curto prazo, mas também como estratégia de longo prazo para a sustentabilidade financeira da produção.

9 Segurança e Ergonomia

A automação também impactou positivamente a segurança e a ergonomia no ambiente de trabalho. O processo manual envolvia o uso de ferramentas pesadas e exigia que os operadores manipulassesem materiais de forma constante e repetitiva, o que aumentava o risco de acidentes e lesões. Com a implementação do corte a laser, a necessidade de manuseio manual foi reduzida, diminuindo a exposição dos trabalhadores a riscos como cortes acidentais, impacto

de ferramentas e esforço físico repetitivo. Além disso, o sistema de corte a laser é enclausurado e operado remotamente, o que aumentou a segurança dos operadores ao reduzir sua exposição a ruídos intensos e ao risco de contato com as máquinas em movimento.

10 Qualidade do Produto

A implementação do corte a laser resultou em uma elevação expressiva na qualidade das peças produzidas. O método manual frequentemente ocasionava bordas irregulares, rebarbas e desalinhamentos, necessitando de retrabalho e do uso de lixadeiras para corrigir essas imperfeições. Com o corte a laser, as bordas passaram a ser mais lisas e exatas, dispensando a realização de ajustes adicionais. Esse processo garantiu maior aderência às especificações do projeto, atendendo integralmente aos requisitos da norma ISO 9013:2017 e às diretrizes internas da empresa. Ademais, a precisão proporcionada pelo corte a laser assegurou o alinhamento correto das peças, aprimorando a montagem final das caixas metálicas e diminuindo os erros no encaixe das partes.

11 Benefícios Operacionais e Econômicos

3154

A análise geral dos dados indicou que a implementação do corte a laser resultou em uma série de melhorias operacionais e econômicas para a empresa. A eficiência produtiva foi significativamente ampliada pela diminuição do tempo de corte, da quantidade de material desperdiçado e do custo por unidade produzida. A empresa agora é capaz de produzir mais peças no mesmo período, utilizando menos material e com menor custo operacional. Além disso, a qualidade das peças produzidas aumentou, reduzindo o retrabalho e os custos adicionais com reparos e ajustes.

12 Segurança e Conformidade com a Indústria 4.0

A implementação do corte a laser não só permitiu ter maior eficiência e diminuição dos custos, mas também alinhou a empresa às diretrizes da Indústria 4.0. Incorporar os processos automatizados e digitalizados promoveu a padronização e a rastreabilidade da produção, fatores essenciais para cumprir os requisitos de qualidade e segurança no ambiente industrial. Ademais, a utilização de tecnologia de ponta possibilitou um controle aprimorado das variáveis do processo, assegurando a consistência e a superioridade dos produtos finais.

Em suma, as melhorias percebidas com a mudança no corte podem ser visualizadas por meio da Tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos Resultados obtidos nas mudanças realizadas no tipo de corte

Indicador	Corte Manual	Corte a Laser	Variação (%) / Ganho
Tempo por Peça (minutos)	30 min	10 min	-66,7%
Produção por Hora (peças)	2 peças/h	6 peças/h	+200%
Desperdício de Material (%)	10%	2%	-80%
Custo por Peça (R\$)	R\$ 50,00	R\$ 45,00	-10%
Desperdício por 100 peças	10 peças perdidas	2 peças perdidas	Redução de 8 peças
Tempo Total para 100 peças	3000 min (50 horas)	1000 min (16h40min)	Economia de 33h20min
Custo Total (100 peças)	R\$ 5.000,00	R\$ 4.500,00	Economia de R\$ 500,00
Segurança e Ergonomia	Riscos altos, ferramentas manuais	Operação remota, sistema enclausurado	Melhoria significativa
Qualidade das Peças	Bordas irregulares, retrabalhos	Bordas lisas, sem retrabalho	Conformidade com ISO 9013:2017
Conformidade com Indústria 4.0	Baixa	Alta (sistema CNC, rastreabilidade)	Aderente à Indústria 4.0

Fonte: Autor, 2025

3155

A análise dos dados apresentados na Tabela 1 evidencia os ganhos obtidos com a substituição do corte manual pelo corte a laser. Todos os indicadores analisados apresentaram melhorias significativas, refletindo diretamente na produtividade, eficiência e qualidade do processo industrial. O tempo por peça foi reduzido em 66,7%, o que, aliado ao aumento de 200% na produção por hora, demonstra um salto expressivo na capacidade produtiva. A redução de 80% no desperdício de material impacta positivamente tanto nos custos quanto na

sustentabilidade do processo. Além disso, os dados mostram uma economia de R\$ 500,00 a cada 100 peças produzidas, e uma redução de mais de 33 horas no tempo total de produção — fatores que reforçam o retorno financeiro do investimento. Também se destaca a evolução nos aspectos de segurança e ergonomia, com a eliminação de riscos associados ao manuseio de ferramentas manuais, e a melhoria na qualidade final das peças, agora conforme a norma ISO 9013:2017. Por fim, o alinhamento com os princípios da Indústria 4.0 — por meio da automação, rastreabilidade e controle digital — posiciona a empresa em um novo patamar de competitividade no setor.

13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, é evidente que a adoção do corte a laser trouxe benefícios significativos para a indústria de transformadores de Suzano. A implementação dessa tecnologia permitiu uma redução no tempo de produção, um aumento na precisão e qualidade das peças e uma diminuição substancial dos custos operacionais. Além disso, a segurança dos operadores foi significativamente melhorada, assim como a ergonomia no ambiente de trabalho. A redução do desperdício de material também gerou uma economia expressiva, o que fez do corte a laser um investimento vantajoso tanto do ponto de vista operacional quanto econômico.

Esses resultados demonstram que a transição para o corte automatizado a laser não só trouxe melhorias no desempenho técnico, mas também alinhou a empresa com as tendências da Indústria 4.0, posicionando-a para uma produção mais eficiente, segura e sustentável.

3156

REFERÊNCIAS

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11888:2017 – Chapas finas de aço-carbono laminadas a quente e a frio, com ou sem revestimento, para fins gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

CAMPOS, R. A. Eficiência produtiva na indústria metalúrgica: o impacto da automação nos processos de corte. São Paulo: Blucher, 2018.

CARVALHO, L. M. Automação industrial e controle de qualidade na manufatura. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

CODINTER. O que é corte automatizado e quais suas vantagens? 2024. Disponível em: <https://www.codinter.com>. Acesso em: 20 abr. 2025.

FONTANA, D. M. Tecnologia do corte a laser: fundamentos e aplicações. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2009.

GROOVER, M. P. *Automação Industrial e Sistemas de Manufatura*. São Paulo: Pearson, 2014.

HEIZER, J.; RENDER, B.; MUNSON, C. *Administração da Produção e Operações*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Technische Universität Dortmund, 2016.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. *Manufatura: Engenharia e Tecnologia*. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

LIMA, J. A. *Sistemas de corte a laser e sua contribuição para a indústria 4.0*. Belo Horizonte: UFMG, 2020.

MARTINS, G. R. *Tecnologia de fabricação mecânica: corte e conformação de metais*. 3. ed. São Paulo: Érica, 2018.

NEWTON, G. H. *Corte a laser: aplicações e tecnologias emergentes*. [S.l.]: LaserTech Press, [s.d.].

OLIVEIRA, T. S. *Sustentabilidade e inovação na indústria metalúrgica: o papel do corte a laser*. Recife: UFPE, 2020.

3157

PEREIRA, V. L. *Tecnologias de corte industrial: fundamentos e tendências*. Curitiba: InterSaber, 2019.

PYZDEK, T.; KELLER, P. *O manual do Six Sigma: um guia completo para o Six Sigma do início à certificação*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

SILVA, C. A. *Processos térmicos de corte e soldagem*. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1999.

SOUZA, R. B. *Corte a laser na manufatura: desempenho, custos e qualidade*. Florianópolis: UFSC, 2020.

YIN, R. K. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.