

# READEQUAÇÃO DE LAYOUT FABRIL PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM EMPRESA DO SETOR AGRÍCOLA

**Autor: Lorenzo Loureiro Dias, [lorenzo.dias@edu.pucrs.br](mailto:lorenzo.dias@edu.pucrs.br)<sup>1</sup>**

**Orientador: Carlos Alexandre dos Santos**

**Resumo.** *O presente trabalho apresenta o estudo, análise e desenvolvimento de layout para centralização dos processos produtivos do conjunto carcaça diferencial em uma única célula, visando otimizar o tempo de produção do cenário anterior, onde a produção era dividida em células e fábricas separadas. O estudo é fundamentado nos princípios da filosofia do Lean Manufacturing, que se baseia na eliminação de desperdícios, flexibilidade dos processos e aumento da qualidade. A cultura da manufatura enxuta dá enfoque à melhoria contínua, e para alcançar seus princípios e objetivos, foram desenvolvidas diversas ferramentas que auxiliam na orientação e identificação das atividades a serem realizadas. O conceito de layout industrial é apresentado, bem como seus tipos e a aplicação em cada um dos casos. O desenvolvimento do arranjo físico é entrelaçado com as definições e objetivos da manufatura enxuta, pois a configuração e disposição de máquinas e equipamentos impacta nos fluxos e tempos de produção, almejando sempre otimizá-los e diminuir os desperdícios de cada processo. Diante disso, o fluxo dos processos de produção da carcaça diferencial foi mapeado e analisado, sendo constatado que o transporte entre fábricas, após processo parcial na célula robotizada, gerava desperdícios de espera e de estoque em processo, aumentando o lead time do produto. Com os problemas identificados, surge a necessidade da centralização dos processos da carcaça diferencial em uma única célula para otimizar a produção, e para isso, uma readequação de layout eliminando os desperdícios identificados foi realizada. Um primeiro arranjo físico foi desenvolvido como ponto de partida, e diante de reuniões com a equipe técnica e a equipe da produção, diversas mudanças foram realizadas para atingir um layout ideal para os processos, procurando mitigar as perdas, criar um fluxo contínuo, fluido e seguro para os operadores. Após arranjo físico desenvolvido e implementado, foi possível comparar o estado atual com o cenário anterior, e os resultados comprovaram que foi possível reduzir o lead time da carcaça diferencial, aumentando a capacidade de produção diária do conjunto carcaça diferencial em 32%. O custo por peça foi reduzido em 24%, gerando economia significativa para a fábrica. Resultados qualitativos também foram alcançados, como o fluxo do processo mais linear, redução da movimentação dos operadores na célula, maior segurança, organização, supervisão e acompanhamento da produção da carcaça diferencial facilitado.*

**Palavras-chave:** *Layout. Produção. Processos. Lean. Manufatura*

## 1. INTRODUÇÃO

A otimização de processos de produção é um dos focos centrais de interesse e investimento nas indústrias, visto que afeta significativamente a eficiência e a capacidade produtiva, fatores estes que podem ser determinantes para a competitividade no mercado de atuação. Tendo em vista a busca incessante por redução de tempos de ciclo e aumento da capacidade produtiva, o mapeamento dos fluxos de produção e um planejamento eficaz do layout fabril exercem funções fundamentais para este propósito.

Neste contexto, uma empresa de maquinários e soluções agrícolas tem se empenhando em ampliar e otimizar as operações fabris para se destacar e suprir as demandas do mercado por maior competitividade e desempenho. Visando este panorama, a planta localizada em Canoas intensificou a busca por melhoria contínua e adotou estratégias de expansão e verticalização dos processos industriais, realizando transferências de operações entre plantas e absorção de novos processos, utilizando de metodologias como o *Lean Manufacturing*, que são frequentemente aplicadas para

otimizar o fluxo de processos e eliminar desperdícios nas operações fabris. Sharma e Sharma (2014) afirmam que, ao adotar uma abordagem enxuta, as empresas podem melhorar o fluxo de materiais e reduzir significativamente o tempo de ciclo, o que é crucial para a competitividade em mercados dinâmicos. A ampliação da área produtiva da planta de Canoas foi iniciada em 2017, ao adquirir mais um prédio para ser utilizado como fábrica, a fim de centralizar mais operações na planta de Canoas. Com a aquisição da chamada “Fábrica 02”, foi dado início no projeto de realizar a transferência de todas as operações de usinagem da Fábrica 01 para a Fábrica 02.

Em 2022, dentre os processos, surgiu a iniciativa de transferir a produção do “conjunto carcaça diferencial” (Figs. 1 e 2) da Fábrica 01 para a Fábrica 02, como estratégia da busca de centralização dos processos de usinagem, e consequente otimização de fluxos e eficiência. A produção da carcaça diferencial consiste em quatro processos, classificados como Operação 10, 20, 30 e 40, onde as operações 10 e 20 são de torneamento e operações 30 e 40 de fresamento e furação.

Figura 1. Componentes da carcaça diferencial brutos.

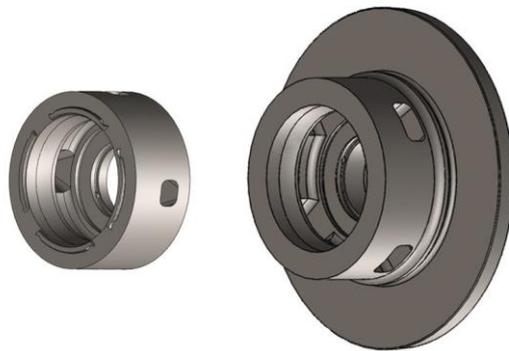
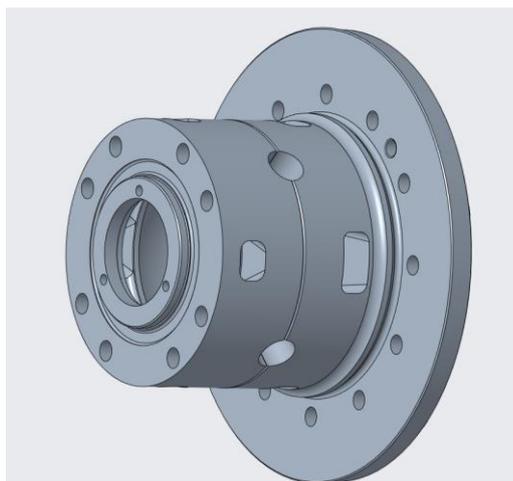
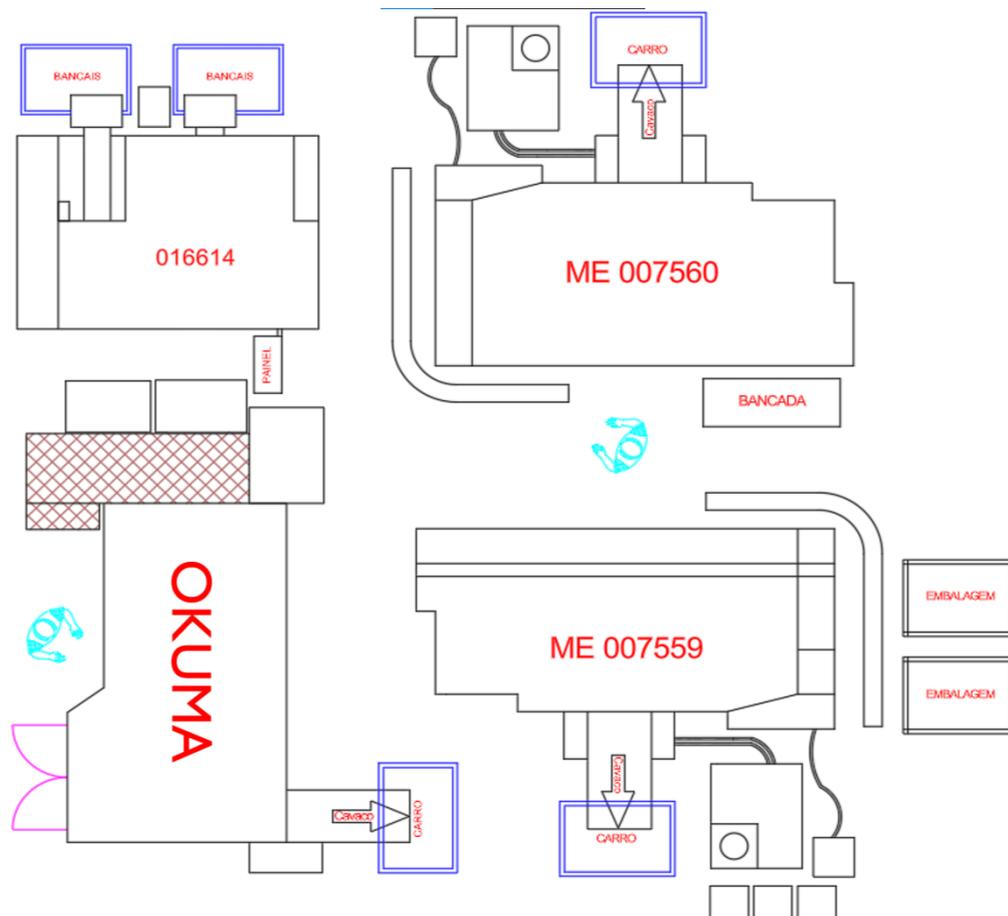


Figura 2. Conjunto carcaça diferencial usinado.



Previamente, o processo completo da carcaça diferencial era realizado em uma célula única na Fábrica 01 (Fig. 3), entretanto, devido à necessidade do sucateamento das máquinas que realizavam as operações 10 e 20, as mesmas foram transferidas para a célula robotizada, para que realizasse as duas primeiras operações de torneamento na Fábrica 02, enquanto as operações finais ainda eram realizadas na máquina Okuma, em uma célula da Fábrica 01.

Figura 3. Produção inicial da carcaça diferencial em única célula da Fábrica 01



Esta situação exigiu o transbordo das peças entre as duas fábricas, gerando ineficiência e diminuição da capacidade produtiva devido ao aumento do tempo de ciclo, motivando a integração completa das operações finais na célula existente da Fábrica 02, com o fim de eliminar a necessidade do transporte das peças entre células. Essa integração foi impulsionada pelo aumento do tempo total de produção causado pelo transporte, onde a logística adicional necessária para o movimento das peças demonstrava constantes atrasos na coleta das peças, impactando na eficiência global da produção. A integração de layout de instalações e fluxo de trabalho pode resultar em melhorias significativas na eficiência dos processos de produção, reduzindo tempos de movimentação e aumentando a produtividade. Logo, integrar a Okuma à célula robotizada significa mitigar os problemas logísticos e otimizar a produção.

O objetivo central deste trabalho é analisar a integração completa da produção da carcaça diferencial na Fábrica 02 e comparar o estado atual com o projeto implementado e o estado anterior, onde as operações eram divididas, a comparação utilizará de indicadores de capacidade de produção, custo por peça e alterações em elementos de ergonomia e segurança. A análise abordará elementos como: centralização dos processos, disponibilidade de horas-máquina, mapeamento e fluxo de processos, desenvolvimento e otimização de layout da célula de produção. Não serão abordadas as etapas de implementação relacionadas a movimentação e instalação dos equipamentos, tampouco os custos dessas atividades. Características específicas de processos usinagem, torneamento e ferramental para produção não serão tratadas, visto que não fazem parte da atuação direta no projeto nem do foco principal deste estudo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Lean Manufacturing ou Manufatura Enxuta

O sistema de produção enxuta, teve sua origem no Japão, sendo desenvolvido no período pós Segunda Guerra Mundial. Nesse cenário, a escassez de recursos e a crise econômica impediam que o modelo de produção em massa, criado por Henry Ford fosse funcional naquele momento, devido à falta de mercado consumidor interno e pela baixa quantidade de recursos e investimentos das empresas japonesas. O sistema *Lean Manufacturing* foi criado por Toyoda Sakichi, Toyoda Kiichiro e Taiichi Ohno, em um esforço para reestruturar e revitalizar a *Toyota Motor Company* durante o período de dificuldade. O sistema de produção enxuta baseia-se na redução de desperdícios, na flexibilidade nos processos, nos menores lotes de produção e na maior qualidade. A partir disto, diversas técnicas e ferramentas foram desenvolvidas para proporcionar e facilitar o alcance dos resultados esperados.

O conceito de *Lean Manufacturing* é definido de diversas maneiras diferentes, conforme apresentado a seguir:

A manufatura enxuta [...] é baseada na ideia de eliminar qualquer desperdício na indústria, ou seja, qualquer atividade ou tarefa que não agregue valor e requer recursos. É considerado em todos os níveis da indústria, por exemplo, design, fabricação, distribuição e atendimento ao cliente. As principais perdas são: superprodução contra o planejado; tempo de parada de operadores e máquinas; transporte desnecessário; desperdício no próprio processo; excesso de estoque de materiais e componentes; movimentações sem valor; defeitos de qualidade (Márquez et al., 2020, p.1).

Fornecer uma maneira de especificar valor, alinhar ações de criação de valor na melhor sequência, conduzir essas atividades sem interrupção sempre que alguém as solicitar e executá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma, o *Lean Thinking* (pensamento enxuto) é enxuto pois fornece uma maneira de fazer cada vez mais com cada vez menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço, ao mesmo tempo em que estamos cada vez mais perto de entregar aos clientes exatamente o que eles desejam (Womack e Jones, 2003, p. 15).

O *lean* é uma filosofia que abrange todos os âmbitos de uma organização, não apenas aplicado ao processo fabril, sendo implementado como fundamento cultural em grande parte das empresas e indústrias, e Liker (2005) afirma que este foco na cultura e nas pessoas foi reforçado como um dos aspectos centrais do gerenciamento industrial, no entanto, Werkema (2012, p. 15) destaca que “a adoção do *Lean Manufacturing* representa um processo de mudança de cultura da organização e, portanto, não é algo fácil de ser alcançado. O fato de a empresa utilizar ferramentas *Lean* não significa, necessariamente, que foi obtido pleno sucesso na implementação”.

#### 2.1.1. Ferramentas do Lean Manufacturing

Para que os princípios e objetivos da manufatura enxuta sejam atingidos, diversas ferramentas foram desenvolvidas, com o intuito de auxiliar no planejamento, tomada de decisão e gerenciamento das atividades que buscam implementar e sustentar o sistema *lean*. Estes instrumentos permitem a análise detalhada dos processos produtivos, a identificação de desperdícios e a busca constante pela melhoria contínua (*Kaizen*), bases da fundamentação da manufatura enxuta.

As principais ferramentas do *lean manufacturing* são:

- Kaizen;
- Kanban;
- VSM;

- 5S;
- TPM
- Poka-Yoke;
- Padronização;
- Heijunka;
- Jidoka;
- JIT.

Essas ferramentas são conhecidas por facilitar a compreensão e execução dos conceitos principais do *lean manufacturing*, para mapear atividades que não agregam valor e reduzir perdas durante a produção. Estas ferramentas fornecem os meios para mensurar a eficiência e eficácia dos processos de produção, promovendo um ciclo de melhorias no desempenho operacional (Slack et al., 2015).

### 2.1.2. Desperdícios

Para a definição do conceito de desperdício, é importante entender o que é o valor. Womack e Jones (2003) declaram que o valor é o ponto de partida para o pensamento enxuto, e só pode ser definido pelo ponto de vista do cliente. O valor está relacionado a um produto, podendo ser um serviço ou bem, diretamente ligado a uma necessidade do cliente, e está associado ao quanto este cliente final está disposto a pagar. O valor é criado por processos que transformam materiais ou informações para suprir essa necessidade. Dessa forma, quaisquer atividades que não estejam diretamente gerando esse valor para o produto são perdas.

Neumann e Scalice (2015, p. 813) definem desperdícios como: “todas as atividades que consomem recursos, mas não agregam valor ao produto em relação aos requisitos do cliente, nisso são incluídos todos os esforços e custos associados às falhas e inspeções”. Slack, Jones e Johnston (2015) afirmam que o fenômeno do desperdício não se aplica apenas em processos de fabricação, mas também em processos de serviço.

A essência da manufatura enxuta é a redução dos sete desperdícios definidos por Ohno (1988), são eles: desperdício de superprodução, desperdício de tempo disponível (tempo de espera), desperdício no transporte, desperdício do próprio processamento, desperdício de estoque disponível, desperdício de movimentação e desperdício de fabricação de produtos defeituosos.

No *lean manufacturing*, existem 5 princípios fundamentais que servem de suporte para especificar valor, alinhar sequências de atividades que agreguem valor e principalmente eliminar perdas. Werkema (2012) define estes princípios como:

- **Especificar o valor:** do ponto de vista do cliente, a necessidade gera o valor, e as empresas devem determinar qual a necessidade, satisfazê-la e definir um preço para manter a empresa competitiva e aumentar os lucros, buscando a redução de custos e aumento da qualidade;
- **Identificar o fluxo de valor:** consiste em dissecar a cadeia produtiva e separar os processos naqueles que geram valor, os que não geram valor, mas são importantes para a manutenção e qualidade dos processos e as atividades que não agregam valor, que devem ser eliminadas;
- **Criar fluxos contínuos:** com a cadeia de valor mapeada e desperdícios eliminados, deve-se construir um fluxo contínuo, fluido e linear das etapas do processo.
- **Produção puxada:** com o fluxo contínuo, o consumidor passa a “puxar” a produção, produzindo apenas o que é necessário, eliminando estoques, dando valor ao produto e otimização de produtividade;
- **Busca da perfeição:** este deve ser o objetivo constante no *lean thinking*, a busca por um estado ideal orienta as ações da empresa, e após a aplicação dos quatro princípios

anteriores, novos desperdícios surgirão como oportunidades de melhoria, e todas ferramentas e princípios deverão ser aplicados novamente.

## 2.2. *Layout* Industrial

Para Slack, Jones e Johnston (2015), o *layout* envolve o posicionamento dos recursos como máquinas, pessoas e instalações dentro de um espaço de uma organização. Essa configuração da disposição dos recursos impacta diretamente no fluxo de materiais, informações e detalhes, influenciando a eficiência, segurança e flexibilidade da operação. Mudanças no *layout*, mesmo que mínimas, podem gerar efeitos significativos sobre o desempenho da produção, afetando desde os custos operacionais até a satisfação dos clientes e funcionários. Além disso, devido à complexidade e custo associados às decisões de arranjo físico, gerentes de produção tendem a realizar essas mudanças com cautela, priorizando sempre a avaliação dos objetos que se pretende atingir.

Segundo Gurgel (2003), o arranjo físico (*layout*) pode ser entendido como a ciência e a arte de organizar os componentes interligados e complexos de uma instalação de manufatura em uma estrutura eficiente. Essa configuração de elementos busca alcançar os objetivos da empresa ao maximizar o equilíbrio entre custos e lucros mediante a otimização dos recursos ali disponíveis.

As definições do arranjo físico ditam como a empresa irá conduzir seus processos de produção, ademais, é a característica mais visível do espaço de uma organização. O seu estudo é necessário sempre quando há intenção de reformulação ou implementação de alguma unidade fabril, seja esta unidade uma planta industrial inteira ou uma célula que faz parte de um processo. A tomada de decisão sobre *layouts* provém de diversos pretextos, como a necessidade de expansão produtiva, custo operacional, introdução de uma nova linha de produção e melhoria ergonômica no ambiente de trabalho (Peinado e Graeml, 2015).

Conforme Muther e Hales (2015), o desenvolvimento do *layout* tem como foco principal facilitar o processo de manufatura, otimizando o uso do espaço e permitindo a flexibilidade das operações conforme as necessidades de produção mudam. A reorganização sem um plano sólido, majoritariamente resulta em perda de tempo, equipamento e colaboradores ociosos, além de poder levar a sérios erros na disposição dos elementos no espaço disponível, nos piores casos, até mesmo na demolição ou descarte de estruturas importantes que seriam utilizáveis, mas terminam por ser obstáculos para a eficiência e operação, gerando mais gastos não planejados.

No planejamento do *layout*, a utilização de ferramentas que permitem a visualização prévia das alternativas de arranjos físicos e facilitem o entendimento do fluxo do processo estudado são fundamentais, auxiliando nas etapas de desenvolvimento do *layout*. Peinado e Graeml (2015, p. 215) descrevem a etapa de planejamento como a seguir:

Para o desenvolvimento do arranjo físico, as alternativas devem ser claramente visualizadas por meio de desenhos, gabaritos, modelos em cartolina, maquetes ou com o auxílio de um programa de computador como, por exemplo, o *Auto Cad*. A representação física em escala permite clara visualização do tráfego de materiais. Nesta fase, deverão ser levantadas todas as informações básicas necessárias à implementação do *leiaute*:

1. identificar o fluxo dos materiais e operações;
2. levantar a área necessária para cada agrupamento de trabalho;
3. identificar o relacionamento entre estes agrupamentos, ou seja, o quanto é conveniente ou inconveniente aproximar certos tipos de operação;
4. elaborar o arranjo físico.

Neumann e Scalice (2015) reiteram que em todo projeto relacionado à mudança de *layout*, o planejamento figura como elemento primordial, orientando a sequência de atividades traçadas e suportando possíveis alterações durante o processo. Os autores afirmam que nesta fase de projeto, o objetivo é coletar informações qualitativas e quantitativas dos processos fabris, informações do

espaço físico, limitações de espaço como construções, estruturas, colunas, e características externas, além de integrar informações entre as diversas áreas da empresa (produto, manufatura, logística etc.)

### 2.3. Tipos de *Layout*

Em generalidade, os arranjos físicos encontrados são classificados de acordo com 5 tipos básicos, são eles:

- Arranjo físico por produto;
- Arranjo físico por processo;
- Arranjo celular;
- Arranjo de posição fixa;
- Arranjo Misto.

Cada tipo de *layout* pode estar relacionado de forma mais próxima de algum tipo de processo, no entanto, um tipo de processo não está necessariamente ligado a uma classificação específica dos arranjos físicos básicos (Slack et al., 2015).

Na configuração de arranjo físico por produto, as máquinas e equipamentos auxiliares são dispostos de forma a seguir a sequência ordenada de processamento do produto. Ao adotar esse método de *layout*, é reduzida significativamente a movimentação entre estações de trabalho, proporcionando a diminuição de tempo ocioso e menor estoque intermediário. Geralmente neste tipo de arranjo, as tarefas da linha de produção são mais segmentadas e de maior simplicidade. Kumar e Suresh (2008) afirmam que este tipo de arranjo é utilizado quando o volume de produção é tão grande que poderia ser justificada uma linha de produção a parte para absorver toda a demanda. Em caso de *layout* por produto em uma escala menor, máquinas devem ser compartilhadas por produtos diferentes, mas a sequência de processamento deve seguir o mesmo fluxo.

O arranjo físico por processo agrupa máquinas e equipamentos que desempenham o mesmo tipo de função, formando áreas especializadas no cumprimento de determinados processos. Neste tipo de *layout*, as máquinas e equipamentos são fixos e o produto se movimenta, passando por departamentos agrupados pela sua função, como soldagem, usinagem e montagem (Neumann et al., 2015). Segundo Kumar e Suresh (2008), o arranjo por processo é melhor aplicável para sistemas de produção em lote, onde há uma grande variedade de produtos e normalmente o volume de produção não justifica um *layout* de produto. Um grande ponto negativo deste tipo de *layout* é a frequente movimentação de peças entre as áreas que realizam os processos, aumentando o tempo improdutivo.

Peinado e Graeml (2015) descrevem o *layout* celular como o arranjo de uma área de manufatura em um só local, onde máquinas e equipamentos que realizam diferentes processos possam fabricar o inteiro. Este tipo de arranjo é considerado como uma tentativa de unir as vantagens do *layout* por processo e por produto, unindo a eficiência, flexibilidade e simplicidade (Neumann et al., 2015). Slack et al (2015) define que o objetivo do *layout* celular é montar minifábricas que comportem diferentes famílias de produtos.

O *layout* de posição fixa é o arranjo no qual o produto a ser processado é colocado em uma posição fixa e os materiais deslocam ao redor dele, Slack, Jones e Johnston (2015, p. 334) definem este tipo de *layout*:

Os recursos transformados não se movem entre os recursos de transformação. Em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica no lugar, enquanto equipamento, maquinário, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário. Isso pode ocorrer porque o produto ou o receptor do serviço é muito grande para ser movido de forma conveniente, pode ser muito delicado para ser movimentado ou, talvez, pode recusar-se a ser movido.

A eliminação da necessidade de movimentação da peça sendo processada é uma vantagem deste tipo de arranjo, no entanto, há grande movimentação de equipamentos e recursos humanos, gerando necessidade de supervisão mais assídua.

Os *layouts* mistos são utilizados com o fim de combinar as vantagens dos outros tipos de arranjos físicos, geralmente para suprir um alto volume somado a uma grande variedade de produtos.

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, comparativa e exploratória, visto que objetiva resolver um problema prático na indústria, detalhando o processo completo de integração dos processos e analisando o impacto das alterações de transição de *layout* e de centralização do processo completo da carcaça diferencial na Fábrica 02 em relação à configuração onde a produção era dividida entre as duas fábricas.

#### 3.1. Desenvolvimento Metodológico

A primeira fase constituiu na absorção das operações da carcaça diferencial pela célula robotizada da Fábrica 02. Nesta etapa inicial, a célula robotizada absorveu as operações 10 e 20, enquanto as operações 30 e 40 continuavam sendo realizadas na máquina Okuma da Fábrica 01. Para esta absorção, foi realizada a análise de disponibilidade de horas-máquina disponíveis na célula robotizada, utilizando dados de demanda dos produtos do ano de 2023 disponibilizados pela própria empresa.

Os tempos de ciclo de cada uma das operações foram registrados, e utilizando as informações de demanda futura e eficiência das células, foi empregado o *software Excel* para realizar o cálculo da taxa de ocupação média dos maquinários em relação às horas disponíveis, e criar os gráficos para ilustração, a fim de verificar a viabilidade da absorção das operações.

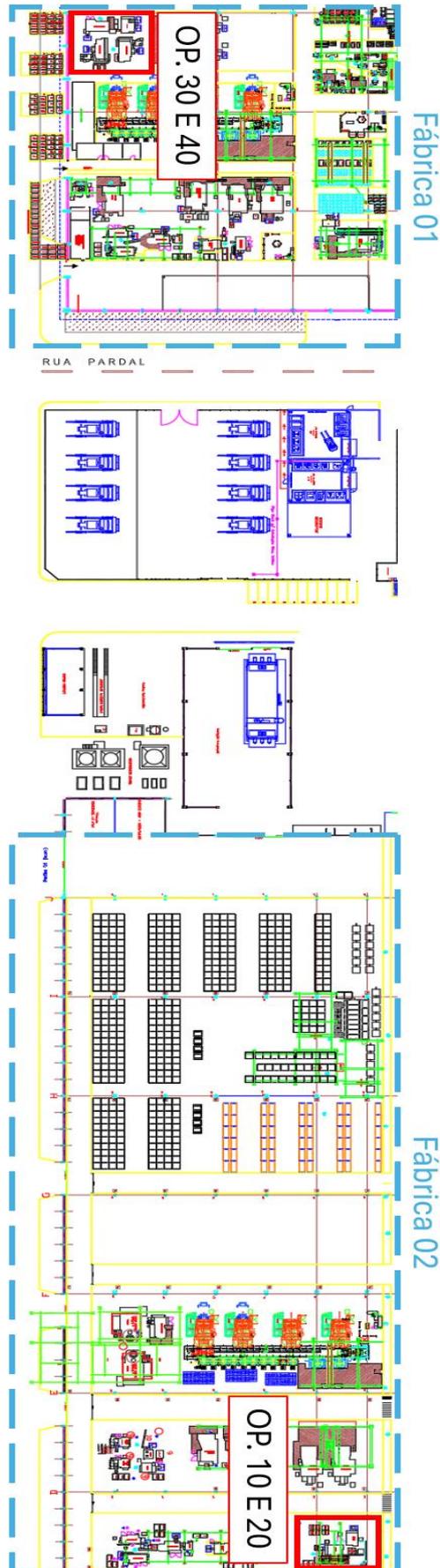
Após desenvolvida a absorção das operações 10 e 20 na célula robotizada, se fez necessária a centralização completa do processo da carcaça central na Fábrica 02, devido ao desperdício durante o transbordo de peças entre as fábricas. Nesta etapa, foi realizada a mensuração com trena de cada item em ambas as células que fabricam a carcaça diferencial: dimensão da área produtiva, pilares, pontes rolantes, plataformas, bancadas, dispositivos, guarda-corpos, embalagens de peças brutas e prontas, dimensão da máquina, unidade de refrigeração, portas e escadas.

Com todas estas informações obtidas, foi utilizado o *software AutoCAD* para registrar o *layout* e realizar o mapeamento dos fluxos dos processos realizados. A partir do mapeamento e do registro do *layout* anterior, foi desenvolvido o primeiro *layout* da integração da Okuma, ponto de partida para realização de reuniões quinzenais entre grupo técnico e time de produção, cujo objetivo era propor ideias e melhorias no design da célula e discutir o fluxo ideal do processo completo na fábrica 02.

#### 3.2. Comparação entre Cenários

Após *layout* aprovado e implementado, foi possível coletar os dados mais importantes para comparação do cenário anterior (Fig. 4) com o novo. Dentre estes dados estão o novo *lead time* e capacidade de produção diária, além de valores fornecidos pela empresa de mão de obra, despesas operacionais e gastos com fabricação, que foram utilizados para calcular o valor por peça da carcaça diferencial. A partir de uma estimativa de volume baseada na situação do ano de 2024, foi estipulado um valor de *saving* obtido no projeto.

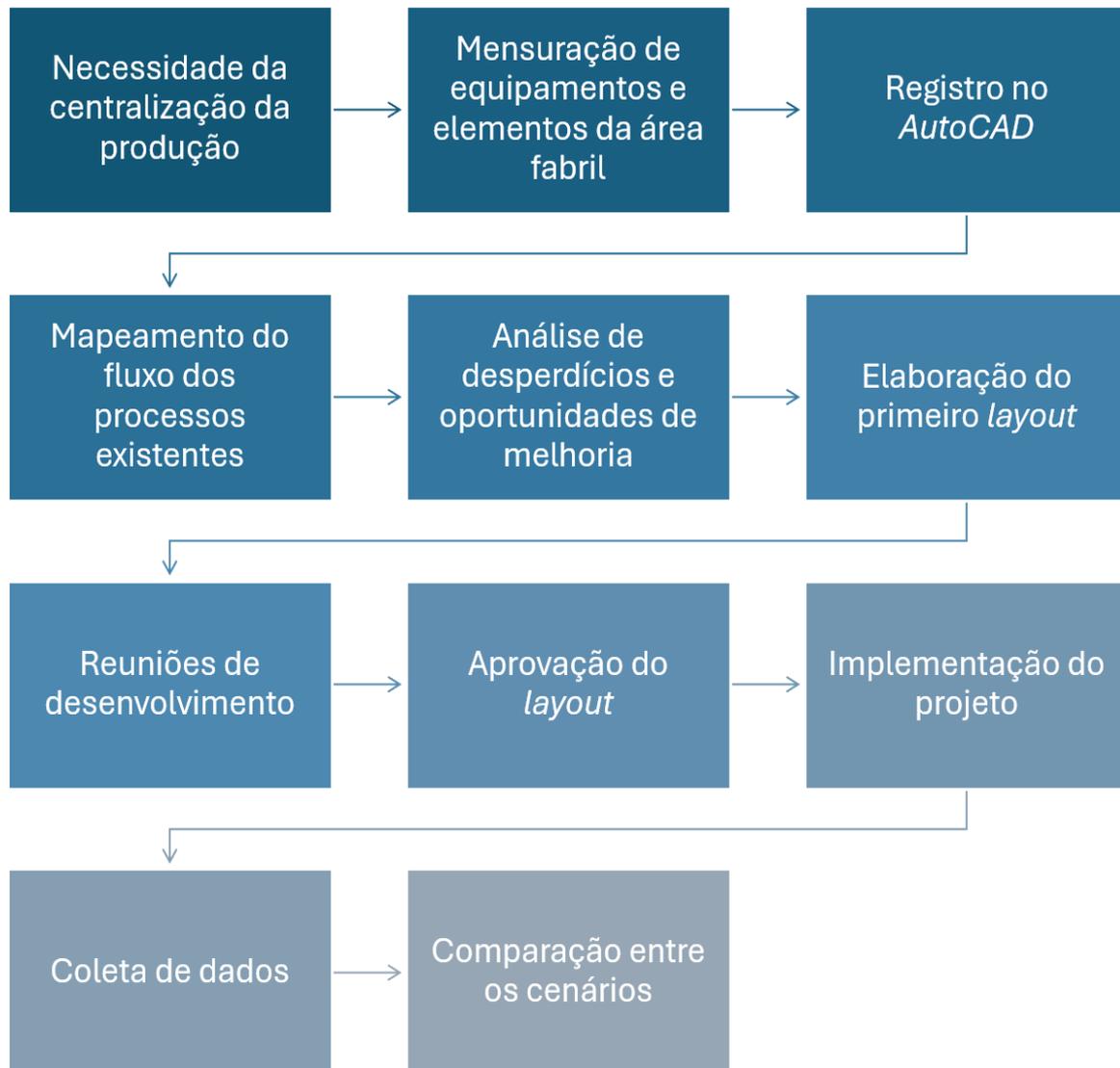
Figura 4. Disposição das operações da carcaça diferencial durante o processo dividido.



Os dados de ambos os cenários foram analisados no *Excel*, e assim criando gráficos comparativos com o fim de validar os ganhos da readequação de *layout* nos indicadores.

O fluxograma de etapas a partir do surgimento da necessidade da centralização dos processos encontra-se na Fig.5.

Figura 5. Fluxograma de etapas do projeto.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Divisão do Processo de Produção da Carcaça Diferencial

Em um primeiro momento, toda a produção da carcaça diferencial era realizada na Fábrica 01, utilizando duas máquinas que realizavam todas as operações necessárias.

#### 4.1.1. Análise Hora-Máquina da Célula Robotizada

Foi realizada uma análise detalhada da disponibilidade de horas-máquina e da capacidade produtiva da célula robotizada da Fábrica 02 para a demanda do ano de 2023. Essa análise teve como objetivo verificar a viabilidade da absorção das operações 10 e 20 da carcaça diferencial pela célula da Fábrica 02. Este estudo foi motivado pela deterioração da máquina que anteriormente realizava as

operações 10 e 20, a qual foi necessário sucatear devido ao estado de desgaste e o baixo volume de ocupação.

A análise indicou que a célula robotizada estava operando uma grande taxa de ociosidade, com ocupação da célula de apenas 43%, possuindo grande potencial para ser explorado em termos de disponibilidade e qualidade.

A Tabela 1 detalha as taxas de ocupação da célula robotizada antes de receber os processos 10 e 20 da carcaça diferencial.

Tabela 1. Taxa de ocupação da célula robotizada.

Processo	% do volume produzido nessa máquina	Tempo de ciclo (min)	Qtde tratores por ano	Qtde por trator	Ocupação considerado eficiência	Ocupação Total	Horas necessárias para produzir o volume	Total de dias trabalhados (úteis)	Horas disponíveis considerando eficiência	Horas que sobram	Eficiência
Tampa da Redução	100%	10	6030	2	43%	43%	2010	230	4692	2682	85%

#### 4.1.2. Análise de Ocupação da Integração Parcial das Operações na Fábrica 02

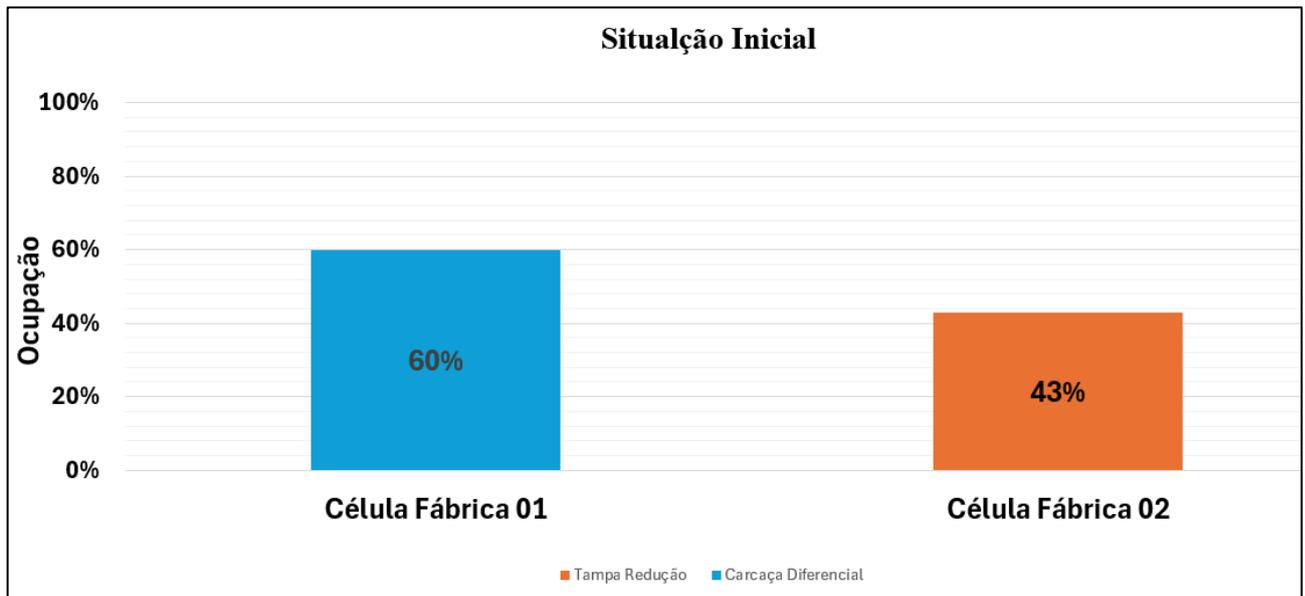
Com base na análise de horas-máquina e na ociosidade da célula robotizada, foi realizada uma simulação para avaliar o impacto da absorção dos processos parciais da carcaça diferencial na célula, que teve como objetivo garantir que a célula pudesse realizar a produção sem sobrecarregar os outros processos, como indicado na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Ocupação simulada das operações 10 e 20 integradas na célula robotizada.

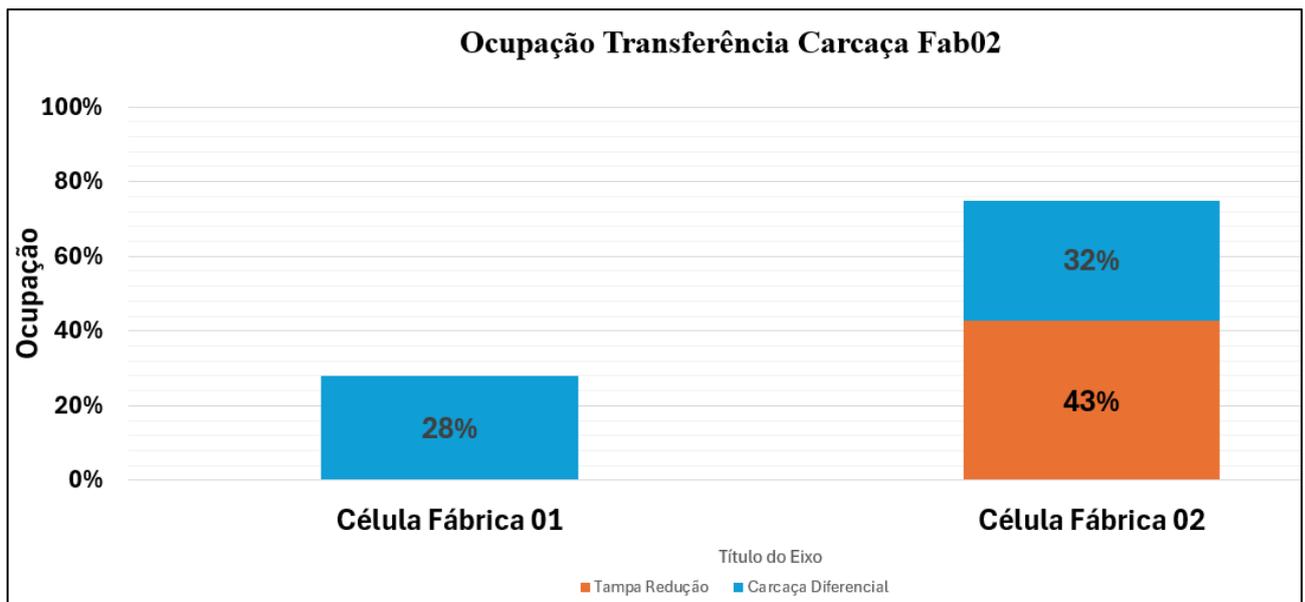
Processo	% do volume produzido nessa máquina	Tempo de ciclo (min)	Qtde tratores por ano	Qtde por trator	Ocupação considerado eficiência	Ocupação Total	Horas necessárias para produzir o volume	Total de dias trabalhados (úteis)	Horas disponíveis considerando eficiência	Horas que sobram	Eficiência
Tampa da Redução	100%	10	6030	2	43%	75%	2010	230	4692	1175	85%
Carcaça Diferencial (Op. 10 e 20)	100%	15	6030	1	32%		1508				

A seguir, os gráficos comparativos ilustram as diferenças de ocupação das células entre a situação inicial e após integração parcial das operações (Fig. 6), onde foi observado que a transferência poderia ser realizada com base na disponibilidade operando apenas em 2 turnos, sem necessidade de utilizar operadores no turno 3.

Figura 6. Ocupação das células da Fábrica 01 e 02.



(a) Ocupação com processo completo na Fábrica 01.



(b) Ocupação com a transferência das operações 10 e 20 na célula da Fábrica 02.

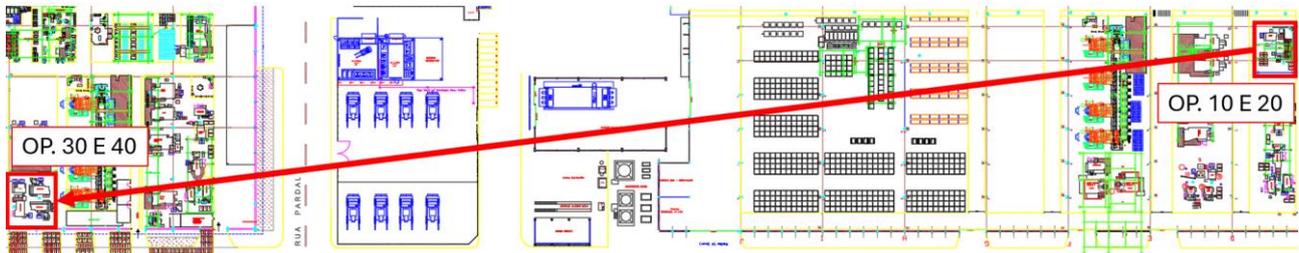
#### 4.1.3. Layout e Fluxo do Processo Pós Absorção das Operações pela Célula Robotizada

Com a transferência das operações, houve uma mudança expressiva no fluxo de produção, visto que a nova configuração teve um impacto direto na movimentação das peças, e gerou um desafio logístico devido ao transbordo da carcaça diferencial, que sai da célula robotizada e é deslocada até a Fábrica 01, o qual implicou em um tempo total de produção maior e necessidade de coordenação da logística do transporte, que não seria necessário se todo processo fosse integrado.

Após o processo das operações 10 e 20 na célula robotizada da Fábrica 02, as peças são transportadas para a Fábrica 01 (Fig. 7), para a máquina Okuma realizar as operações restantes. O tempo de transporte entre fábricas, considerando o tempo médio entre abastecimento completo das embalagens, chegada da empilhadeira, etapas de carregamento, deslocamento, descarregamento, é de 09 minutos em média para cada 12 peças, fazendo-se necessário um deslocamento de 350 metros,

afetando o tempo total. Este fluxo fracionado acarreta um processo menos linear, com recorrentes pausas no processo da Fábrica 01, aumentando o *lead time* da produção.

Figura 7. Transporte das peças entre Fábrica 01 e Fábrica 02.



Desta maneira, a necessidade de um *layout* celular totalmente integrado na Fábrica 02 surgiu como solução para a otimização deste processo de produção, a fim de minimizar os deslocamentos e eliminar a etapa de transbordo.

## 4.2. Integração dos Processos na Fábrica 02

Diante das perdas e problemas gerados no cenário anterior, a decisão de centralizar todas as operações na fábrica 02 foi tomada, com o objetivo de criar um processo mais contínuo, linear e integrado, minimizando paradas, transporte e diminuindo o tempo total de produção da carcaça diferencial. Para centralizar a produção na Fábrica 02, o maquinário e equipamentos que realizavam os processos na Fábrica 01 deveria ser transferido para a outra fábrica, logo, o desenvolvimento de um novo *layout* foi necessário, considerando a movimentação da máquina Okuma para a outra fábrica.

### 4.2.1. Mapeamento das Operações e Processos

A primeira etapa para desenvolvimento do novo *layout* foi a compreensão de como o cenário anterior atuava, para isto, foi realizado o mapeamento do fluxo das células de produção em ambas as fábricas, para identificar as capacidades, necessidades, configurações e limitações em cada processo, facilitando a busca por maneiras de integrar as operações que estavam divididas. Para tanto, o preenchimento e atualização dos documentos de trabalho padrão de cada célula foram realizados, onde são apresentados sequência de operação, tempos, elementos de cada atividade e responsabilidades. Os documentos de trabalho padrão podem ser encontrados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Trabalho padrão da célula robotizada, operações 10 e 20.

Célula :		Célula Robotizada			
Seqüência	Operador	Descrição das Etapas de Trabalho	Tempos (s)		
			Automático	Manual	Caminhada
	A	Operação Robô			
1	A	Deslocar até a embagalem de peças grandes brutas			10
1	A	Coletar a peça grande na embalagem de peças grandes com a talha		10	
2	A	Deslocar até a esteira do robô			5
3	A	Posicionar a peça bruta na esteira		5	
4	A	Deslocar até a embalagem de peças pequenas brutas			5
5	A	Coletar peça pequena manualmente		3	
6	A	Deslocar até a esteira do robô			5
7	A	Posicionar a peça pequena na esteira		3	
8	A	Pressionar o botão verde, e após pressionar o botão azul (REARME)		6	
9	A	Ciclo usinagem	900		
10	A	Pegar pistola de ar		2	5
11	A	Soprar as duas peças na esteira		25	
12	A	Pegar a peça grande com a talha		6	5
13	A	Deslocar até a embalagem de peças prontas			5
14	A	Posicionar a peça grande na embalagem		6	
15	A	Deslocar até a esteira do robô			5
16	A	Pegar a peça pequena manualmente		3	
17	A	Deslocar até a embalagem de peças prontas			5
18	A	Posicionar peça pequena na embalagem		4	

Página 1

Tabela 4. Trabalho padronizado célula Okuma, operações 30 e 40.

Célula :		Okuma			35	A	Caminhar até o ponto de repouso da talha	2	3	
Sequência	Operador	Descrição das Etapas de Trabalho: Operação 30/40	Tempos (s)			36	A	Deslocar a talha até a máquina		4
			Automático	Manual	Caminhar					
					37	A	Fixar a talha no conjunto usinado	5		
1	A	Limpar o dispositivo com a pistola de ar		7		38	A	Remover o conjunto usinado da máquina	5	
2	A	Pegar a talha no ponto de repouso		5	5	39	A	Deslocá-lo até o dispositivo de tombamento na bancada	2	4
3	A	Deslocar a talha até a máquina			5	40	A	Caminhar até a máquina		4
4	A	Remover a peça maior da máquina com a talha		10		41	A	Limpar o dispositivo da máquina com ar comprimido	5	
5	A	Deslocar a peça até a bancada de rebarbação			5	42	A	Caminhar até a bancada		3
6	A	Soltar a peça na bancada de rebarbação		3		43	A	Soltar a talha da peça	3	
7	A	Deslocar a talha até a embalagem		3	25	44	A	Fixar a talha no conjunto a ser usinado	5	
8	A	Fixar a talha na peça		5		45	A	Deslocá-lo até a máquina		6
9	A	Deslocar a peça até a máquina		2	25	46	A	Posicionar o conjunto usinado no dispositivo da máquina	9	
10	A	Abastecer a máquina		7		47	A	Deslocar a talha até o ponto de repouso		5
11	A	Soltar a talha no ponto de repouso		3	3	48	A	Caminhar até a máquina		3
12	A	Caminhar até a embalagem			3	49	A	Pressurizar o dispositivo	5	
13	A	Coletar peça menor com a mão		4		50	A	Desconectar as mangueiras hidráulicas	4	
14	A	Caminhar até a máquina		3	15	51	A	Posicioná-las no ponto de repouso	3	3
15	A	Colocar peça pequena na máquina		5		52	A	Fechar a porta de recarga	2	2
16	A	Acionar a pressão hidráulica do dispositivo		4		53	A	Iniciar o ciclo da máquina	2	
17	A	Iniciar o ciclo da máquina		2		54	A	Ciclo 2 da máquina	213	
18	A	Ciclo da máquina	580			55	A	Caminhar até a bancada	4	
19	A	Deslocar até a bancada			5	56	A	Tombar o conjunto usinado	5	
20	A	Rebarbar a peça menor com a pedra		10		57	A	Pegar gravador de peças no ponto de repouso		3
21	A	Posicionar a peça na bancada		6		58	A	Gravar rastreabilidade no conjunto (2X)	20	
22	A	Rebarbar a peça maior com a pedra		10		59	A	Deslocar gravador ao ponto de repouso		3
23	A	Tombar a peça na bancada para próxima operação		10		60	A	Tombar o conjunto usinado	10	
24	A	Trocar ganchos		5		61	A	Puxar peça menor para próximo do tombador	5	
25	A	Limpar as peça com ar comprimido		9		62	A	Desparafusar o conjunto	20	
26	A	Pré montar o conjunto de peças		6		63	A	Posicionar os parafusos na peça menor em espera	4	
27	A	Parafusar o conjunto		25		64	A	Abrir o conjunto	2	
28	A	Limpar a peça com pano		6		65	A	Apanhar manualmente a peça menor rebarbada	3	
29	A	Rebarbar furos de lubrificação internos		12		66	A	Deslocar até a embalagem de peças acabadas		15
30	A	Caminhar até a máquina			5	67	A	Soltar a peça menor na embalagem	4	
31	A	Abrir a porta de recarga da máquina		1	1	68	A	Caminhar até a bancada	1	15
32	A	Pegar as mangueiras hidráulicas no ponto de repouso			4	69	A	Fixar peça grande na talha	5	
33	A	Conectá-las no dispositivo		2	2	70	A	Deslocar até a embalagem de peças acabadas	3	25
34	A	Despressurizar o dispositivo		5		71	A	Soltar a peça grande na embalagem de peças acabadas	6	

Foi observado que o processo da célula robotizada (Fig. 8) possuía poucas etapas e fluxo simplificado se comparado ao processo realizado na Okuma (Fig. 9), onde a célula não possuía *layout* otimizado e eram realizados muitos movimentos não ergonômicos de subida e descida de escada, pois não havia espaço físico em cima da plataforma para alocar as embalagens, tornando-se um ponto importante de melhoria para o *layout* novo a ser desenvolvido.

Figura 8. Fluxo da célula robotizada para produção da carcaça diferencial na fábrica 01.

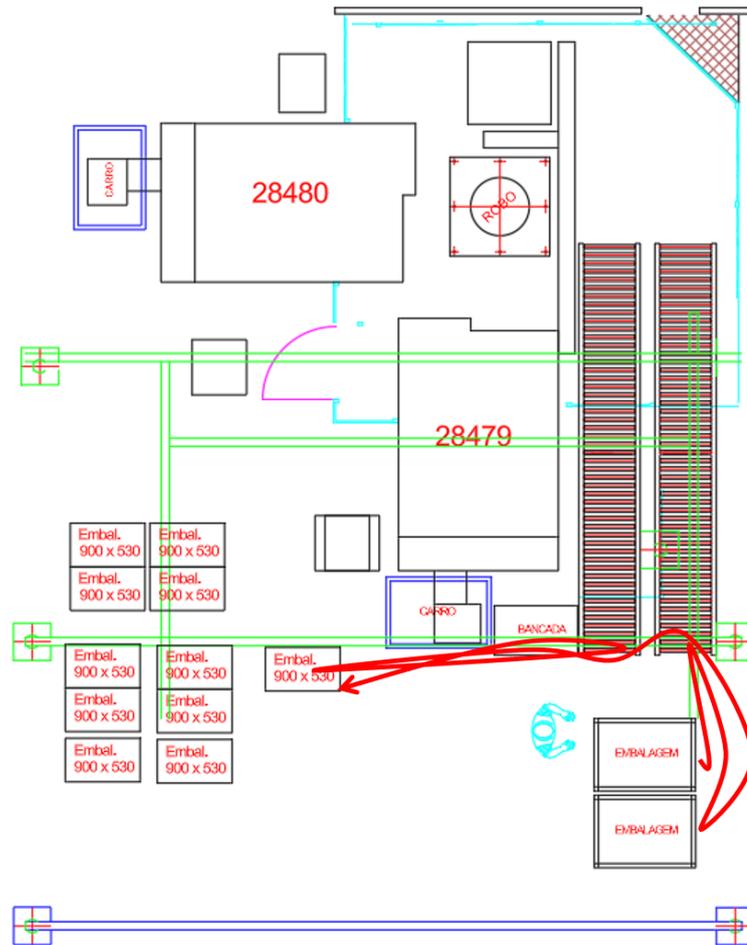
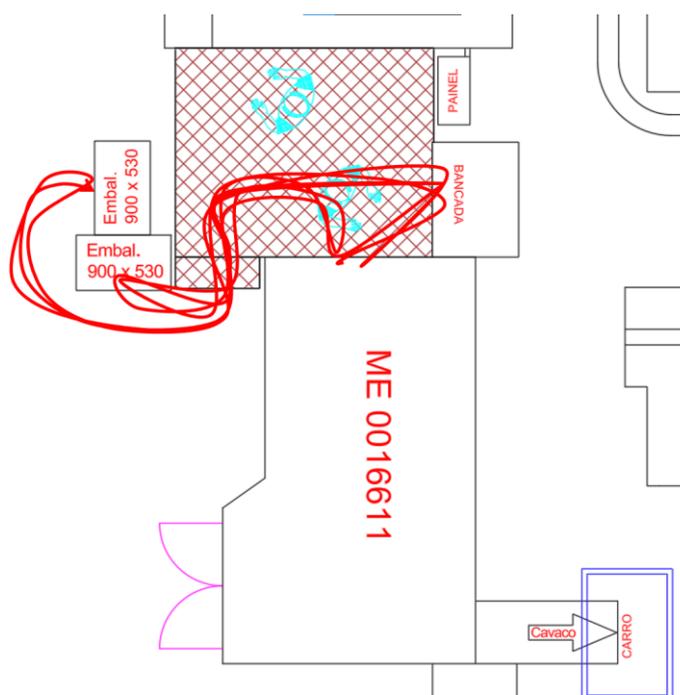


Figura 9. Fluxo da célula da máquina Okuma para produção da carcaça diferencial na fábrica 01.



Analisando cada fluxo de processos separadamente e o deslocamento entre fábricas, foram observadas diversos desperdícios e problemas diretamente relacionadas ao *layout*, que foram consideradas a fim de serem mitigadas ou minimizadas.

Tabela 5. Perdas e problemas nos processos produtivos.

Desperdício / Problema	Descrição
<b>Movimentação</b>	Falta de espaço físico para comportar todos os componentes necessários, acarretando em movimentação adicional do operador para realizar as etapas do processo
<b>Ergonomia</b>	Subidas e descidas de escada em excesso
<b>Transporte</b>	Devido à distância entre células, há o transporte de peças por empilhadeiras para continuidade do processo. O transporte não seria necessário caso o processo fosse centralizado
<b>Espera</b>	Devido ao tempo gasto entre espera de empilhadeira, carregamento, transporte e descarregamento das peças, frequentemente há espera na célula das operações 30 e 40
<b>Estoque em Processo</b>	Devido às pausas entre o final de uma operação na F02 e o início da próxima na F01, pode haver acúmulo de estoque, aumentando o <i>lead time</i>

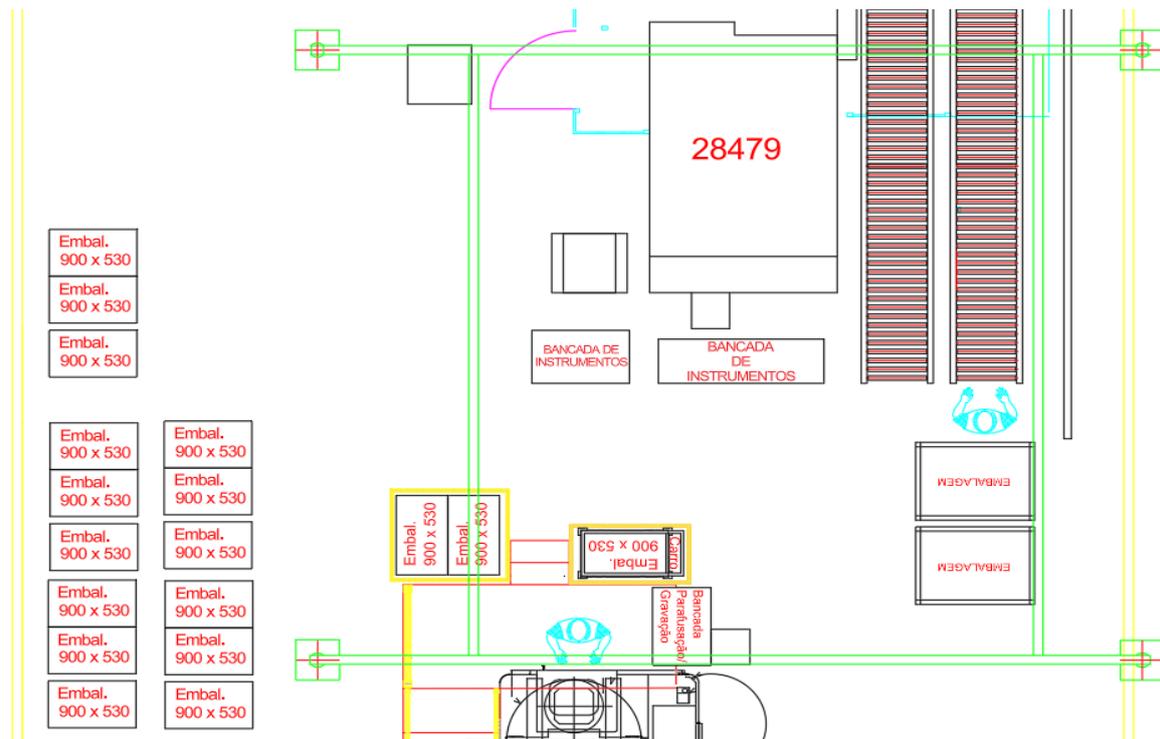
Durante o planejamento e análise, foi necessário verificar a conformidade do espaço físico para comportar a máquina Okuma ao lado da célula robotizada garantindo a funcionalidade completa dos processos. A análise do espaço físico incluiu:

- **Ponte Rolante:** o posicionamento da Okuma foi disposto de forma a estar dentro do *range* de operação da ponte rolante existente na célula, adicionando mais uma talha sem comprometer a operação da utilizada na célula robotizada.
- **Bancadas e área para embalagens:** foram consideradas todas bancadas necessárias para as sequências de operação, além de espaço destinado para embalagens de peças brutas e de peças prontas, com acesso rápido e facilitado ao operador.
- **Área de operação:** a plataforma de operação previu o espaço necessário para movimentação dos operadores de maneira ergonômica e com o mínimo de caminhada possível entre sequências de operações, sem necessidade de utilização de escadas durante o ciclo de produção.
- **Okuma:** além da própria máquina, elementos como base, centro de refrigeração, painel elétrico e espaço para manutenção foram considerados no espaço a ser alocada.

#### 4.2.2. Desenvolvimento do *layout*

Com a identificação dos desperdícios e oportunidades de melhoria, tal qual o entendimento completo dos processos e suas sequências de operação, foi iniciada a criação do novo *layout* centralizado, mantendo o conceito de arranjo físico por célula, visando otimizar o processo baseado nos problemas encontrados. A partir da elaboração de um *layout* inicial, diversas ideias e *layouts* diferentes foram propostos em reuniões com a equipe técnica, operadores e líder da produção, e um consenso foi alcançado com o arranjo da Fig. 10.

Figura 10. *Layout* selecionado para centralização do processo da carcaça diferencial.

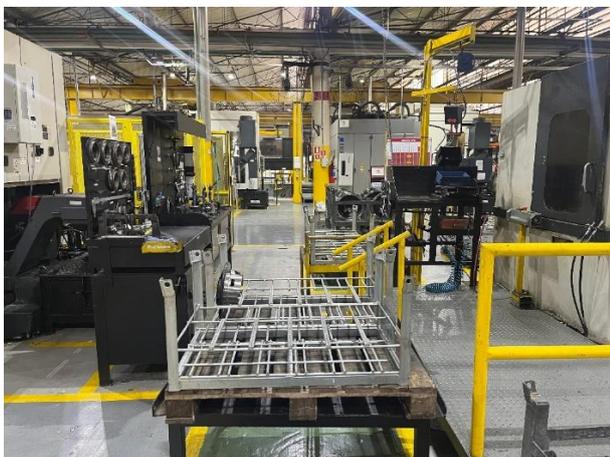


Este arranjo físico integra todas as operações de produção da carcaça diferencial em uma mesma célula produtiva, eliminando o transporte de peças entre fábricas, e otimizando o fluxo da operação como um todo.

Com a aprovação do *layout* proposto, o processo de implementação foi iniciado com um *mock up*, para verificar o real posicionamento dos elementos no espaço, a fim de identificar possíveis mudanças antes da movimentação de todos os equipamentos, simulando algumas sequências de operação e por fim validando a posição do maquinário, garantindo que a funcionalidade das operações ocorrerá de acordo com o planejamento.

Com o propósito de não afetar a produção da fábrica, a movimentação da máquina Okuma e dos equipamentos da célula que realiza as operações 30 e 40 para a Fábrica 02 foi realizada em um final de semana, de forma que na segunda-feira a célula já estava operacional, realizando a produção da carcaça diferencial.

Figura 11. *Layout* implementado e operacional.



(a)



(b)

### 4.3. Indicadores de Sucesso

A implementação do novo *layout*, integrando a produção da carcaça diferencial, promoveu ganhos expressivos, reduzindo as perdas ao longo da produção e otimizando o processo. A alocação da Okuma na Fábrica 02 melhorou processos logísticos, gerenciais e ergonômicos, além de melhorar a produtividade.

O novo arranjo eliminou a necessidade do transporte de peças entre fábricas no final da operação 20, fator que mais influenciava no *lead time* anterior. Este transporte de peças gerava grandes atrasos, pois dependia da disponibilidade das empilhadeiras para realizar o transbordo. No *layout* atual, as operações são centralizadas em uma única célula, dispensando o transbordo de peças entre fábricas e consequentemente reduzindo a movimentação de material cujo deslocamento era de 350 metros entre uma célula e outra, tornando o processo mais linear. O gerenciamento da equipe logística também foi facilitado, visto que o trajeto do transporte foi eliminado.

A integração possibilitou a criação de um fluxo contínuo das etapas do processo, permitindo que as peças provenientes da operação 10 e 20 sejam diretamente colocadas no fluxo de processos da Okuma, eliminando atividades intermediárias de transporte e estoque. A sequência de processos do operador da Okuma foi diminuída, pois o deslocamento para coletar e descarregar peças nas embalagens exigia muita caminhada e utilização de escada, ação esta que não é mais necessária no novo *layout*, onde as embalagens são alcançáveis pela plataforma exigindo deslocamento de apenas 1,5 metros.

As condições de trabalho para os operadores também foram melhoradas com a diminuição da movimentação, tanto na questão ergonômica quanto de segurança, dado que não é mais necessário carregamento de peças subindo ou descendo escadas.

O gerenciamento do processo produtivo da carcaça diferencial foi facilitado, pois a centralização do processo na Fábrica 02 permite que o líder da área monitore todas as etapas sem necessidade de deslocamento entre fábricas, além de reduzir a dificuldade de rastreabilidade das peças.

A organização mais eficiente das operações e eliminação do deslocamento impactaram diretamente no *lead time*, que foi reduzido de 37,1 min para 26,1 min (Fig. 12), tempo 24% menor que no cenário anterior, possibilitando um aumento na capacidade de produção diária de 32%, equivalente a 12 peças produzidas a mais por dia (Fig. 13).

Figura 12. Redução no *lead time* da carcaça diferencial.

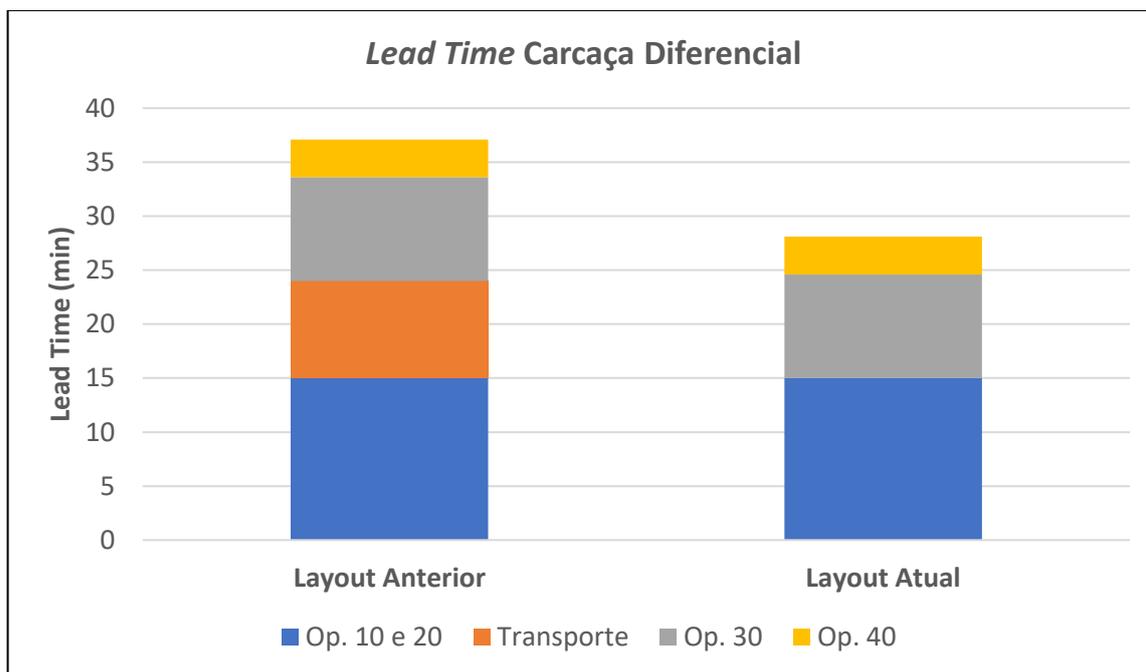
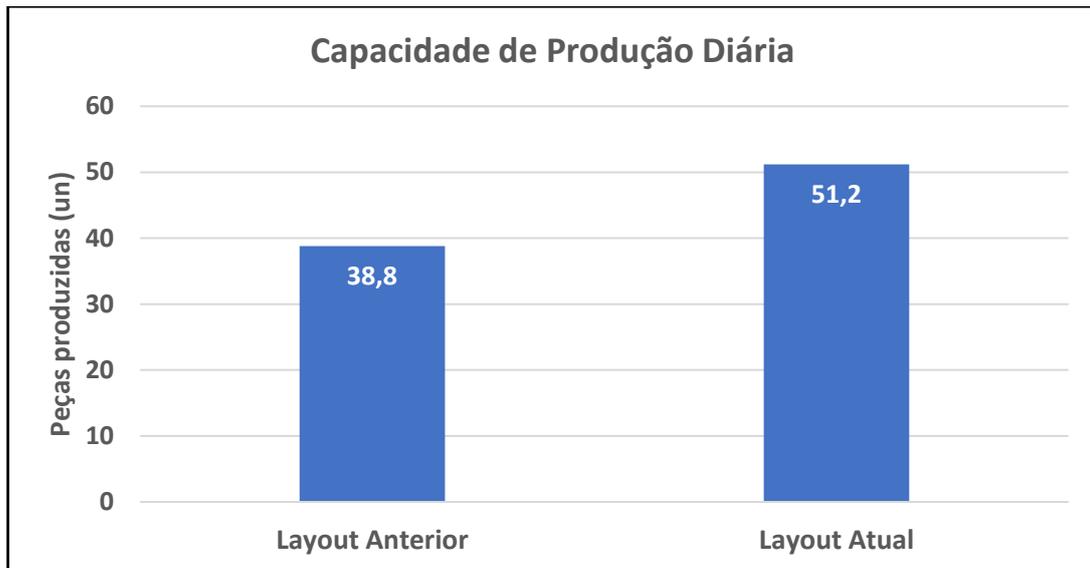


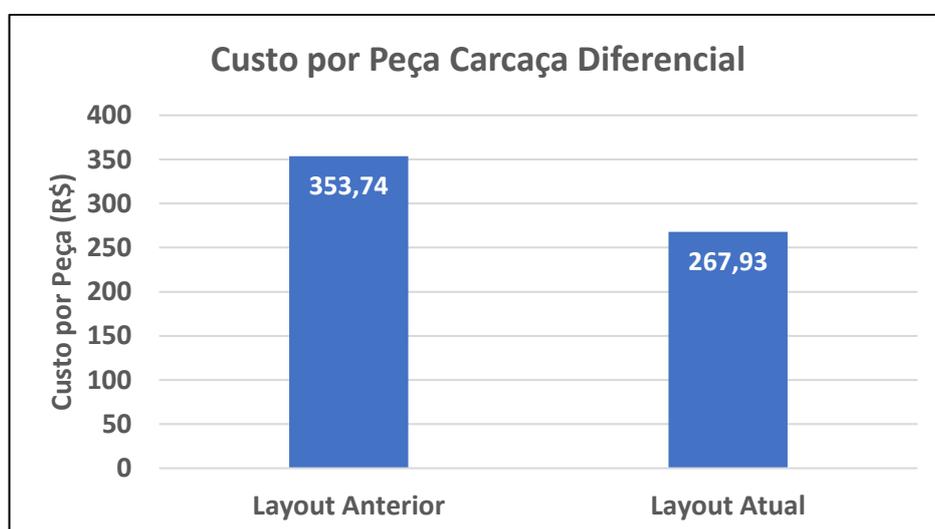
Figura 13. Aumento na capacidade de produção diária.



Ademais, a diminuição do *lead time* contribui para a redução de custos e permite uma flexibilidade maior para possíveis mudanças de demanda no volume de peças. Anteriormente, o processo era interrompido por pausas no estoque entre fábricas, que gerava perdas em horas de trabalho e tempo de espera. O custo de hora máquina é calculado pela soma de 3 componentes principais, os custos de mão de obra (MOD), despesas variáveis operacionais (DVO) e gastos indiretos de fabricação (GIF). Na empresa no ano de 2024, o valor de MOD é de R\$ 124,76, DVO R\$ 152,70 e GIF R\$ 294,63, totalizando um custo de hora máquina de R\$ 572,09. A partir do custo de hora máquina e do *lead time*, é possível encontrar o custo por peça da carcaça diferencial pela Eq.1, onde a implementação do novo *layout* promoveu uma redução de 24% no custo de cada carcaça diferencial produzida (Fig. 14). Desta forma, para cada embalagem de peças prontas (12 peças), há uma economia de R\$ 1029,77, e extrapolando estes valores para uma perspectiva macro da produção, vislumbrando uma previsão anual e considerando o volume de peças igual ao anterior (6030 peças), a economia prevista é de R\$ 517.455,41 de custo de produção da carcaça diferencial.

$$\text{custo por peça} = \text{custo de hora máquina} * \left( \frac{\text{lead time (min)}}{60} \right) \quad (1)$$

Figura 14. Custo por peça carcaça diferencial.



## 5. CONCLUSÃO

A partir da análise do processo de produção da carcaça diferencial, foi possível comprovar que utilizando as bases de filosofia do *lean manufacturing* no desenvolvimento do *layout*, consegue-se identificar desperdícios existentes no processo e problemas na sequência de produção. A implementação do novo arranjo físico centralizando a fabricação da carcaça central otimizou a capacidade produtiva do processo fabril, trazendo ganhos econômicos, gerenciais e fabris.

A readequação de *layout* na Fábrica 02, integrando a produção da carcaça diferencial em uma única célula centralizou todas as operações necessárias, eliminando o transporte de peças entre fábricas que existia anteriormente, proporcionando um processo mais linear e contínuo, reduzindo o lead time de 37,1 minutos para 26,1 minutos, aumentando a capacidade de produção diária em 32%, equivalente a 12 peças adicionais por dia.

Ficou constatado que a diminuição do *lead time* resultou em um relevante impacto na diminuição de custo por peça produzida, com valor reduzido em 24%, gerando economia de R\$517.455,41 considerando um volume de 6030 peças no ano, evidenciando a eficiência do novo arranjo físico e a importância da eliminação de transporte e estoque desnecessário.

O processo integrado trouxe melhorias importantes nas condições de trabalho dos operadores, pois a redução do deslocamento para movimentar, carregar e descarregar peças eliminou a necessidade de subir e descer escadas durante as sequências de atividades na produção, diminuindo o risco de acidentes e o desgaste físico, além de reduzir caminhada desnecessária. A disposição de embalagens e bancadas próximas à porta da máquina deixou as atividades necessárias muito mais ágeis.

## 6. AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Léia e Reni, por jamais pouparem esforços para me proporcionar a melhor qualidade de educação e de vida possíveis. Agradeço pela constante torcida em todos os momentos da vida e pelos valores e princípios a mim transmitidos.

Aos meus amigos de Cambuci, Guda e William, por todos os momentos vividos e pelo companheirismo ao longo dos anos.

À Nathalia, por todo o apoio, compreensão e carinho que sempre me ofereceu, agradeço pelo suporte em todos os momentos desta trajetória.

Aos meus amigos de faculdade Augusto e Henrique, pela companhia no dia a dia e pelos momentos de alegria durante o curso, sem vocês esta trajetória teria sido muito mais difícil.

## 7. REFERÊNCIAS

- GURGEL, Floriano do A. Glossário de engenharia de produção. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2003.
- KUMAR, Sunil A.; SURESH, Nandish. *Production and Operations Management*. New Delhi: New Age International Publishers, 2008.
- LIKER, Jeffrey K. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- MÁRQUEZ, Fausto P. G.; RAMIREZ, Isaac S.; BÁNYAI, Tamás; TAMÁS, Péter (Ed.). *Lean Manufacturing and Six Sigma: Behind the Mask*. London: IntechOpen, 2020.
- MCMILLAN, Gregory K.; CONSIDINE, Douglas M. *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1999.
- MUTHER, Richard; HALES, Thomas. *Systematic Layout Planning*. 4. ed. New York: Management & Industrial Research Publications, 2015.
- NEUMANN, Clóvis; SCALICE, Régis K. Projeto de fábrica e *layout*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.



- OHNO, Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 1ª ed. Cambridge, Massachusetts: Productivity Press, 1988.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. *Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- SHARMA, Suresh; SHARMA, Tushar. *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them*. 1. ed. New York: Productivity Press, 2014.
- SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- TOMPKINS, James A.; SMITH, John D.; BOZER, Yaakov A.; FARRINGTON, Terry W. *Facilities Planning*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2010.
- WERKEMA, Cristina. *Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing e do Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 1. ed. New York: Free Press, 2003.