



JÚLIO CÉSAR SILVÉRIO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PROPOSTA PARA A
REESTRUTURAÇÃO DO LAYOUT DA LINHA DE MONTAGEM DE KITS
GERADORES FOTOVOLTAICOS**

LAVRAS – MG

2023

JÚLIO CÉSAR SILVÉRIO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PROPOSTA PARA A
REESTRUTURAÇÃO DO LAYOUT DA LINHA DE MONTAGEM DE KITS
GERADORES FOTOVOLTAICOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Lúcio Santos

Orientador

LAVRAS – MG

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me guiou até esse momento, pela saúde e conhecimento pra conseguir ultrapassar todos os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais, Claudinei e Lucileia, por serem amigos e conselheiros, pelo amor e suporte ao longo da minha vida.

A minha irmã Vanessa, pelas ajudas e os conselhos durante e após a graduação.

A minha namorada, Anna Caroliny, pelo companheirismo e apoio sempre que precisei.

Ao Gregg, Black, Pierre e Todd, por serem o esteio nos dias tristes.

A toda minha família, que sempre foi solícita e proporciona bons momentos.

Aos amigos que fiz durante a graduação e que tornaram essa trajetória mais leve.

A equipe de robótica TROIA, que proporcionou experiências e conhecimentos incríveis, sendo uma das causas principais do meu emprego atual.

A Universidade Federal de Lavras, pela estrutura do corpo docente, qualidade do ensino e por proporcionar a realização de um sonho.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

Com a atual competitividade do mercado, torna-se crucial buscar técnicas que possam otimizar os meios produtivos, afim de se destacar em meio aos concorrentes. A utilização dos conceitos de Manufatura enxuta, juntamente com o desenvolvimento de um arranjo físico adequado, pode trazer ganhos significativos para uma empresa. Neste contexto, o trabalho possui como objetivo propor uma reestruturação do arranjo físico de uma empresa do ramo de energia solar, seguindo os conceitos de Manufatura enxuta. O desenvolvimento da proposta foi conduzido em três etapas metodológicas: Análise da situação atual, dimensionamento da situação futura e a realização de testes práticos levantando comparações pertinentes entre os dois modelos. Os resultados encontrados indicam um ganho de 77% na produção diária, com uma redução significativa de 45,8% do tempo de ciclo para fabricação de uma unidade. Além disso, a reestruturação proposta também impacta diretamente na organização e padronização dos processos da empresa.

Palavras chave: Manufatura enxuta; Arranjo físico; Kit fotovoltaico; Produção.

ABSTRACT

Given the current competitiveness of the market, it is crucial to seek techniques that can optimize production processes in order to stand out among competitors. The use of Lean Manufacturing concepts, along with the development of an adequate physical arrangement, can bring significant gains to a company. In this context, the objective of this work is to propose a restructuring of the physical arrangement of a solar energy company, following the concepts of Lean Manufacturing. The proposal was developed in three methodological stages: Analysis of the current situation, sizing of the future situation, and the execution of practical tests comparing the two models. The results show an 77% increase in daily production, with a significant 45,8% reduction in the cycle time for the production of a unit. Additionally, the proposed restructuring also has a direct impact on the organization and standardization of the company's processes.

Keywords: Lean Manufacturing; Physical arrangement; Photovoltaic kit; Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A estrutura do <i>Lean manufacturing</i>	14
Figura 2 - Ilustração arranjo físico posicional.....	18
Figura 3 - Ilustração arranjo físico funcional.....	19
Figura 4 - Ilustração arranjo físico por célula.....	19
Figura 5 - Ilustração arranjo físico por produto.....	20
Figura 6 - Variações do arranjo físico por produto.....	20
Figura 7 - Macro etapas do modelo proposto por silva 2009.....	21
Figura 8 - Fluxograma do trabalho.....	23
Figura 9 - Vista explodida de um Kit fotovoltaico.....	24
Figura 10 - Ilustração real de um Kit fotovoltaico.....	24
Figura 11 - Arranjo físico atual.....	25
Figura 12 - Fluxograma de sequência de montagem.....	26
Figura 13 - Movimentações de pessoas durante a montagem do kit.....	27
Figura 14 - Fluxo de movimentação de veículos durante a montagem.....	28
Figura 15 - Arranjo físico proposto.....	31
Figura 16 - Postos de trabalho proposto.....	34
Figura 17 - Mapeamento do galpão em metros.....	36
Figura 18 - Demonstração dos locais do novo <i>layout</i>	37
Figura 19 - Tamanho dos locais de trabalho dentro dos postos e corredores para movimentações em metros.....	38
Figura 20 - Novo fluxo de movimentações.....	39
Figura 21 - Locais de movimentação.....	40
Figura 22 - Postos de trabalho com dispositivos <i>Kanban</i> e Instruções de trabalho.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os 7 desperdícios Ohno 1997.....	13
Tabela 2 - Tabela de planejamento de Reed 1961.....	21
Tabela 3 - Critérios relevantes para definição de um <i>layout</i>	32
Tabela 4 - Avaliação dos critérios de análise.	33
Tabela 5 - Definição dos postos de trabalho.	33
Tabela 6 - Tomada de tempo atual e proposto.	45
Tabela 7 - Resultados Tempo total e tempo de ciclo (Atual x Proposto).....	46
Tabela 8 - Apresentação dos tempos com balanceamento.	47
Tabela 9 - Resultados tempo total e tempo de ciclo (Atual x Proposto balanceado).	48
Tabela 10 - Tempos de ociosidade.	49
Tabela 11 - Produtividade média estimada.....	49
Tabela 12 - Distância percorrida por pessoa atual e proposta.	50
Tabela 13 - Distância percorrida por veículos atual e proposta.	50
Tabela 14 - Comparação dos pontos identificados para melhoria.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Visão geral do tema	10
1.2 Objetivo	11
1.2.1 Objetivo geral.....	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 Motivação	11
1.4 Delimitação do trabalho.....	12
2. REFERENCIAL TEORICO	13
2.1 Manufatura enxuta	13
2.1.1 <i>Just in time</i>	15
2.1.2 Fluxo contínuo.....	15
2.1.3 Sistema Puxado e Empurrado	15
2.1.4 <i>Kanban</i>	15
2.1.5 Tempo de ciclo e <i>Lead time</i>	16
2.1.6 Balanceamento de Produção	16
2.1.7 Padronização	17
2.2 Arranjo físico	18
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 Levantamento da Situação Atual	23
3.1.1 Análise do produto	23
3.1.2 <i>Layout</i> atual.....	25
3.1.3 Identificação dos processos de montagem	26
3.1.4 Identificação dos pontos de movimentações.....	27
3.1.5 Observações da situação atual.....	29
3.2 Projeto da situação futura.....	30
3.2.1 Listagem das necessidades encontradas	30
3.2.2 Proposta do novo <i>Layout</i>	31
3.2.2.1 Seleção do arranjo físico.....	31
3.2.2.2 Determinação dos postos de trabalho	33
3.2.2.3 Balanceamento da produção	34
3.2.2.4 Armazenamento da situação futura	35
3.2.2.5 Estabelecer pontos de movimentação.....	38

3.2.2.6 O novo fluxo de movimentação da situação futura	39
3.3 Manufatura enxuta	41
3.4 Implantação.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Resistência e adaptação.....	44
4.2 Tempo Atual x Proposta	44
4.2.1 Balanceamento da produção.....	46
4.4 Produção Atual x Proposta	49
4.5 Movimentação Atual x Proposta.....	50
4.6 Organização e padronização Atual x Proposto	51
5. CONCLUSÃO	53
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 Visão geral do tema

Devido à crescente demanda por fonte de energia limpa e renovável, o setor fotovoltaico tem experimentado grandes avanços tecnológicos, o que tem gerado uma intensa concorrência entre as empresas. Aquelas que almejam se manterem relevantes e rentáveis em um mercado competitivo convivem com desafios constantes e, uma alternativa para alcançar seus objetivos é por meio da adoção de práticas de gestão eficientes e produtivas.

Neste contexto, o *Lean manufacturing*, também conhecido como manufatura enxuta, é uma metodologia que se destaca como uma ferramenta fundamental e estratégica para reduzir desperdícios nas atividades que não agregam valor ao produto ou serviço oferecido, buscando uma gestão produtiva.

Para implementar os conceitos de manufatura enxuta, é essencial ter um arranjo físico adequado que proporcione uma organização lógica dos meios produtivos e otimize os fluxos dos processos. Dessa forma, pode-se caracterizar o arranjo físico como um alicerce para a implementação da filosofia *Lean manufacturing*.

Portanto, as empresas que adotam essas abordagens apresentam um diferencial competitivo, destacando-se em relação aos concorrentes e ganhando maior relevância no mercado de atuação.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de uma proposta para a reestruturação do *layout* da linha de montagem de kits geradores fotovoltaicos baseando-se nos conceitos de manufatura enxuta.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a situação atual e os processos comumente empregados na empresa;
- Realizar uma análise comparativa do modelo atual com o modelo proposto;
- Aplicar ferramentas de manufatura enxuta para reestruturação do *layout* da linha de montagem.

1.3 Motivação

No setor voltado para energia solar o ramo de Kits fotovoltaicos é uma modalidade emergente no mercado brasileiro. A falta de informações e padronizações sobre o produto é uma questão significativa que afeta as empresas que atuam nesse segmento e, aquelas que conseguirem aplicar ferramentas eficazes para estruturar e padronizar sua cadeia de processos, buscando a excelência, terão uma grande vantagem competitiva em relação aos concorrentes.

A empresa estudada ingressou no mercado de Kits fotovoltaicos no segundo semestre de 2022 com uma meta ambiciosa, impactando muita das vezes em processos não completamente estabelecidos. A linha de montagem do produto em específico, foi desenvolvida com base no conhecimento limitado que se tinha sobre o mercado até o momento e, embora o processo produtivo esteja em constante evolução, a crescente demanda está sobrecarregando-o e há preocupações quanto à sua capacidade de atender às demandas futuras.

Peinado (2007) discute em seu trabalho que um arranjo físico inadequado geralmente é responsável por problemas em produtividade e na qualidade do produto. A área de produção da empresa, quando foi estabelecida, não possuiu um estudo prévio sobre *layout* a se utilizar, refletindo nas complicações produtivas observadas atualmente.

A implementação de conceitos de manufatura enxuta nesses casos torna-se atrativos, uma vez que seus objetivos estão voltados para a redução de desperdícios, padronizar processos e fluxos, resultando em melhorias na produtividade e qualidade do produto, ao mesmo tempo em que reduz custos.

A produção em fluxo contínuo juntamente com um rearranjo do *layout*, como mencionado por Braga (2008), contribui significativamente para a redução do tempo de produção, obtendo um fluxo ordenado e dinâmico, criando um ambiente favorável, além de reduzir os níveis de estoque entre os processos e atividades.

Diante disso, estudos sobre os processos, ferramentas que buscam esse diferencial e o desenvolvimento de um arranjo físico adequado para a fábrica se apontam com alta relevância para a empresa.

1.4 Delimitação do trabalho

- Devido sua extensa proporção, serão abordados somente os conceitos pertinentes da filosofia *Lean* para o desenvolvimento do trabalho.
- Este trabalho limita-se somente a linha de montagem e seu entorno, sem abranger fatores organizacionais e demais áreas da empresa.
- O estudo baseia-se no formato padrão de kits, que correspondem a 80% dos kits produzidos atualmente.

2. REFERENCIAL TEORICO

Para compreender a proposta do trabalho, foi realizado uma revisão de literatura buscando temas pertinentes para seu desenvolvimento. Inicialmente, são explorados os temas de Manufatura enxuta e, em seguida, abordados os conceitos de arranjo físico.

2.1 Manufatura enxuta

O Sistema Toyota de Produção ou Manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*), segundo Dennis (2008) representa fazer mais com menos, menos tempo, menos espaço, menos esforço humano, menos maquinário, menos material e, ao mesmo tempo, dar aos clientes o que eles querem.

Este sistema surgiu devido a necessidade de se criar um novo modelo gerencial pós Segunda Guerra Mundial no Japão, onde o país não dispunha de recursos para realizar altos investimentos para produção em massa e competir no cenário internacional (RIANI, 2006).

Pansonato (2020) cita que o sistema *Lean* tem como objetivo a redução dos desperdícios que afetam os custos e, portanto, para aumentar os lucros, deve-se reduzir esses desperdícios.

Para aplicar o Sistema Toyota de Produção é necessário identificar completamente os desperdícios (Tabela 1), onde esses podem ser divididos nas seguintes categorias (OHNO, 1997).

Tabela 1 - Os 7 desperdícios Ohno 1997.

Superprodução	Produzir sem ter demanda ou mais que o necessário. Isso apresenta grandes desperdícios em área de estoque, deterioração, manutenção de equipamentos, entre outros.
Espera	O operador fica ocioso quando o processo precedente não entrega seu produto no tempo e quantidade certa. Assistir um maquinário em operação esperando terminar.
Transporte	Deslocamento desnecessários de materiais, equipamentos ou pessoas. Criação de estoques temporários e um “tour” pela produção para executar uma tarefa.

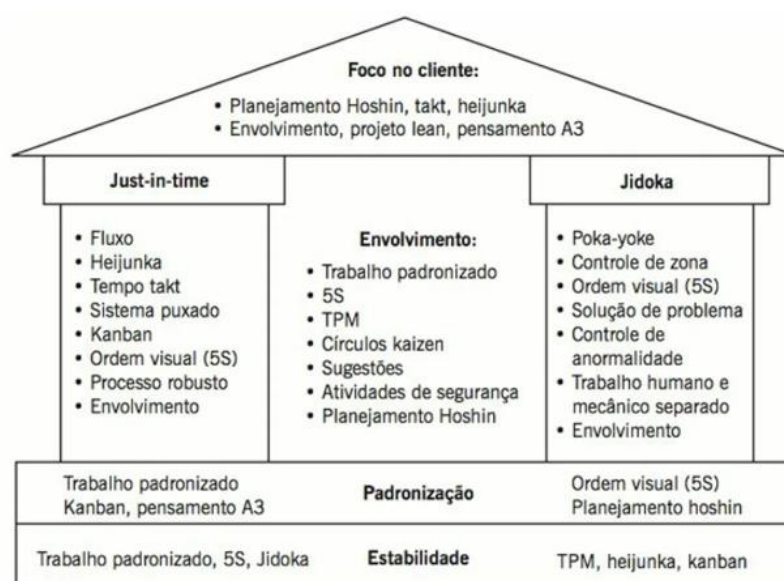
Processo demasiado	Equipamentos limitados para demanda. Processo com desenvolvimento lento ou estagnado, necessitando de etapas extras para conclusão.
Inventários	Estoques altos é considerado dinheiro parado. Toda matéria prima armazenada ou produto acabado que não sejam necessários devem ser evitados e reduzidos.
Movimentação	Movimentação que não agregam valor ao produto. Como uma ação de buscar uma matéria prima para adicionar ao produto ou procurar um equipamento para realizar a tarefa.
Retrabalho ou correções	Tarefa mal realizada gerando um retrabalho por falta de qualidade. Desperdício com trabalho extra e perda de materiais defeituosos.

Fonte: Adaptado de Braga (2008).

Com o intuito de eliminar ou reduzir esses desperdícios, existem uma série de ferramentas que auxiliam neste processo. Para Santos (2019), tais ferramentas são aplicadas com eficiência em problemas específicos, fornecendo meios para aperfeiçoar os processos produtivos.

Dennis (2008) apresenta o alicerce do *Lean manufacturing* em formato de casa apresentado na Figura 1.

Figura 1 - A estrutura do *Lean manufacturing*.



Fonte: Dennis (2008, p. 38).

O conceito *Lean* tem como base a padronização e a estabilidade, sustentados pelos sistemas *Just-in-time* e *jidoka* (autonomiação). O objetivo geral, representado pelo telhado é atender as necessidades do cliente. Cada área da casa simboliza as ferramentas que auxiliam nesse processo. Dentre essas ferramentas, algumas possuem maior relevância pra o trabalho em questão, e são exploradas.

2.1.1 *Just in time*

O *Just in time* é uma ferramenta com o conceito de puxar o fluxo de produção, ou seja, cada processo deve suprir com os itens corretos no momento, quantidade e local certo (RIANI, 2006).

2.1.2 Fluxo contínuo

Fluxo contínuo refere-se a produzir um item de cada vez, e cada parte deste item passa imediatamente de um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma interrupção entre eles (ROTHER; SHOOK, 2003).

Aplicando este conceito nos processos de fabricação é uma forma de obter ganhos significativos de produtividade, contribuindo para a redução do *lead time* de produção dos produtos (BRAGA, 2008).

2.1.3 Sistema Puxado e Empurrado

O sistema puxado significa que um processo inicial não deve produzir sem que o processo posterior solicite a demanda (WOMACK; JONES, 2003). Este tipo de sistema é a o alicerce que está alinhado ao fluxo contínuo e o *Just in time*.

Em contrapartida ao conceito de puxar, o sistema empurrado produz sem ter a demanda solicitada. Braga et al. (2016) mencionam que o sistema empurrado apresenta estoques altos, o inventário é elevado, os tempos e processos não contemplam padronização, o espaço físico é maior que o necessário, além de uma série de outros aspectos ineficientes se comparados ao sistema de puxar.

2.1.4 *Kanban*

Kanban é uma ferramenta aliada ao *just in time* onde se caracteriza sendo uma ferramenta de controle visual, semelhando-se a um sinal de tráfego. Tem como objetivo o controle da produção, realizando seu balanceando, eliminando perdas, controlando o

fluxo de material e permitindo a reposição de estoque baseando nas informações de demanda (RIANI, 2006).

Esse sinal funciona como o disparador da produção, coordenando a produção e definindo o que, quando, quanto, como produzir, como transportar e onde entregar (RIANI, 2006).

2.1.5 Tempo de ciclo e *Lead time*

Peinado et al. (2007) mencionam que o tempo de ciclo representa o tempo em que a linha leva para que seja produzido uma peça, sendo o tempo máximo permitido para cada etapa de trabalho. Já o *Lead Time* de produção se refere ao tempo necessário para o produto percorrer todas as etapas do processo, do início ao fim.

Esses dois indicadores são fundamentais para realizar análises sobre a linha produtiva. Em um sistema de fluxo contínuo, Peinado et al. (2007) citam que o posto mais lento irá determinar o ritmo dos demais, ou ao menos daqueles que ocorrem depois, uma vez que as tarefas anteriores podem estar sendo realizadas e gerando grandes estoques.

Já o tempo de ciclo de uma produção em lotes pode ser expressa pela equação (1).

$$Tc = \frac{Lt}{Np} \quad (1)$$

Tc Tempo de ciclo;

Lt *Lead time* (tempo total de produção);

Np Número de unidades produzidas.

2.1.6 Balanceamento de Produção

O balanceamento da linha de produção nada mais é que todos os postos de trabalhos que formam a linha demandem aproximadamente o mesmo tempo de execução para as tarefas a elas destinadas. Isso minimiza o tempo ocioso de mão de obra e de equipamentos (PEINADO; GRAEML; AGUIAR, 2007).

Linhas com um bom balanceamento apresentam um fluxo suave e contínuo, devido a todas estações de trabalho estarem em um mesmo ritmo de produção (PEINADO; GRAEML; AGUIAR, 2007).

Para realizar o balanceamento de produção, é necessário analisar a quantidade de estações de trabalhos que buscam atingir o objetivo proposto, e pode ser calculado através da equação (2).

$$Ne = \frac{Ti}{Tc} \quad (2)$$

Ne Número de estações de trabalho

Ti Tempo individuais

Tc Tempo de ciclo

Peinado et al. (2007) afirmam que mesmo que a produção esteja balanceada, é comum existir postos com atividades que variam o tempo de execução, resultando em paradas ou esperas até que as outras estações concluam suas respectivas partes e, desta forma, é importante mapear e controlar esse tempo ocioso. A equação (3) apresenta a base para se encontrar esse valor de ociosidade.

$$Oc = \frac{\sum To}{(Ne \times Tc)} \quad (3)$$

Oc Ociosidade em porcentagem

$\sum To$ Somatória do tempo ocioso

Ne Número de estações

Tc Tempo de ciclo

2.1.7 Padronização

A padronização das operações para Ghinato (2000), é procurar obter o máximo de produtividade através da padronização dos elementos de trabalho que agregam valor e elimina perdas do processo. O autor menciona que a determinação da rotina-padrão permite o operador executar ciclos de forma consistente ao longo do tempo, além de evitar que executem aleatoriamente os passos determinados do processo e, desta forma, reduz a flutuação no tempo de produção.

2.2 Arranjo físico

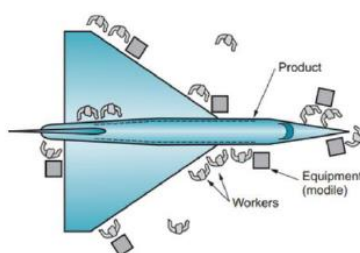
Para Slack (2020) o arranjo físico representa o posicionamento físico das instalações, máquinas, equipamentos e de pessoas da operação.

Arranjos físicos adequados para o determinado tipo de produção visam obter competitividade ou encontrar vantagens competitivas dentro da empresa (COSTA *et al*, 2018).

O objetivo principal de um bom arranjo físico citado por Coelho (2022) é garantir um fluxo mais contínuo o possível para um processo, desde a entrada da matéria prima até a saída como produto, evitando gargalos e desperdícios. Existem vários modelos de arranjos físicos e os quatro mais comuns são apresentados.

- a) **Arranjo físico posicional:** Neste modelo, o produto se encontra fixo em um local de trabalho enquanto os equipamentos, matéria-prima e pessoas se movem até o local para realizar a operação, como ilustrado na Figura 2.

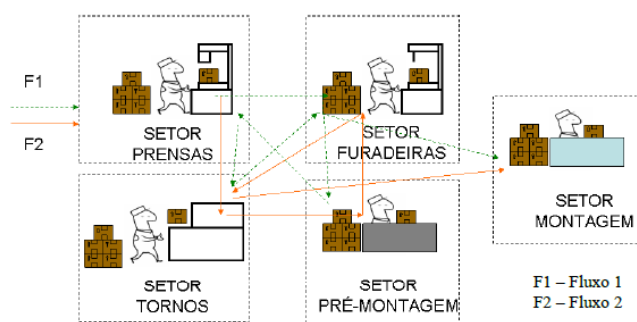
Figura 2 - Ilustração arranjo físico posicional.



Fonte: Mollar (2018) citado por Coelho (2022, p.12).

- b) **Arranjo físico funcional:** Recursos ou processos semelhantes são aglomerados juntos, como na Figura 3. Este modelo é adequado para produção em lotes em sistemas com grande volume e variedade de produção (COELHO, 2022).

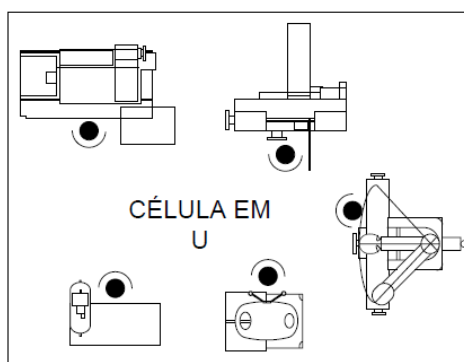
Figura 3 - Ilustração arranjo físico funcional.



Fonte: Silva (2009, p. 43).

- c) **Arranjo físico por célula:** Os equipamentos são agrupados em conjuntos, onde cada grupo gere autonomamente e opere um tipo de produto (Figura 4). Ele se caracteriza como um modelo híbrido visto que tem semelhanças ao *layout* funcional e por produto Coelho (2022).

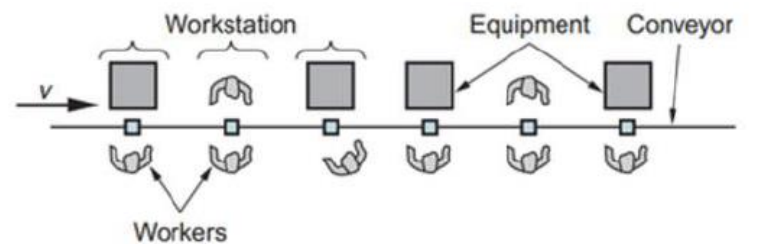
Figura 4 - Ilustração arranjo físico por célula.



Fonte: Silva (2009, p. 52).

- d) **Arranjo físico por produto:** Neste modelo, são dispostas estações de trabalho no qual se encontram de forma sequencial (linha) e o produto segue um padrão de etapas pré-estabelecidas para seu desenvolvimento, como apresentado na Figura 5.

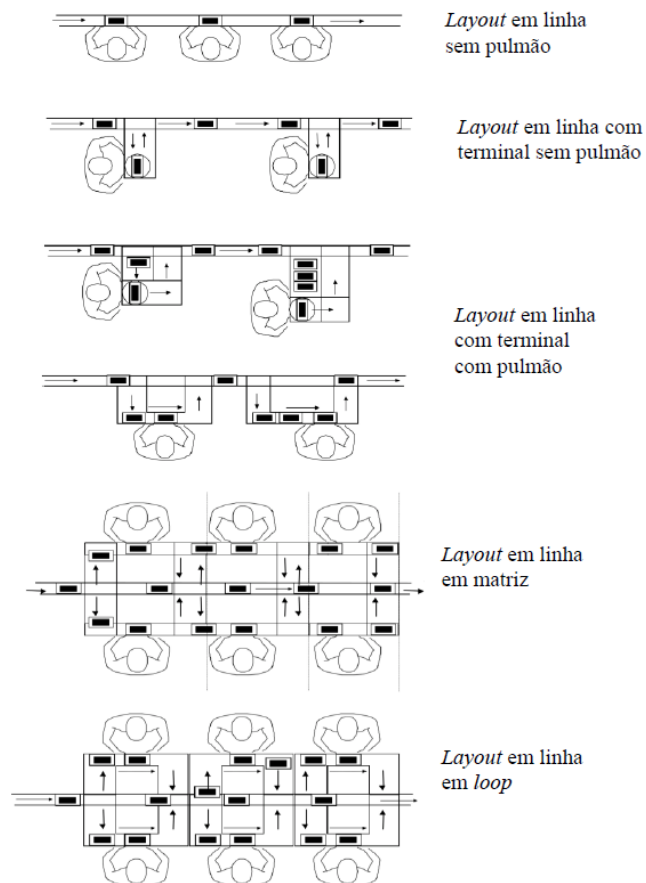
Figura 5 - Ilustração arranjo físico por produto.



Fonte: Mollar (2018) citado por Coelho (2022, p.12).

O Arranjo físico por produto ou em linha apresentam algumas variações onde podem ser de relevância no momento de estruturar o *layout*. Silva (2009) apresenta as variações destacadas por Heilala e Voho (1997) vistas na Figura 6.

Figura 6 - Variações do arranjo físico por produto.



Fonte: Heilala e Voho (1997) citado por Silva (2009, p.47).

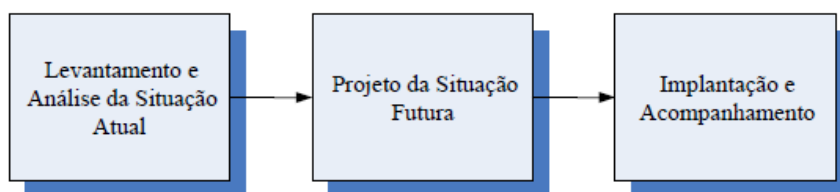
3. METODOLOGIA

Slack (2020) menciona que um rearranjo físico radical na operação pode ocasionar um entrave no fluxo do processo, ocasionando um aumento no tempo, deixando o cliente insatisfeito. Devido a isso, sua implementação deve começar com uma avaliação completa do estado atual e dos objetivos que desejam alcançar.

Silva (2009) propõe que o projeto do *layout* pode ser dividido em três etapas (Figura 7), sendo elas:

1. Levantamento e análise da situação atual;
2. Projeto da situação futura;
3. Implementação e acompanhamento.

Figura 7 - Macro etapas do modelo proposto por silva 2009.



Fonte: Silva (2009, p. 101).

Reed (1961) lista as etapas necessárias no planejamento e preparação de um *layout*, onde são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de planejamento de Reed 1961.

1. Análise do Produto	a) Análise do(s) produto(s) em geral; b) Esboço de montagem completa; c) Lista de materiais e peças necessárias;
2. Identificação do processo produtivo	a) Tabela ou gráfico da indicação da sequência de montagem geral. b) Folha de rotas e/ou de operações devem ser criadas para o processo.

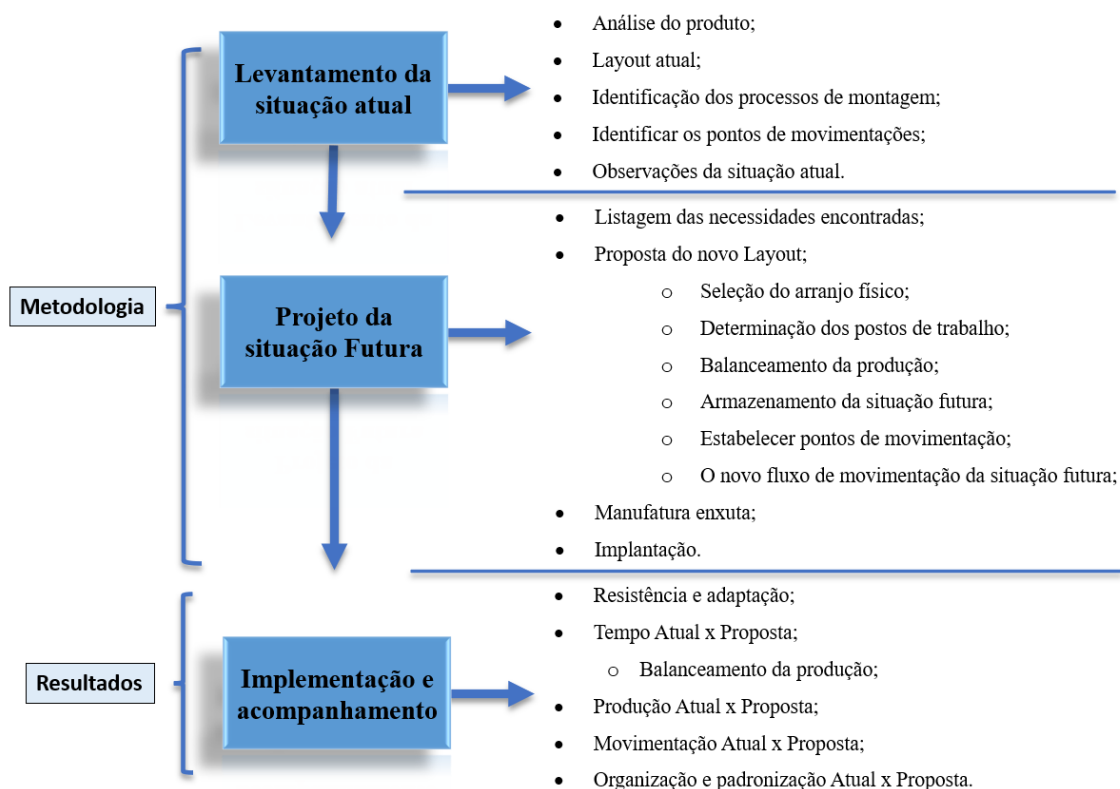
3. Preparar notas de planejamento	<ul style="list-style-type: none"> a) Processos do fluxo, mostrando todas operações; movimentações, armazenamento e inspeções; b) Tempos padrão para cada processo de operação; c) Seleção e equilíbrio de maquinário; d) Requisito de mão de obra para a atividade; e) Método de manuseio de materiais.
4. Determinação das estações de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> a) Levantamento das operações e esboços da estação de trabalho. b) Determinação da localização logica das inspeções no processo.
5. Espaço destinado ao armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> a) Estudo do tamanho e da localização; b) Estudo do armazenamento de material aguardando processamento; c) Estudo do armazenamento em processo; d) Estudo do armazenamento de produtos acabados;
6. Estabelecer pontos de movimentação e sua dimensão.	<ul style="list-style-type: none"> a) Definir a folga ao redor dos equipamentos e posto de trabalho; b) Definir a largura dos corredores;
7. Considerar expansão futura	<ul style="list-style-type: none"> a) Considerar adição de novas linhas; b) Considerar automatização e/ou equipamentos para auxiliar no processo.

Fonte: Adaptado de Reed (1961).

O presente trabalho tem como base esses dois conceitos, de Reed (1961) e Silva (2009), aplicando adaptações pertinentes para o tema em questão. O fluxograma do trabalho é apresentado na Figura 8, onde consiste em um roteiro de etapas para conseguir desenvolver a proposta do *layout*.

Inicialmente foi realizado a caracterização do cenário atual, observando os processos e identificando os pontos de melhoria. Em seguida, é desenvolvido o *layout* baseando-se nas informações recolhidas e aplicando técnicas e conceitos de manufatura enxuta. Por fim, é realizado comparações entre o cenário atual e o proposto, afim de obter resultados significativos para análise.

Figura 8 - Fluxograma do trabalho.



Fonte: do autor (2023).

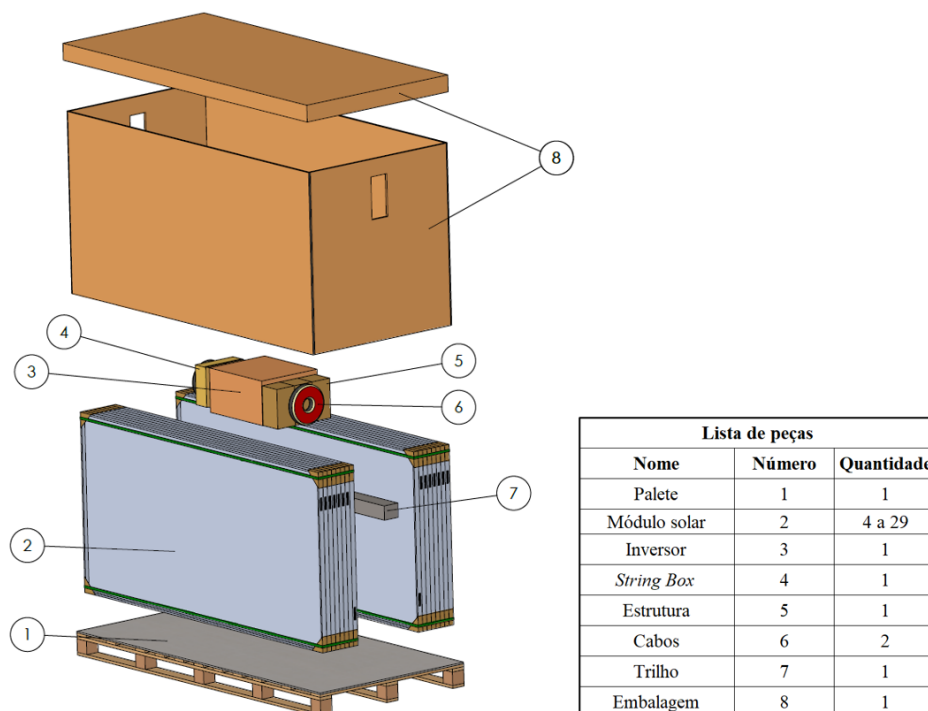
3.1 Levantamento da Situação Atual

3.1.1 Análise do produto

Pode-se definir um Kit fotovoltaico sendo um aglomerado de componentes que, juntos, são capazes de transformar a luz solar (energia química) em energia elétrica. O kit solar é composto, necessariamente, por painéis fotovoltaicos, inversor fotovoltaico, *string box*, cabos, estruturas, pode ou não possuir bateria para armazenamento e, todos esses componentes são transportados em um palete e envolto de uma embalagem de papelão para proteção.

Na Figura 9, pode-se observar a vista explodida do produto juntamente com uma lista de peças que demonstra a construção de um kit padrão. Já a Figura 10 representa uma imagem real do produto.

Figura 9 - Vista explodida de um Kit fotovoltaico.



Fonte: do autor (2023).

Figura 10 - Ilustração real de um Kit fotovoltaico.

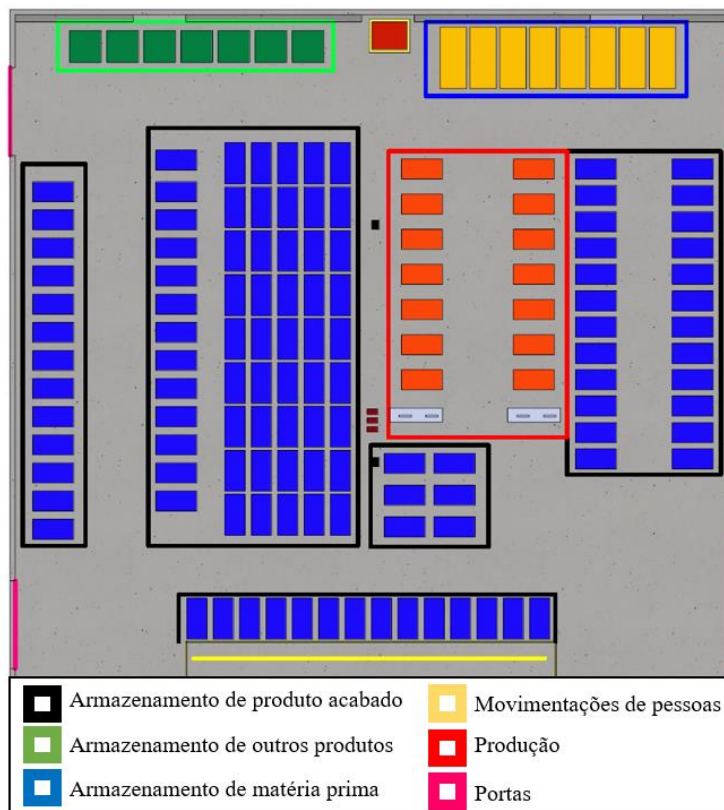


Fonte: Do autor (2023).

3.1.2 Layout atual

O arranjo físico atual é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Arranjo físico atual.



Fonte: Do autor (2023).

O esquema apresentado se comporta de forma estática e, através da literatura estudada, define-se este modelo como arranjo físico posicional ou fixo, onde os meios de processos e equipamentos vão até o local que está o palete para ocorrer as etapas produtivas necessárias.

Ao analisar a cadeia do kit fotovoltaico como um todo, identifica-se que o processo é um sistema puxado, no qual os produtos são fabricados apenas sob demanda, ou seja, apenas aqueles que foram vendidos são produzidos. Por outro lado, o processo de montagem se caracteriza como um sistema empurrado, no qual as áreas subsequentes não conseguem acompanhar o fluxo de trabalho, ocasionando no acúmulo de estoques entre as etapas de produção.

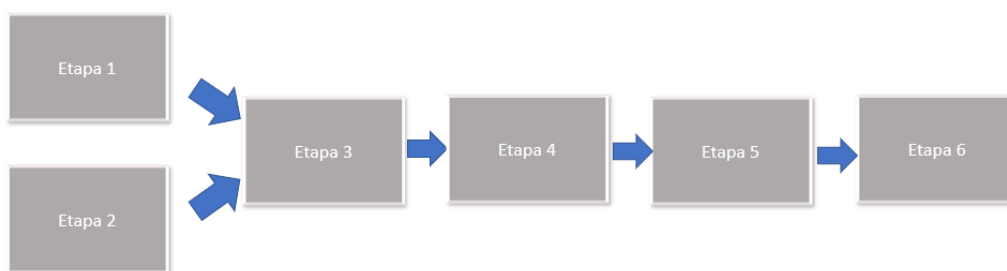
3.1.3 Identificação dos processos de montagem

Uma análise no formato atual de produção foi realizada e os processos são descritos.

- Etapa 1: Separação da matéria prima para o kit e transporte para a área de montagem.
- Etapa 2: Módulos fotovoltaicos virgens são separados e alocados ao lado do palete no qual será montado o kit.
- Etapa 3: Os itens são organizados e amarrados no palete de forma centralizada.
- Etapa 4: Adição dos módulos fotovoltaicos no palete do kit e amarração.
- Etapa 5: Adição da embalagem e amarração de todo o produto.
- Etapa 6: Transporte do produto para o armazenamento e expedição.

É possível realizar um fluxograma da sequência de montagem, representada na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma de sequência de montagem.



Fonte: Do autor (2023).

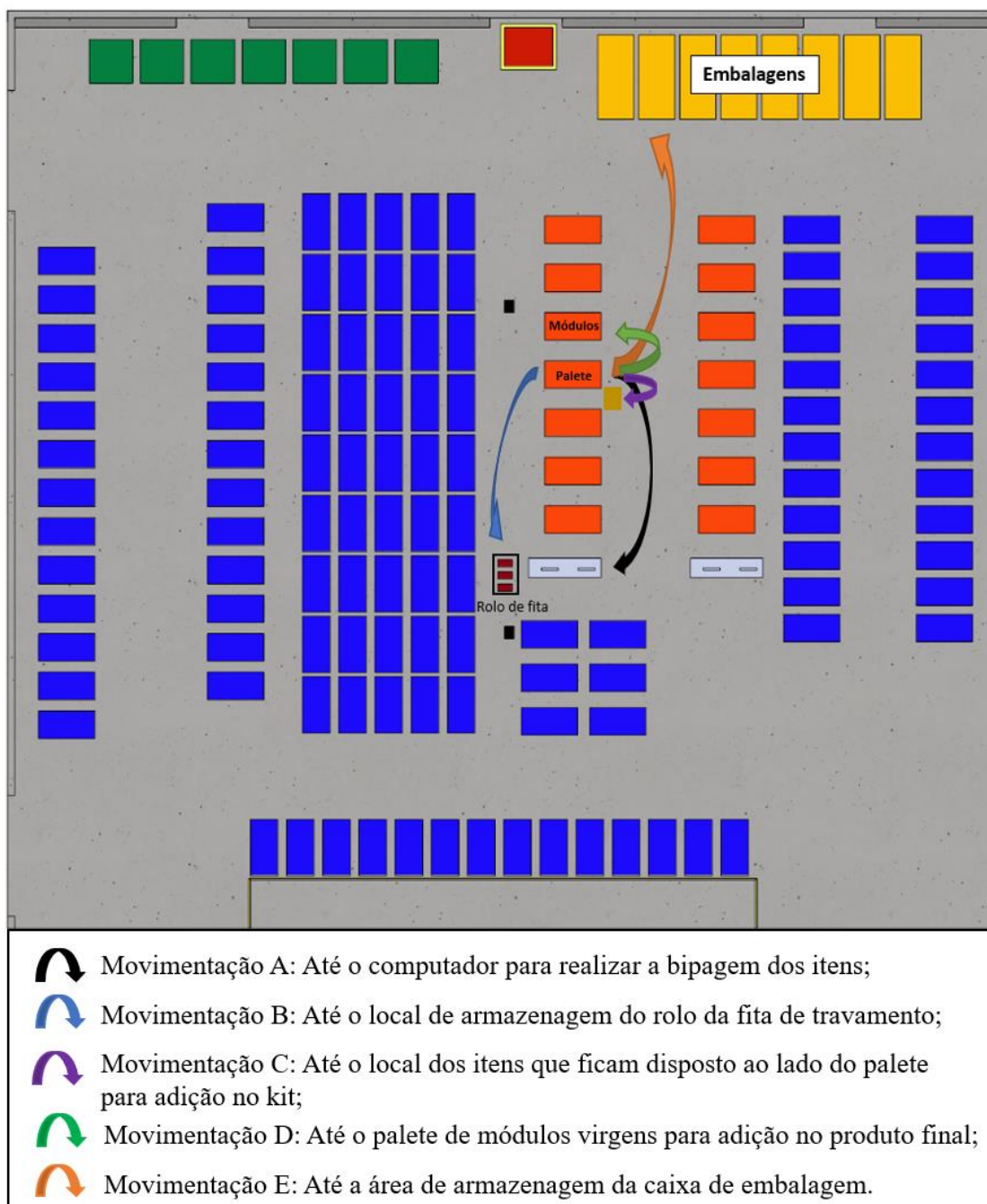
Uma particularidade desse processo é a ocorrência do abastecimento (etapa 1 e 2) parcial ou completo da área de produção (Figura 11) pra se iniciar as demais etapas produtivas. Essas etapas ocorrem em paralelo e requerem que os operadores que realizam a montagem (etapa 3, 4 e 5) auxiliem nesta tarefa e, posteriormente, retornem somente para sua tarefa.

3.1.4 Identificação dos pontos de movimentações

Analisar as movimentações realizadas para a operação é de extrema importância para compreender ações que não agregam valor ao produto e que se encaixam em um dos 7 desperdícios citados por Ohno (1997).

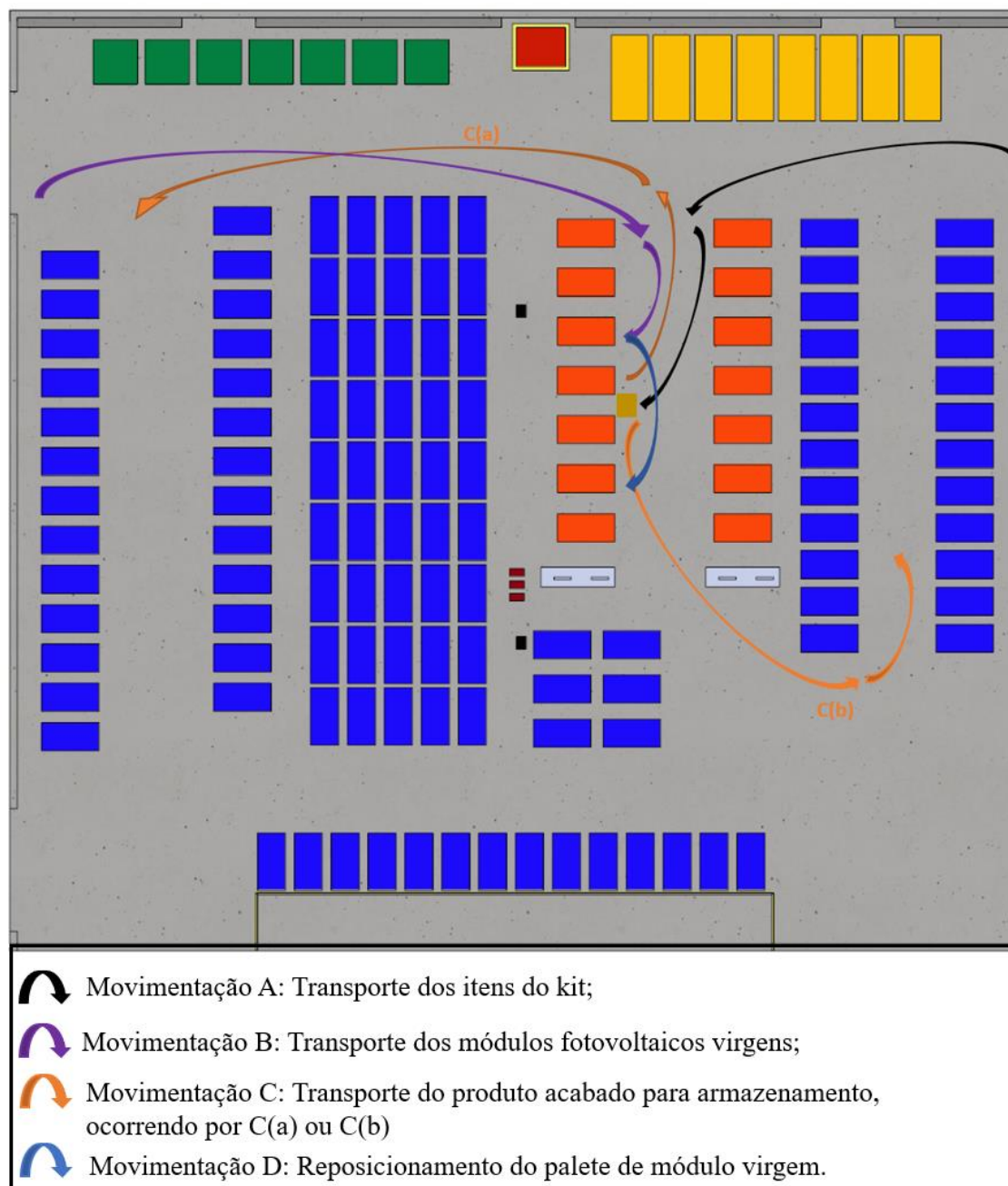
A Figura 13 apresenta o padrão de movimentações de pessoas durante a montagem de um Kit fotovoltaico e a Figura 14 as movimentações de veículos.

Figura 13 - Movimentações de pessoas durante a montagem do kit.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 14 - Fluxo de movimentação de veículos durante a montagem.



Fonte: Do autor (2023).

Os dados das movimentações A e B na Figura 14 foram coletadas até o limite dos galpões vizinhos. Portanto, ações que ocorreram posteriormente a esse limite não foram consideradas na análise.

3.1.5 Observações da situação atual

A partir das análises realizadas é possível fazer observações relevantes sobre o estado atual.

- A linha de montagem apresenta um fluxo não contínuo.
 - O processo se caracteriza como uma montagem estática, iniciando em um local e terminando no mesmo local.
- O processo apresenta grandes gargalos entre as etapas produtivas.
 - A área de produção deve ser abastecida parcialmente para iniciar as demais etapas.
 - Algumas etapas do processo produtivo requerem mais tempo do que outras e sem apresentar um balanceamento adequado, gerando gargalos durante a montagem.
- Mão de obra ociosa.
 - Durante a etapa de montagem, é necessária uma equipe composta por 3 operadores, em que um deles acaba sendo subutilizado, servindo somente de suporte de apoio para os módulos. Essa situação ocorre devido à falta de ferramenta adequadas, indicando um processo demorado.
- Deslocamento desnecessário de materiais e Tempo de *setup*.
 - Pausas para reabastecimento da área de produção.
 - Movimentações desnecessárias do palete de módulos virgens para perto do local que ocorrerá a montagem final.
- Processo de montagem não padronizado.
 - Sequência de movimentação e montagem, muitas vezes são invertidas ou feita aleatória pelos operadores.
- Alto fluxo de movimentação.
 - Ativos longes dos postos de trabalho.
 - Movimentação desordenada causando engarrafamento e espera.
 - Fluxo de pessoas em meio ao trânsito de empilhadeiras elétricas, causando riscos de acidentes.
 - Trânsito de veículos não são pré-estabelecidos.
- Grandes estoques em processo.
 - Na área de montagem é possível ter até 14 paletes em espera para ser trabalhado, gerando um estoque em processo alto.

- Estoque aleatórios dentro do galpão.
 - A ausência do mapeamento da área de armazenamento ocasiona no posicionamento aleatório dos materiais e produtos nos locais que possuem espaço livre.
- Processo obscuro.
 - As tarefas dos operadores não são claramente estabelecidas.
 - Todos realizam diversas atividades, porém, devido à falta de treinamento e conhecimento, os resultados podem não ser satisfatórios, ocasionando a necessidade de retrabalho.

3.2 Projeto da situação futura

Para o desenvolvimento de uma solução, primeiramente, foram listados os objetivos almejados com o projeto. Em seguida, realizadas etapas de desenvolvimento para conseguir alcançar as necessidades encontradas e concluir a proposta.

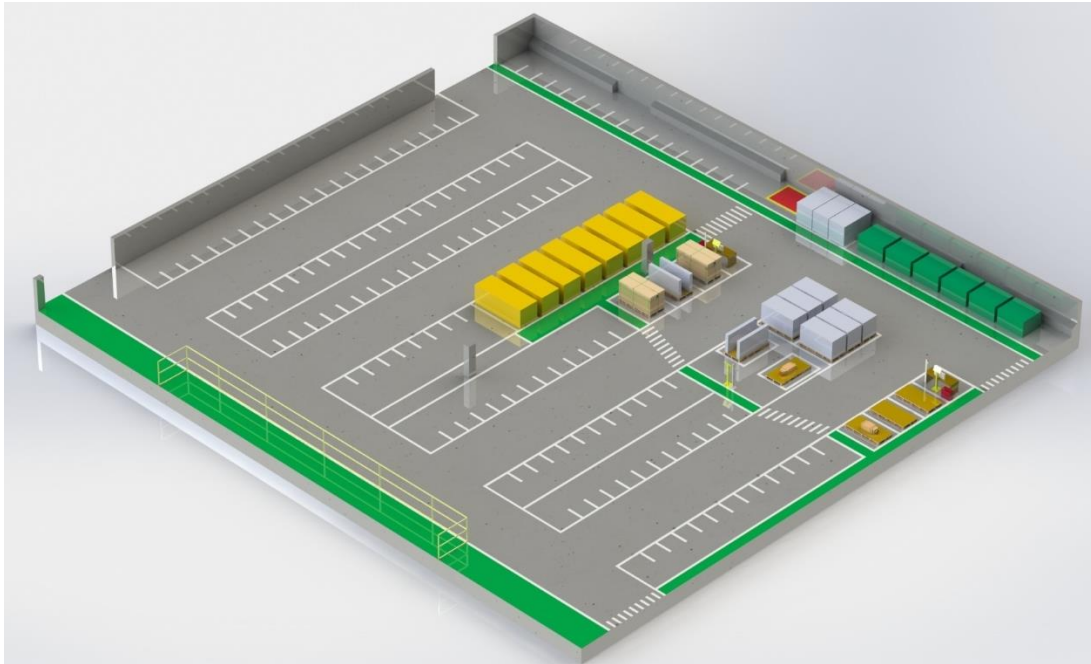
3.2.1 Listagem das necessidades encontradas

- Desenvolvimento de um novo *Layout* de produção, almejando as seguintes premissas:
 - Utilização da metodologia *Just in time*;
 - Utilização do conceito Fluxo contínuo;
 - Utilização da ferramenta *Kanban*;
 - Balanceamento da produção;
 - Padronização;
 - Reduzir os gargalos entre as etapas;
 - Reduzir os estoques em processos;
 - Organizar a área de produto acabado;
 - Reduzir o tempo de Setup de adição dos módulos;
 - Definir o fluxo do material, desde sua entrada até sua saída;
 - Definir postos de trabalho e o local para movimentação de pessoas;
 - Definir o fluxo específico para veículos;
 - Redução de mão de obra ociosa.

3.2.2 Proposta do novo *Layout*

A Figura 15 representa o novo arranjo físico desenvolvido, e a sua obtenção é apresentada nos tópicos seguintes.

Figura 15 - Arranjo físico proposto.



Fonte: Do autor (2023).

3.2.2.1 Seleção do arranjo físico

Silva (2009) apresenta que cada tipo de *layout* tem características que se aproximam ou se distanciam do modelo de produção enxuta e, diante disso levantou critérios para defini-los. Os critérios que são de relevância para o trabalho foram selecionados e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios relevantes para definição de um *layout*.

Movimentação	Movimentação e transporte desnecessários. O <i>layout</i> deve possibilitar que a movimentação de materiais e produtos seja a menor possível.
Fluxo contínuo	O <i>layout</i> deve ser planejado partindo que as peças fluam de forma contínua e suave entre as estações de trabalho.
Gestão visual	Gerenciamento visual facilitado. O <i>layout</i> deve permitir que seja possível a visualização clara das etapas de um determinado processo.
Flexibilidade	O <i>Layout</i> deve se adaptar de forma rápida e eficiente para a alteração de produto e volume de produção, atendendo as flutuações na demanda.
Estoque	O <i>layout</i> deve minimizar a distância física entre as máquinas e postos de trabalho buscando eliminar estoques intermediários.

Fonte: adaptado de Silva (2009).

Peinado et al. (2007) discute que uma das vantagens do *layout* por produto é a produtividade em massa com um controle de produção facilitado. Por outro lado, a falta de flexibilidade da linha e a fragilidade a paralisações e gargalos são pontos degradantes ao modelo de arranjo físico.

Diante desta análise e visualizando o produto estudado que pode apresentar algumas variações em seu desenvolvimento, esse critério de flexibilidade pode apontar como um empecilho para a aplicação deste *layout*. Entretanto, tais variações no produto são pequenas, e modificações no fluxo de montagem ou equipamentos específicos não são necessárias. Kits que apresentam variações são pequenas proporções com relação ao montante total de produção, além de poderem ser mapeados antes de iniciar seu processo de montagem.

Silva (2009) apresenta uma tabela que qualifica os *layouts* com os critérios de análise, aplicando notas que correspondem a resposta ao critério analisado. O autor menciona que não existe um *layout* ideal e, as particularidades de cada caso conduzirão a um *layout* específico.

A Tabela 4 apresenta as notas que correspondem a cada critério analisado para o *layout* proposto para o caso deste trabalho.

Tabela 4 - Avaliação dos critérios de análise.

Modelo de <i>Layout</i>	Critérios de Análise				
	Movimentação	Fluxo contínuo	Gestão visual	Flexibilidade	Estoques
Produto	Baixa	Alto	Alta	Média	Baixo

Fonte: Adaptado de Silva (2019).

As análises realizadas corroboram com as metas que se deseja alcançar com o desenvolvimento do novo *layout* para empresa, e perante a isso, o modelo de *Layout* por produto, em específico possuindo um pequeno pulmão, é selecionado para implementação e pode ser visualizada na Figura 16.

A escolha do *layout* com pulmão se dá pelo alto grau de mudança que ocorrerá, bem como à variabilidade de tempo dos postos de trabalho que, mesmo após um balanceamento, ainda podem apresentar pequenas variações que geram gargalos inesperados. Dessa forma, o pulmão proporciona maior flexibilidade e adaptação a possíveis imprevistos no processo produtivo.

3.2.2.2 Determinação dos postos de trabalho

Através da análise dos processos de montagem realizado no item 3.1.3, foi feita a separação do processo em 3 postos de montagem, que são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Definição dos postos de trabalho.

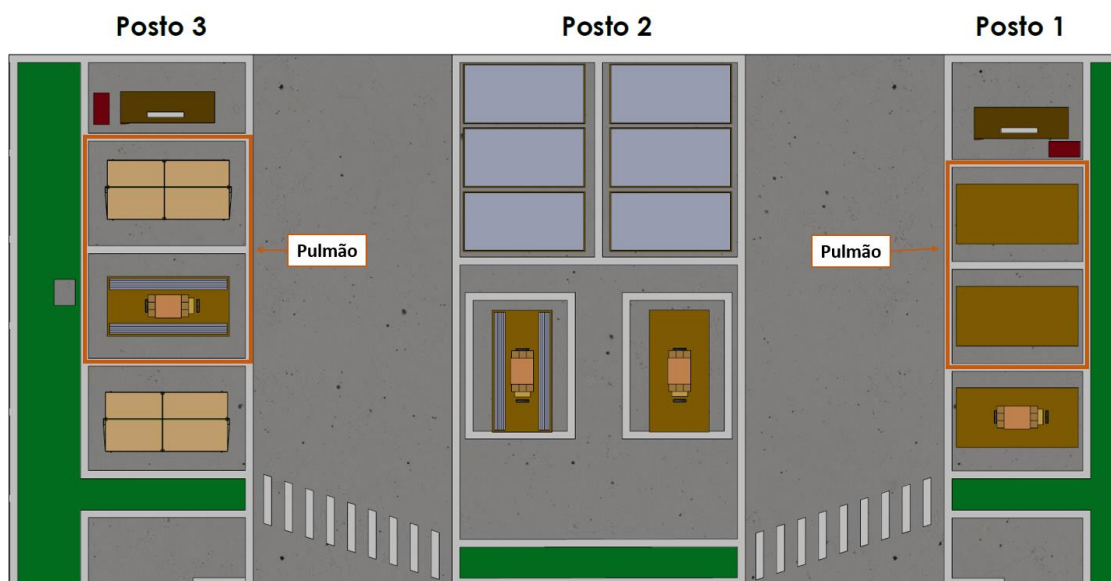
Posto 1- Área das miscelâneas	Local onde os itens são organizados, amarrados e realizado a primeira leitura dos códigos dos produtos constituintes.
Posto 2 – Área de Adição dos módulos	Local onde os módulos fotovoltaicos são adicionados e amarrados
Posto 3- Montagem final	Local onde é feita a leitura final dos itens constituintes no kit, adicionado a embalagem e finalizado a montagem

Fonte: Do autor (2023).

Com a adição de postos específicos de trabalho, evita-se que o operador fique sobrecarregado com a montagem completa, além de possibilitar a aplicação de rodízios periódicos entre os postos.

A Figura 16 apresenta a disposição dos postos dimensionados com a demarcação dos pulmões.

Figura 16 - Postos de trabalho proposto.



Fonte: Do autor (2023).

3.2.2.3 Balanceamento da produção

O balanceamento da linha de montagem foi realizado seguindo as seguintes premissas de análises:

- Tempo realizado por cada posto de trabalho, considerando desde a entrada do produto, até à sua saída para o posto seguinte;
- Quantos operadores são necessários em cada posto de trabalho;
- Análise do impacto gerado ao aumentar ou reduzir operadores por posto;
- Cálculo da quantidade de estações de trabalhos necessárias.

Com esses critérios foi possível ajustar e aproximar o tempo de execução de cada posto de trabalho, visando obter um fluxo mais contínuo possível.

3.2.2.4 Armazenamento da situação futura

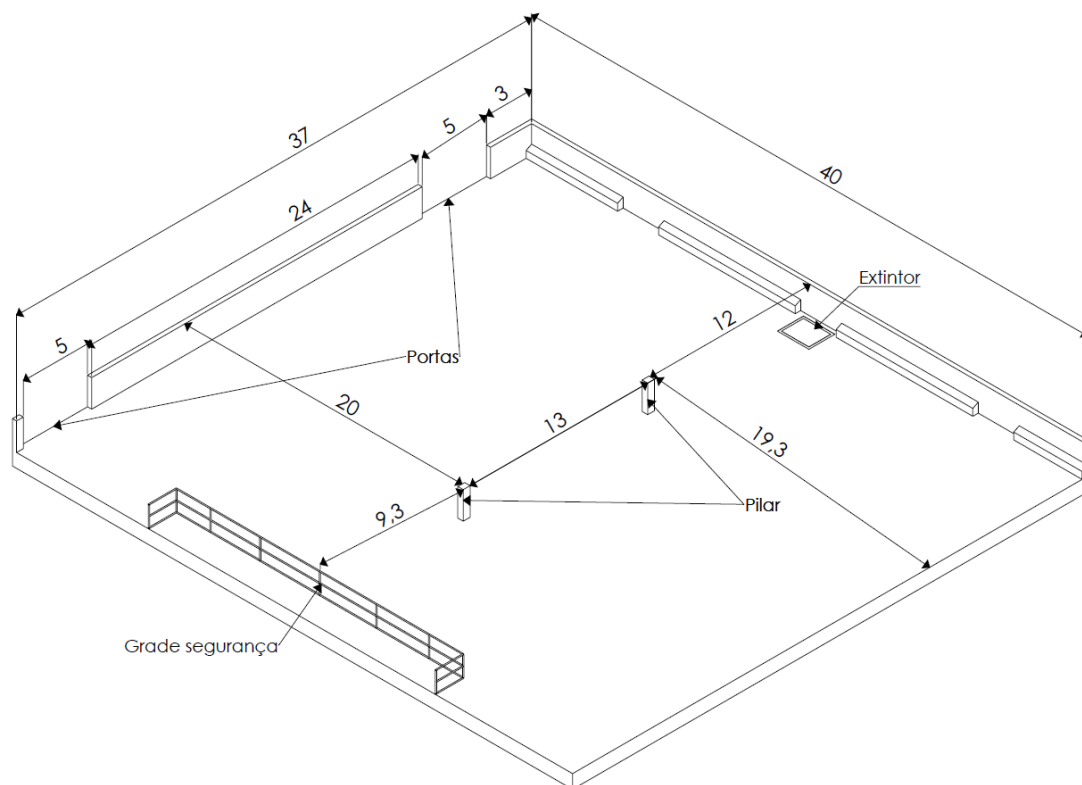
Espaços específicos destinados ao armazenamento, tanto de produto acabados quando em andamento é essencial para organização do arranjo físico, com isso, foram analisadas as condições a seguir.

- a) Levantamento dos armazenamentos que se deseja no *layout* proposto.
 - Estoque de módulos de pré-montagem na etapa 2 visando reduzir as paradas de *setup*.
 - Armazenamento da embalagem próximo a etapa 3.
 - Pulmão entre os postos de trabalho.
 - Estoque de produto acabado.
- b) Análise do espaço disponível
 - Elaborado uma medição no local disponível para implementação do *layout* e área de produto acabado, tomando ciência dos pontos indisponíveis para trabalho, como pilastras e extintores de incêndios.
 - Desenvolvido uma análise do espaço necessário e a melhor disposição para os locais de armazenamento.

O *layout* proposto deve garantir que esses locais sejam claramente definidos, bem posicionados em relação aos processos produtivos, e que o dimensionamento seja coerente com a demanda.

A Figura 17 apresenta o dimensional realizado no galpão disposto para as operações.

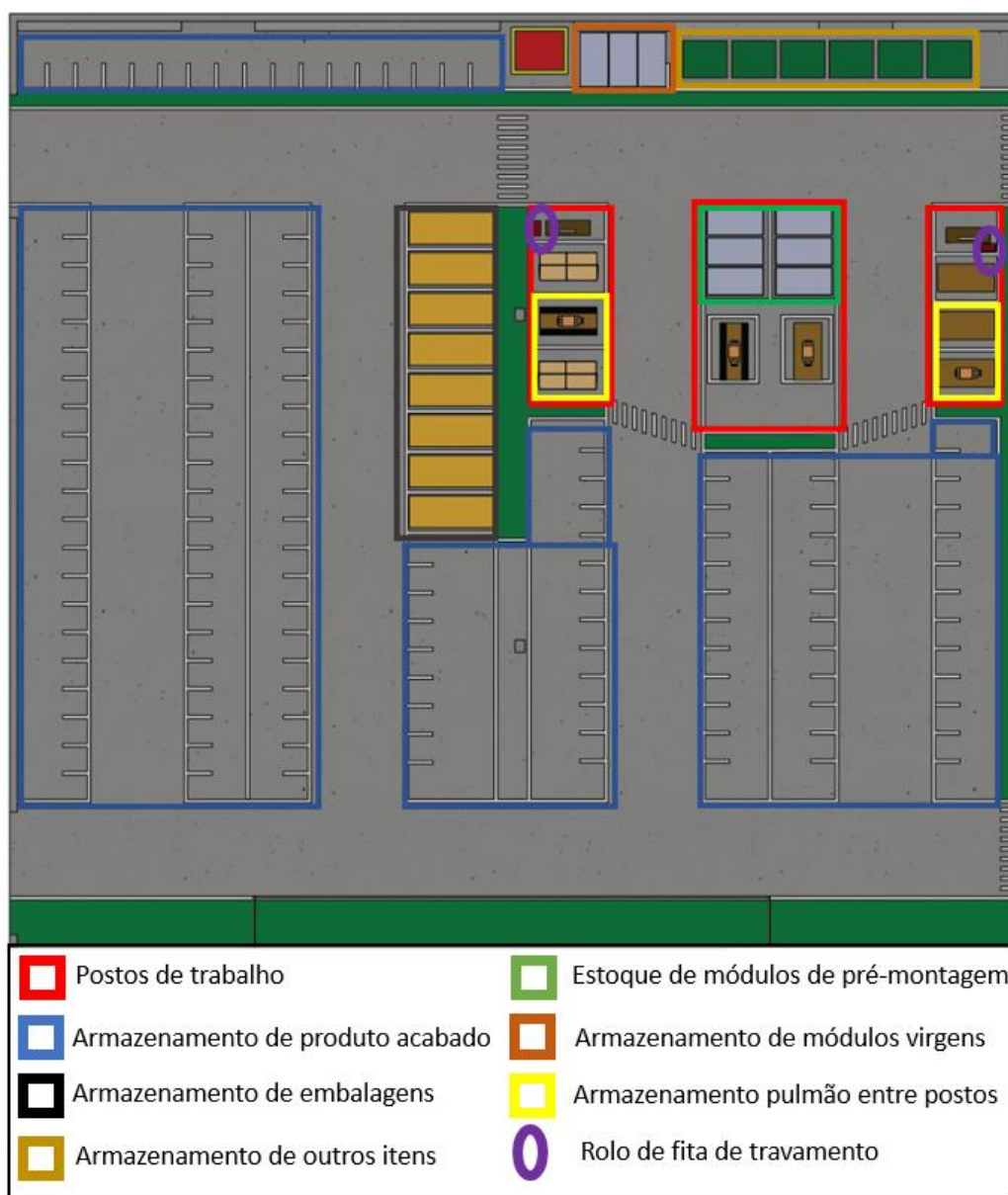
Figura 17 - Mapeamento do galpão em metros.



Fonte: Do autor (2023).

A Figura 18 apresenta a posição dos estoques e locais de trabalhos dimensionados para o novo *layout*.

Figura 18 - Demonstração dos locais do novo layout.



Fonte: Do autor (2023).

A disposição escolhida visa estabelecer um fluxo linear e padronizado para o transporte dos paletes de kits, além de otimizar o espaço disponível. O armazenamento de pré-montagem tem o intuito de retardar a necessidade de *setup*, evitando paradas frequentes para reposição, e o estoque de módulos virgens permite que a pilha seja reabastecida rapidamente visando reduzir o tempo de *setup*.

O armazenamento de produto acabado é grande em relação ao poder de produção de kits, entretanto, a fração que não representa um kit padrão e que não requer mão de obra, consome um espaço relativamente extenso e o seu tempo para expedição é maior que o modelo de kit tratados neste trabalho.

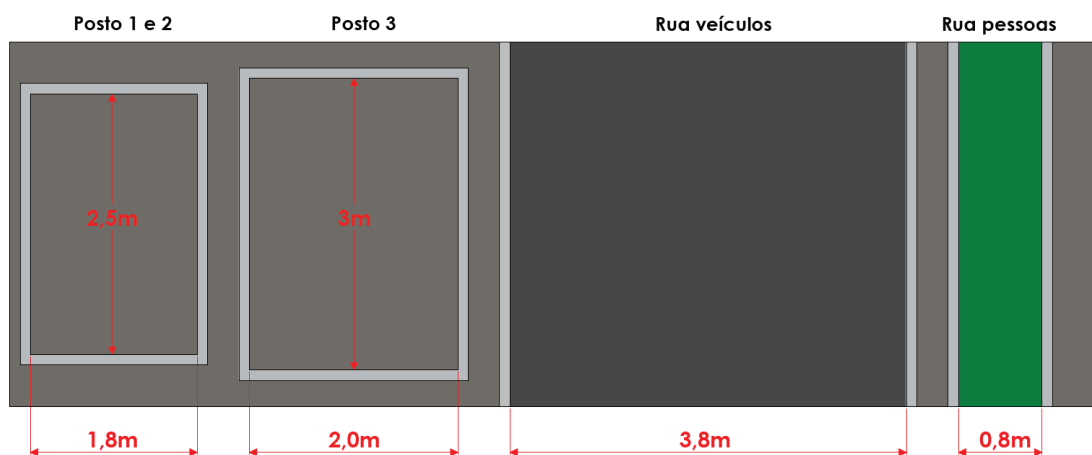
3.2.2.5 Estabelecer pontos de movimentação

Para desenvolver o local correto e mais otimizado, foi mapeado as necessidades de movimentação das pessoas e veículos através das identificações previamente realizadas e considerando o remodelamento posicional dos objetos do novo *layout*.

- a) Movimentação de pessoas
 - Dentro dos postos de trabalho;
 - Busca de matéria prima;
 - Até os postos de trabalho;
 - Monitoramento da produção.
- b) Movimentação de veículos
 - Entre galpões;
 - Entrega da matéria prima no posto 1;
 - Reabastecimento do pré-estoque de módulos virgens;
 - Entre postos;
 - Retirada do produto acabado do posto 3;

Para realizar o dimensionamento do tamanho mínimo de cada local de trabalho dentro dos postos e a largura mínima dos corredores, foram desenvolvidos testes empíricos que retornaram valores confiáveis para o novo arranjo, onde são apresentadas na Figura 19.

Figura 19 - Tamanho dos locais de trabalho dentro dos postos e corredores para movimentações em metros.

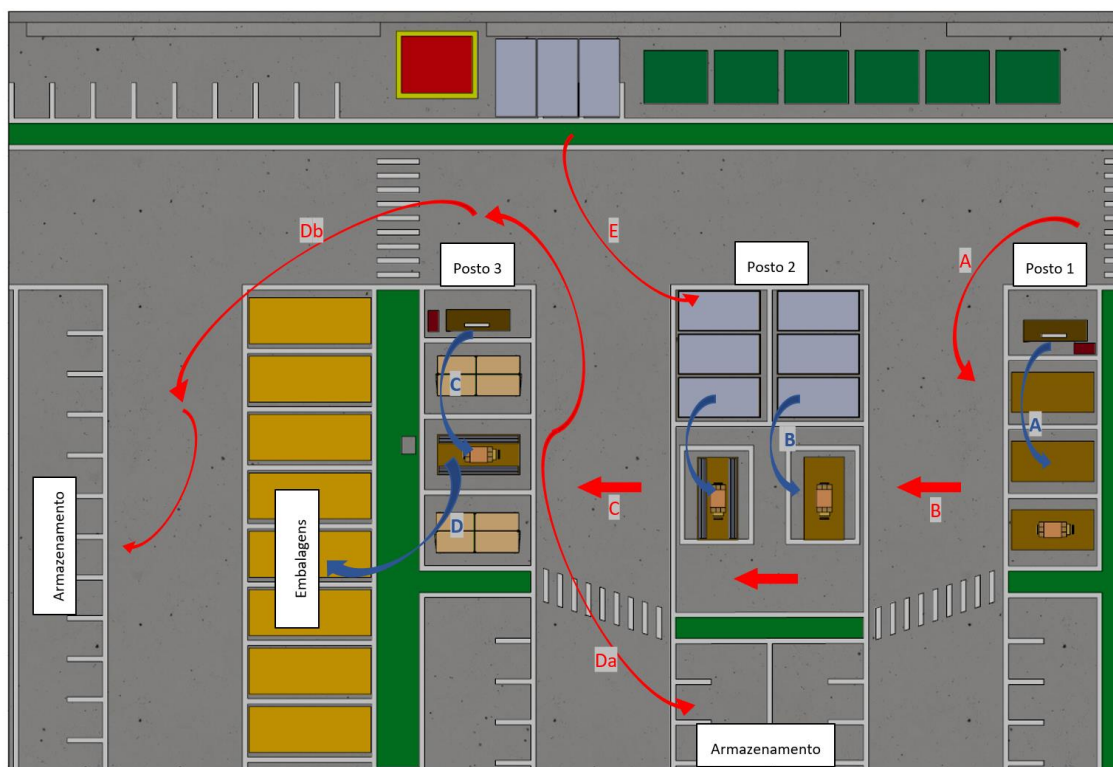


Fonte: Do autor (2023).

3.2.2.6 O novo fluxo de movimentação da situação futura

O novo fluxo de movimentações deve ser padronizado e organizado de forma que minimize cada ação realizada. A Figura 20 apresenta o novo fluxo de pessoas e de veículos para o modelo proposto.

Figura 20 - Novo fluxo de movimentações.



Fonte: Do auto (2023).

As movimentações de pessoas são representadas em azul.

- Movimentação A: Posto 1 – deslocamento até o computador para leitura dos produtos.
- Movimentação B: Posto 2 - ação de adição dos módulos virgens no palete do kit.
- Movimentação C: Posto 3 – ida ao computador para a finalização da leitura dos produtos e busca da fita de travamento.
- Movimentação D: Posto 3 – deslocamento até o setor de embalagem.

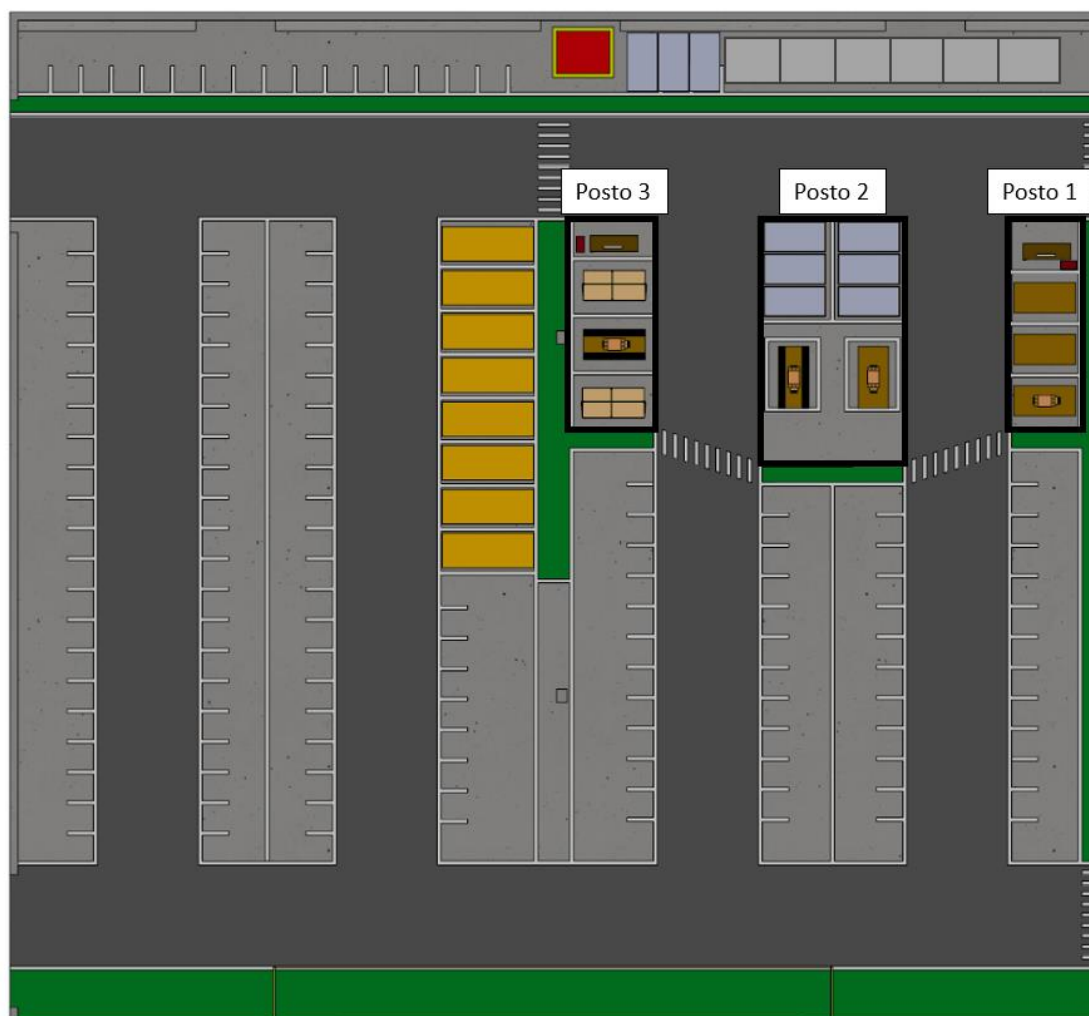
Já as movimentações dos veículos são representadas em vermelho.

- Movimentação A: transporte da matéria prima até o posto 1.
- Movimentação B: deslocamento do produto entre o posto 1 e 2.

- Movimentação C: transferência do produto entre o posto 2 e 3
- Movimentação D: remoção do produto acabado no posto 3 para o armazenamento por diferentes caminhos.
- Movimentação E: reabastecimento do estoque de módulos no posto 2.

As movimentações de veículos ficam estabelecidas nas ruas em preto e as de pessoas nos locais demarcados de verde e nos postos de trabalhos, como ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Locais de movimentação.



Fonte: Do autor (2023).

3.3 Manufatura enxuta

Os conceitos de manufatura enxuta estão contemplados com o novo *layout* proposto, visto que a seleção do modelo de arranjo visa o sistema de fluxo contínuo. Para garantir o bom funcionamento da proposta, a implementações das metodologias *Just in time* e *Kanban* são essenciais.

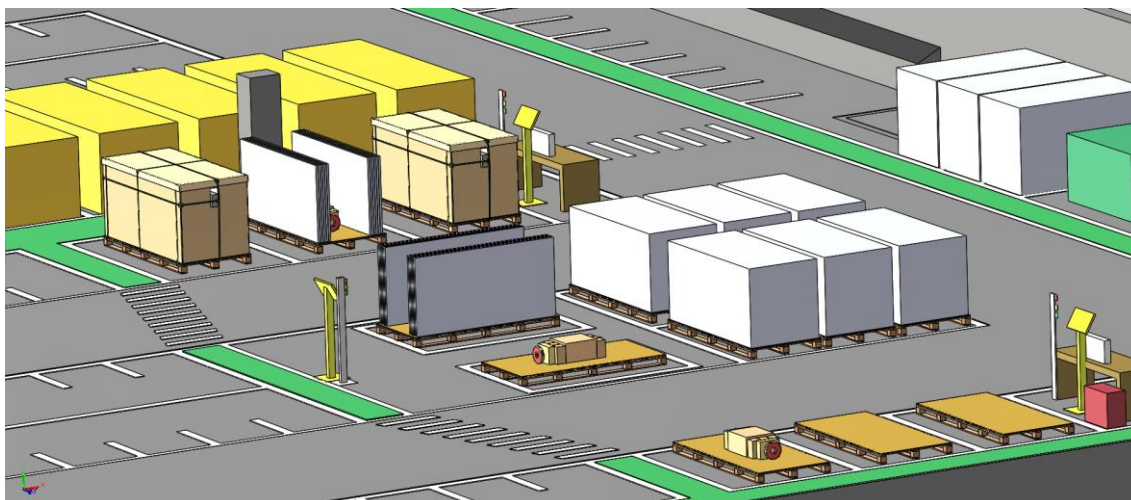
Para atingir esses objetivos, em cada posto foi implementado um cartão semelhante ao semáforo, que indica em qual etapa o posto está e se é necessário abastecê-lo ou não. Esses indicadores possuem diferentes colorações e são apresentados:

- a) Sinal verde.
 - a. Posto 1 e 2: Em operação e o seu pulmão está abastecido, ou seja, o posto antecessor não precisa produzir.
 - b. Posto 3: Indica que o posto está trabalhando e não há produtos prontos para serem encaminhados ao armazenamento.
- b) Sinal amarelo.
 - a. Posto 1 e 2: Em operação, mas não possui pulmão, ou seja, o posto antecessor deve produzir para contemplar o pulmão.
 - b. Posto 3: Em operação, mas possui produtos acabados para serem transportados para o armazenamento.
- c) Sinal em vermelho.
 - a. Posto 1 e 2: Indica que o posto não está operando e deve receber o material o mais rápido possível.
 - b. Posto 3: Posto parado pois não há espaço para receber materiais para produção, deve-se retirar o produto acabado o mais rápido.

Desta forma, foi possível sincronizar os postos de produção, atendendo o *just in time*, onde é produzido no tempo certo e na quantidade necessária.

Visando a padronização, foi realizado notas simplificadas de trabalho, e dispostas de maneira visível nos postos (Figura 22). Treinamentos periódicos devem ser aplicados afim de tornar os procedimentos de conhecimento de todos envolvidos.

Figura 22 - Postos de trabalho com dispositivos *Kanban* e Instruções de trabalho.



Fonte: Do autor (2023).

3.4 Implantação

O novo modelo foi implementado durante três dias para coletar dados que comprovem os benefícios da alteração proposta e auxiliem no dimensionamento do balanceamento dos postos.

Foi separado um espaço próprio para realização de testes, tomadas de tempos e analisar na prática a proposta sugerida. A equipe foi dividida em duas, onde uma delas ainda contempla o modelo de produção atual, e a outra segue as premissas do modelo proposto. O grupo selecionado foi distribuído em cada posto de trabalho definido.

O tempo para produção de uma unidade de kit foi quantificado durante o terceiro dia da implementação, analisado a nível de postos de trabalho e sendo coletado dados a cada kit iniciado. O processo de coleta foi registrado para 30 unidades de kits produzidos, sendo 15 unidades com o sistema sem balanceamento dos postos e 15 unidades com balanceamento e, após as coletas, calculado a média dos valores para análise.

Os dados coletados contemplam toda a linha de produção, passando pela separação da matéria prima, montagem, até o momento que o produto é entregue na área de armazenamento para expedição. Na área de montagem, o tempo foi registrado sempre ao início e ao fim de cada tarefa dos operadores, mapeando e cronometrando a passagem entre os postos.

Como o modelo atual não contempla a divisão por posto de trabalho, o tempo de todo o processo de montagem foi coletado, sendo contabilizado após a separação da matéria prima até a entrega para o setor de armazenamento para expedição. Foram coletados dados amostrais de 15 unidades de kits produzidos e realizado a média dos valores para análise. Os dados do modelo atual foram coletados antes da implementação do modelo proposto, não ocorrendo interferência sobre o espaço físico disponível.

Os tempos metrificados nos 3 modelos foram coletados com a área de produção abastecida por completa, desconsiderando o tempo para o início as atividades e as trocas de tarefas realizadas pelos operadores no modelo atual.

Partindo dos resultados temporais obtido, é possível fazer uma estimativa do volume de produção, caso opere em um turno completo sem interrupções.

As movimentações de pessoas e de veículos durante a produção de uma unidade também são quantificadas e foram analisadas durante o terceiro dia de operação. Inicialmente foi analisado as ações e determinado um padrão, sendo aquelas executadas em todas as montagens, desconsiderando movimentações imprevistas. Logo após, foi mensurado as distâncias com uma fita métrica.

Todos os resultados obtidos foram contemplados em tabelas e realizado uma análise comparativa entre os dois modelos metrificados (Atual x Proposto), observando os tempos para produção de uma unidade, as distâncias percorridas tanto para pessoas quanto para veículos, a capacidade produtiva e a organização e padronização de determinadas tarefas.

Treinamentos sobre os conceitos de manufatura enxuta e o propósito das alterações foram realizados, e é fundamental para que os operadores entendam a proposta e possam contribuir, visto que são as engrenagens fundamentais do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência e adaptação

Mesmo desenvolvendo treinamentos, é comum existir um tempo de aceitação entre os colaboradores, uma vez que modificações que afetam todo o processo causam estranheza. A primeira impressão é que a mudança implica em um sistema mais lento e menos produtivo que o atual.

Com o decorrer do tempo e a adaptação ao novo modelo de produção, os tempos entre os postos foram aprimorados e o processo começou a apresentar resultados mais satisfatórios.

Operadores que estão envolvidos nessa linha de teste em paralelo, relatam que o sistema é mais conveniente que o atual, pois não é necessário realizar a montagem completa e nem o alto deslocamento para buscar as matérias-primas.

4.2 Tempo Atual x Proposta

Quando os operadores percebem que estão sendo observados, é comum apresentar um comportamento diferente do habitual, o que pode levar a inconsistência nos dados coletados. Uma maneira mais confiável de desenvolver esse dimensionamento temporal é realizar uma filmagem durante um dia de trabalho ou observar a produção a distância.

A Tabela 6 apresenta as medias obtidas dos dados amostrais coletados com a quantidade de operadores em cada etapa de trabalho.

Tabela 6 - Tomada de tempo atual e proposto.

Posto de trabalho	Tempo Atual (minuto: segundo)	Operadores (Quantidade)	Tempo Proposta (minuto: segundo)	Operadores (Quantidade)
Posto 0: Separação do material	07:40	1	06:30	1
Posto 1: Área das miscelâneas	13:10	9	02:00	2
Posto 2: Adição dos módulos			08:00	2
Posto 3: Adição da embalagem			03:40	2
Posto 4: Movimentação expedição	03:40	1	03:00	1
Total	24:30	11	23:10	8

Fonte: Do autor (2023).

O modelo atual contempla três equipes com três operadores trabalhando de forma paralela entre os postos 1 e 3, onde o tempo apresentado na tabela equivale ao de uma equipe.

No posto 2 apresentado, é estimado a quantidade de operadores considerando a utilização de um ferramental para reduzir a mão de obra ociosa, reduzindo em um operador.

O tempo necessário para o produto percorrer todas as etapas do processo (*Lead Time*) no modelo atual, é de 24m30s. Esse tempo no modelo proposto é reduzido para 23m10s. Essa pequena melhoria é o resultado de um sistema mais organizado e com menos trânsito, sendo notório a melhora dos tempos nos postos 0 e 4.

Pela equação (1), temos que no modelo atual o tempo de ciclo é de 8min10seg, sendo o valor, em média, que é produzido um kit.

$$Tempo\ de\ ciclo = \frac{24,30}{3} = 8\text{ minutos }10\text{ segundos}$$

No modelo proposto, o posto mais lento irá determinar o ritmo dos demais e, neste caso, o tempo médio para a finalização de um kit é de 8 minutos.

A Tabela 7 apresenta o tempo total e o tempo de ciclo para produção de uma unidade, além de contar com a demonstração da diferença de tempo entre o *layout* atual e o proposto.

Tabela 7 - Resultados Tempo total e tempo de ciclo (Atual x Proposto).

	Layout atual (minuto: segundo)	Layout proposto (minuto: segundo)	Redução (minuto: segundo)
Tempo total	24:30	23:10	01:20
Tempo de ciclo	08:10	08:00	00:10

Fonte: Do autor (2023).

O tempo entre as etapas 1 e 3 (Tabela 6) no modelo proposto aumentou devido ao produto ter que se movimentar entre os postos e, como esses postos ainda apresentam uma diferença considerável de tempo, gera um gargalo que impactam nesta metrificação. Esses resultados podem ser vistos com maior clareza na Tabela 7, onde o tempo de ciclo não apresenta uma redução considerável.

4.2.1 Balanceamento da produção

O novo modelo produtivo apresenta uma discrepância entre os tempos de cada posto, o que torna o balanceamento da produção uma medida necessária. O rearranjo de operadores foi realizado e a distribuição com os melhores dados coletados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Apresentação dos tempos com balanceamento.

Posto de trabalho	Sem balanceamento		Com balanceamento	
	Tempo (minuto: segundo)	Operadores (Quantidade)	Tempo (minuto: segundo)	Operadores (Quantidade)
Posto 0: Separação do material	06:30	1	04:39	2
Posto 1: Área das miscelâneas	02:00	2	04:18	1
Posto 2: Adição dos módulos	08:00	2	04:00	4
Posto 3: Adição da embalagem	03:40	2	03:40	2
Posto 4: Movimentação expedição	03:00	1	03:00	1
Total	23:10	8	19:37	10

Fonte: Do autor (2023).

- Posto 0: Com a adição de mais um operador foi possível reduzir o tempo de separação dos materiais em 30,3%.
- Posto 1: O modelo proposto envolve a realização de toda a operação por apenas um operador, o que aumenta o tempo de conclusão da tarefa, nivelando-o com os demais postos, além de ocorrer a liberação de um operador para realizar outra atividade.
- Posto 2: Uma equipe em paralelo foi adicionada, totalizando duas equipes compostas por dois operadores, se configurando como duas estações de trabalho em um posto.
- Posto 3 e 4: Alterações não são necessárias.

A decisão de adicionar mais uma equipe no posto 2 pode ser justificada pela equação (2), que foi adaptada para calcular o número de estações necessárias para atender ao tempo desejado em um determinado posto.

$$\text{Numero de estações} = \frac{\text{Tempo do posto}}{\text{Tempo desejado}} = \frac{8}{4} = 2 \text{ Unidades}$$

Realizando uma análise entre os postos de montagem, de 1 à 3 do modelo atual e do proposto após o balanceamento, observa-se que houve diferença no número de operadores devido a implementação de um ferramental no posto 2, reduzindo de 9 para 7 pessoas.

Com o rearranjo dos operadores e a aplicação do modelo proposto, o fluxo torna-se mais constante e padronizado, reduzindo gargalos. Desta forma, o tempo entre as etapas 1 a 3 passa de 13min40seg para 11min58seg.

A Tabela 9 apresenta o tempo total e o tempo de ciclo para produção de uma unidade, comparando o modelo atual com o modelo proposto após o balanceamento dos postos.

Tabela 9 - Resultados tempo total e tempo de ciclo (Atual x Proposto balanceado).

	Layout atual	Layout proposto balanceado	Redução
	(minuto: segundo)	(minuto: segundo)	(minuto: segundo)
Tempo total	00:24:30	00:19:37	00:04:53
Tempo de ciclo	08:10:00	00:04:39	00:03:31

Fonte: Do autor (2023).

O Tempo total teve uma leve redução de 4min53seg, entretanto, após a linha de produção estiver com todos os postos operando, o tempo de ciclo tem uma redução de 3min31seg, influenciando diretamente no volume de total produção durante um turno de operação.

Com balanceamento, é possível nivelar o tempo de cada posto e, desta forma, o modelo proposto passa a produzir uma unidade de kit a cada 4min39seg, apresentando um ganho de 45,8% no tempo de ciclo em comparação com o modelo atual.

A Tabela 10 é desenvolvida com o objetivo de analisar o tempo de ociosidade presente no modelo proposto.

Tabela 10 - Tempos de ociosidade.

	Número de estações	Tempo (minuto: segundo)	Tempo ociosos (minuto: segundo)
Posto 0	1	04:39	00:00
Posto 1	1	04:18	00:21
Posto 2	2	04:00	00:18
Posto 3	1	03:40	00:20
Posto 4	1	03:00	00:40
Resultado	6	04:39	01:39

Fonte: Do autor (2023).

$$\% \text{ de ociosidade} = \frac{1,39}{(6 \times 4,39)} = 0,053 = 5,3\%$$

A soma dos tempos de ociosidade entre os postos é de 1m39s, indicando um índice bastante eficiente. Além disso, a equação (3) revela que o sistema apresenta uma ociosidade média de apenas 5,3%, o que significa que o tempo ocioso é consideravelmente baixo.

4.4 Produção Atual x Proposta

É comum que ocorram pausas durante a produção visando alívio de fadigas e das necessidades pessoais, estima-se que essas pausas correspondem entre 15 a 20% da jornada de trabalho. Isso indica que, em um turno de 8 horas, somente 6h36min em média são efetivamente produtivas. Com base nessas informações, é possível realizar uma estimativa do volume de produção em um turno, onde é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Produtividade média estimada.

Modelo de <i>Layout</i>	Volume de produção (unidades de Kits)
Atual	48
Proposto	85

Fonte: Do autor (2023).

Esse resultado nos apresenta uma estimativa bruta, caso não ocorra qualquer tipo de imprevistos durante o processo de produção, paradas para *setup*, retrabalho ou manutenções não planejadas. O volume diário de kits fotovoltaicos com o modelo proposto pode ter um aumento significativo de 77%.

4.5 Movimentação Atual x Proposta

A Tabela 12 e Tabela 13 apresenta os dados coletados referentes às distâncias médias percorridas durante a operação de uma unidade.

Tabela 12 - Distância percorrida por pessoa atual e proposta.

Movimentação		Pessoas (metros)	
<i>Layout atual</i>	<i>Layout Proposto</i>	<i>Layout Atual</i>	<i>Layout Proposto</i>
A	A	8,64	4,67
B	Não existe	8,64	-
C	Não existe	1	-
D	B	1,1	4,1
Não existe	C	-	4,2
E	D	11,8	6,8
Total		31,18	19,77
		Redução	
		11,41 metros	36,60%

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 13 - Distância percorrida por veículos atual e proposta.

Movimentação		Veículos (metros)	
<i>Layout atual</i>	<i>Layout Proposto</i>	<i>Layout Atual</i>	<i>Layout Proposto</i>
A	A	23,5	11,3
B	Não existe	35,2	-
Não existe	B	-	8,6
Não existe	C	-	9,13
C	D	31,6	31,6
D	Não existe	4,1	-
Não existe	E	-	10,3
Total		94,4	70,93
		Redução	
		23,47 metros	24,90%

Fonte: Do autor (2023).

Devido à disposição dos postos de trabalho, que estão alinhados e próximos uns dos outros, ocorre uma redução significativa nas movimentações dos veículos, com uma diminuição de 23,47 metros, representando uma redução de 24,9% na movimentação.

A movimentação das pessoas se limita aos postos de trabalho, o que resulta em uma redução de 11,41 metros por unidade de kit produzida, equivalente a uma diminuição de 36,6% na movimentação.

4.6 Organização e padronização Atual x Proposto

Alguns pontos de melhorias que foram identificados são apresentados novamente e realizado uma análise comparativa na Tabela 14, indicando de forma sucinta as modificações e seus respectivos ganhos.

Tabela 14 - Comparação dos pontos identificados para melhoria.

MELHORIA	ATUAL	PROPOSTO	GANHO
Fluxo do processo	Fluxo estático, gerando grandes estoques em processo e apresentando gargalos	Fluxo contínuo, com mapeamento dos estoques necessários e utilização de ferramentas de manufatura enxuta.	Sistema puxado; redução dos estoques em processo, apresentando um aumento produtivo.
Movimentação: Ruas para pessoas	Fluxo de pessoas desordenados sem um padrão.	Determinação do local de trabalho e de ruas específicas para o fluxo de pessoas	Redução no trânsito; redução no risco de acidente; trânsito ordenado
Movimentação: Ruas para veículos	Fluxo de veículos não estabelecidos.	Ruas específicas para o trânsito de veículos.	Redução no trânsito; redução no risco de acidente; redução no tempo de movimentação.
Padronização no processo de montagem	Processo desordenado e as vezes desconhecido; falta de padrão na qualidade do produto; retrabalho.	Processo bem estabelecido; realização de treinamentos periódicos; notas de trabalho com fácil acesso.	Produtos lineares; redução de retrabalho; ganho na qualidade final do produto.

Deslocamento desnecessário de materiais	Postos de trabalhos definidos de forma aleatória ou onde possui espaço livre.	Locais específicos onde os processos irão ocorrer.	Organização do local de trabalho; padronização das ações; redução no tempo de operação.
Sincronização da produção	Sem sincronização; altos estoques em processo; grande tempo de ociosidade e gargalos.	Utilização da ferramenta <i>kanban</i> e da filosofia <i>just in time</i> .	Produção na hora certa e na quantidade certa; Redução dos estoques em processos; Redução do tempo de ociosidade.
Padronização nos veículos utilizados	Transpaleteiras universais; ociosidade esperando a liberação do veículo.	Transpaleteiras destinadas para uma movimentação em específico.	Transpaleteiras sempre disponíveis para realizar o trabalho proposto; Redução no tempo de ociosidade; Ganho de autonomia.

Fonte: Do autor (2023).

5. CONCLUSÃO

As análises realizadas sobre o *layout* atual da empresa foram tomadas como base para o desenvolvimento do novo projeto, trazendo benefícios para empresa. O modelo proposto de reestruturação do arranjo físico apresenta ganhos significativos em vários aspectos analisados, especialmente em relação à produtividade. Uma das principais formas de impulsionar o crescimento e sucesso da empresa é aumentar sua eficiência na utilização dos recursos disponíveis e, com a proposta apresentada espera-se um aumento bruto de 77% na produção diária de kits.

Para alcançar esse aumento, foram utilizadas metodologias de manufatura enxuta, bem como as ferramentas *Kanban*, balanceamento de produção e a padronização dos processos. Como resultado, houve uma redução no tempo de ciclo para a produção de uma unidade do produto em 45,8%.

Através do *layout* proposto, permite-se reduzir as movimentações realizadas tanto por pessoas quanto por veículos, em 36,6% e 24,9% respectivamente. Ao minimizar movimentações desnecessárias, obtém-se um aumento na eficiência da produção, redução dos custos associados, além de melhorar a segurança e conforto dos colaboradores, uma vez que diminui a exposição a possíveis acidentes e esforços repetitivos. Tais resultados indicam o sucesso da proposta para reestruturação do *layout* da linha de montagem, e a importância da pesquisa e implementação de metodologias de manufatura enxuta no meio industrial.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRAGA, Ricardo marques. **Os desafios para estabelecer um fluxo contínuo numa linha de produção:** caso da indústria automobilística. 2008. 54 p. dissertação de mestrado em transportes — universidade federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2008.

BRAGA, Rogerio aparecido; RODRIGUES, Ulisses Incaio; PAULISTA, Paulo Henrique. **Ganhos do processo produtivo: uma abordagem de melhoria na migração do sistema empurrado para o sistema puxado de produção em uma indústria do segmento automotivo.** vii congresso de iniciação científica da fepi, 2016.

COELHO, Helena C. R. **Redefinição de layout e aplicação de ferramentas Lean Production numa unidade industrial metalomecânica.** 2022. 92 p. Dissertação de Mestrado — Universidade do porto, Porto, 2022.

COSTA, Ivan Junio Silva *et al.* **Aplicação de fluxo contínuo no processo de produção: um estudo de campo na fábrica de massas Scayners Ltda.** Brazilian Journal of Development, v. v.4, n. 3, p. 950-965, 16 jun. 2018.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo.** 2.ed. Porto Alegre: Bookman 2008.

GHINATO, P. Publicado como 2o. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

PANSONATO, Roberto. **Lean manufacturing.** Curitiba: Contentus 2020.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre; AGUIAR, Giancarlo. **Simulações de arranjos físicos por produto e balanceamento de linha de produção: o estudo de um caso real no ensino para estudante de engenharia.** Cobenge. Curitiba: Unicenp 2007.

REED Jr.; R. **Plant Layout: Factors Principles and Techniques.** Homewood: Richard D. Irwin, 1961.

RIANI, Aline Mattos. **Estudo de caso: o lean manufacturing aplicado na Becton Dickinson**. 2006. 52f. Dissertação (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício: Manual de Trabalho de uma Ferramenta Enxuta**. Lean Institute Brasil, 1998. 102 p.

SANTOS, Ricardo ribeiro. **Melhoria produtiva a partir da alteração de layout e sequenciamento de ordens de produção**. 2019. 53 p. Trabalho de conclusão de curso — instituto federal de santa catarina, jaraguá do Sul, 2019.

SILVA, Alessandro Lucas. **Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de layout industrial, em ambientes de alta variedade de peças, orientada para a produção enxuta**. 2009. 244 p. Tese doutorado — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SLACK, Nigel. **Administração da produção**. 8. Rio de Janeiro Atlas 2018. ISBN 9788597015386.

WOMACK, J.P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riquezas**. 5.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.