



**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Estruturação de uma linha de produção
para fabricação de motocicletas elétricas
em larga escala**

Lucas Bonifácio Perez Nunes

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Brasília
2023

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Estruturação de uma linha de produção
para fabricação de motocicletas elétricas
em larga escala**

Lucas Bonifácio Perez Nunes

Trabalho de Graduação submetido como re-
quisito parcial para obtenção do grau de Enge-
nheiro de Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Jones Yudi Mori Alves Da Silva

Brasília
2023

B715e Bonifácio Perez Nunes, Lucas.
Estruturação de uma linha de produção para fabricação de motocicletas elétricas em larga escala / Lucas Bonifácio Perez Nunes; orientador Jones Yudi Mori Alves Da Silva. -- Brasília, 2023.
82 p.

Trabalho de Graduação (Engenharia de Controle e Automação) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Fábrica. 2. Moto elétrica. 3. Linha de montagem. 4. Origem.
I. Mori Alves Da Silva, Jones Yudi, orient. II. Título

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Estruturação de uma linha de produção
para fabricação de motocicletas elétricas
em larga escala**

Lucas Bonifácio Perez Nunes

Trabalho de Graduação submetido como re-
quisito parcial para obtenção do grau de Enge-
nheiro de Controle e Automação

Trabalho aprovado. Brasília, 16 de fevereiro de 2023:

Prof. Jones Yudi Mori Alves da Silva,
UnB/FT/ENM
Orientador

Eng.MSc. Felipe Borges Feliciano de Lima
Coorientador

Prof. Guilherme Caribé de Carvalho,
UnB/FT/ENM
Examinador externo

Alysson Martins de Almeida Silva
Examinador externo

Brasília
2023

Este trabalho é dedicado a Deus, a minha família, a minha esposa Ana Carolina e a todos que me ajudaram durante esse período.

Agradecimentos

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora pelo sustento da minha vida. Agradeço a minha esposa Ana Carolina Romanow Gabriel Bonifácio que está sempre ao meu lado me apoiando e me auxiliando em todas as decisões da minha vida. Agradeço aos meus pais, Paulo César Perez Nunes e Helcy Fátima Bonifácio Perez Nunes por terem me auxiliado emocionalmente, espiritualmente e financeiramente durante toda minha trajetória. Agradeço ao meu irmão pelo constante apoio e a todos os meus amigos pelo constante incentivo. Agradeço ao meu orientador Jones Yudi por todos os conselhos, pela paciência e ajuda nesse período. Agradeço ao meu coorientador Felipe Borges por ser além de um grande chefe, um mentor em todas minhas decisões profissionais.

"Tudo coopera para o bem daqueles que amam a Deus..."

Romanos 8:28

Resumo

Para se iniciar a produção de um determinado produto, é necessário pensar em tudo o que envolve a fabricação deste produto desde o seu desenvolvimento até a inspeção final antes da entrega ao cliente. Esse projeto consiste em descrever todas as etapas que foram abordadas para a construção de uma fábrica em larga escala de motos elétricas. Isso inclui uma passagem pela história da indústria automobilística detalhando como os antigos diretores escolhiam suas máquinas, seus processos, suas ferramentas e seu modo de fabricar cada peça para chegarem ao produto final, os motivos da escolha do layout da fábrica, as máquinas envolvidas no processo, a estratégia de movimentação de recursos e por fim, os resultados das escolhas, demonstrando os dados do projeto concretizado na realidade, com todos os passos realizados na Zona Franca de Manaus.

Palavras-chave: Fábrica. Moto elétrica. Linha de montagem. Origem.

Abstract

In start the production of a certain product, it's necessary to think about everything that involves the manufacture of this product from its development until to the final inspection before delivery to the customer. This project consists of describing all the steps that were approached for the construction of an electric motorcycle factory. This includes a walk through the history of the automobile industry detailing how the former directors chose their machines, their processes, their tools and their way of manufacturing each part to reach the final product, the reasons for choosing the layout of the factory, the machines involved in the process, the strategy for moving resources and, finally, the results of the choices, demonstrating the data of the project materialized in reality, all carried out in the Manaus Free Trade Zone.

Keywords: Factory. Electric Motorcycle. Assembly line. Origem.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Motocicleta elétrica Origem X.	14
Figura 2 – Estação de troca de bateria.	16
Figura 3 – Desenho da vista lateral da motocicleta Origem X.	17
Figura 4 – Componentes do guidão da motocicleta Origem X.	18
Figura 5 – Comparativo do acumulado da produção de motocicletas de 2021 e 2022.	19
Figura 6 – Vista aérea da fábrica.	21
Figura 7 – As quatro grandes revoluções industriais.	25
Figura 8 – Níveis de decisão para o Projeto de Fábrica e Layout.	27
Figura 9 – Etapa de montagem do conjunto Unidade Central.	34
Figura 10 – Etapa de montagem do conjunto Guidão.	35
Figura 11 – Etapa de montagem do Conjunto Bateria	36
Figura 12 – Processo de fabricação e montagem do Conjunto Bateria	37
Figura 13 – Processo de fabricação e montagem do Chassi	37
Figura 14 – Movimentação de tubos com utilização de empilhadeira	38
Figura 15 – Máquina cortadora de chapas a laser operando.	39
Figura 16 – Princípio de funcionamento da dobradeira CNC de tubos	40
Figura 17 – Princípio de funcionamento da dobradeira CNC de tubos	41
Figura 18 – Carrinho de movimentação de tubos dobrados	42
Figura 19 – Gabarito de solda para soldagem do Chassi.	43
Figura 20 – Peça metálica sendo dobrada na dobradeira de chapas.	44
Figura 21 – Logo PPIM presente na motocicleta.	45
Figura 22 – Montagem da estrutura metálica da Unidade Central.	46
Figura 23 – Grandes grupos da fábrica.	47
Figura 24 – Fluxo de movimentação de insumos.	48
Figura 25 – Fluxo de montagem final da motocicleta.	49
Figura 26 – Principais componentes e montagem da motocicleta Origem X.	50
Figura 27 – Localização da fábrica.	52
Figura 28 – Estimativa de área de fábrica a ser alugada.	53
Figura 29 – Imagem da fábrica recém alugada.	55
Figura 30 – Subestação de Energia da fábrica.	56
Figura 31 – Vista superior da fábrica - modelo final.	57
Figura 32 – Área de metalurgia da fábrica.	58
Figura 33 – Localização da cortadora de tubos no projeto.	59
Figura 34 – Máquina cortadora de tubos a laser.	60
Figura 35 – Localização da cortadora de chapas no projeto.	61
Figura 36 – Máquina cortadora de chapas a laser.	62

Figura 37 – Localização das dobradeiras de chapas no projeto.	63
Figura 38 – Máquina dobradeira de tubos.	63
Figura 39 – Máquina dobradeira de tubos operando.	64
Figura 40 – Máquina dobradeira de chapas.	65
Figura 41 – Máquina robotizada com célula de soldagem.	66
Figura 42 – Máquina de soldagem a laser.	67
Figura 43 – Modelo de representação dos estágios de pré-tratamento.	68
Figura 44 – Localização da linha de pré-tratamento e pintura.	69
Figura 45 – Indicação do início da linha de montagem.	70
Figura 46 – Fluxo de montagem simplificado da motocicleta.	70
Figura 47 – Estrutura de armazenamento de carenagens da motocicleta.	71
Figura 48 – Vista panorâmica da fábrica.	74
Figura 49 – Primeira motocicleta elétrica desenvolvida e fabricada nacionalmente. .	76

Lista de tabelas

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.1.1	Sobre a empresa	14
1.1.2	Sobre o produto	16
1.1.3	Sobre o mercado	18
1.1.4	Sobre a região da Fábrica	19
1.2	Proposta deste trabalho	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivos Específicos	22
1.3	Organização do texto	22
2	ANÁLISE DO PROBLEMA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	Concepção de unidades fabris	24
2.2	Layouts Industriais	25
2.3	Balanceamento de Linha	29
2.4	Lean Manufacturing	29
3	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DA MOTOCICLETA	32
3.1	Ferramentas e Instruções	32
3.2	Componentes e processos de fabricação	35
3.2.1	Componente 1 - Conjunto Bateria	36
3.2.2	Componente 2 - Chassi	37
3.2.3	Componente 3 - Conjunto Unidade Central	43
3.3	Etapas de Montagem e planta da Origem	46
4	CONCEPÇÃO DA FÁBRICA	51
4.1	Localização da unidade produtiva	51
4.2	Dimensão da unidade produtiva	52
4.3	Infraestrutura inicial da unidade produtiva	55
4.4	Configuração da planta da indústria	57
4.5	Metalurgia	58
4.5.1	Corte de Tubos	58
4.5.2	Corte de chapas	60
4.5.3	Dobragem de chapas e tubos	62
4.5.4	Soldagem	65
4.5.4.1	Soldagem com solda MIG	65

4.5.4.2	Soldagem a laser	66
4.5.5	Pintura	67
4.6	Linha de Montagem e Submontagens	69
5	RESULTADOS	74
5.1	Montagem Final	74
5.2	Análise e simulações futuras	77
6	CONCLUSÕES	79
7	REFERÊNCIAS	81

1 Introdução

1.1 Contextualização

1.1.1 Sobre a empresa

A Origem é a primeira fabricante de motocicletas elétricas no Brasil e é sediada em Brasília - DF. Fundada em 2018 por três engenheiros formados na Universidade de Brasília, a Origem possui como modelo de negócios a locação de motocicletas elétricas para quem trabalha sobre duas rodas.

Figura 1 – Motocicleta elétrica Origem X.



Fonte: <https://www.origem.xyz/>

A Origem atua em todo o ciclo de vida do produto, desde o início de sua fabricação até a manutenção contínua do produto pós-locação. Sua sede em Brasília possui as áreas de:

- Desenvolvimento
- Operação

- Realização de produto
- Comercial e Comunicação
- Administração e Gestão
- Recursos Humanos

De 2018 à 2022, a Origem Motos recebeu seu primeiro investimento de um investidor anjo, com o qual foi possível direcionar esforços para viabilização da companhia. Após ter a primeira moto fabricada (Figura 49), a empresa passou por mais algumas rodadas de investimento como *Friends and Family* e *Seed* que possibilitaram: aumentar a sua equipe, atualmente formada por mais de 50 engenheiros; aumentar a estrutura física; fabricar mais de 50 motocicletas. Recentemente, no fim do ano de 2021, a Origem recebeu um investimento de *série A* que possibilitou aumentar ainda mais seu corpo de colaboradores, sua estrutura física, projetar e implementar uma fábrica na Zona Franca de Manaus. No projeto da fábrica estão inclusos a compra das máquinas para produção em larga escala, compra de equipamentos para a linha de montagem, contratação de novos colaboradores residentes em Manaus e tudo mais o que é necessário para se produzir as motocicletas elétricas. Este trabalho descreve a concepção dessa nova fábrica.

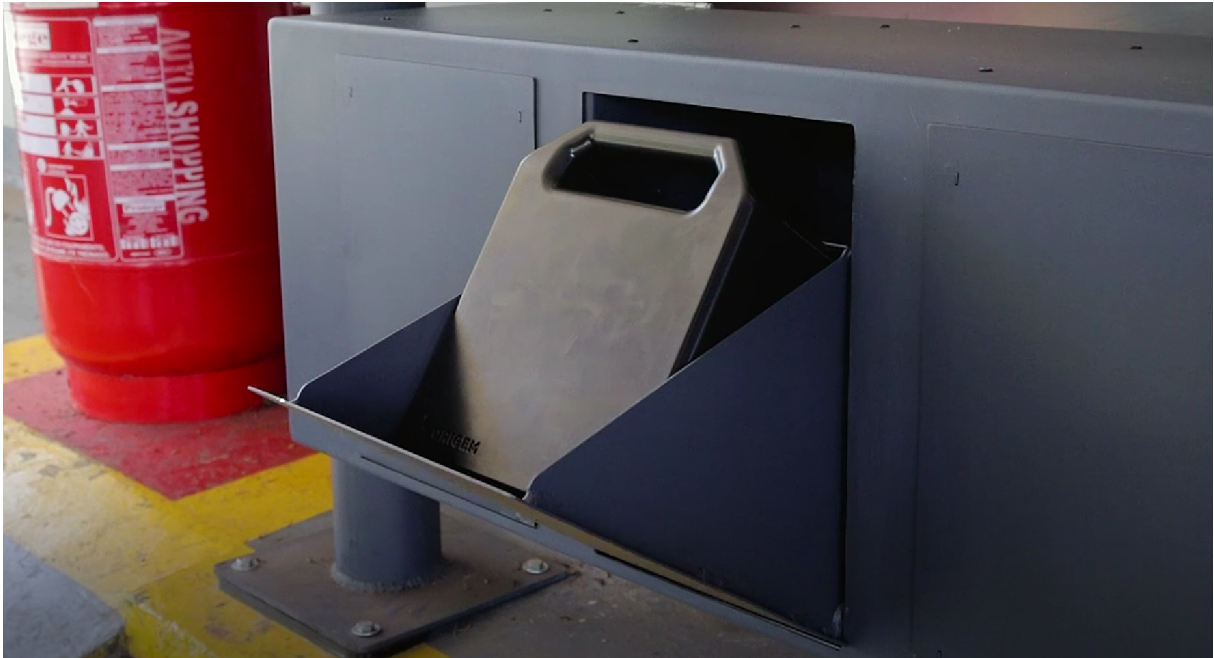
A Origem cuida de toda a cadeia de produção, verticalizando ao máximo aquilo que é possível e necessário. Dessa forma, a empresa possui equipes responsáveis por cuidar desde o desenvolvimento do produto, passando pela operação de aluguel das motocicletas até o acompanhamento com o cliente e renovação das motocicletas depois do fim de sua vida útil.

Atualmente, o foco inicial da empresa é atender empresas que realizam entregas, rondas de segurança e outros serviços que utilizam motocicletas como meio de locomoção. Para que essa demanda seja atendida, a Origem precisou solucionar dois grandes desafios: manutenção do seu produto e recarga rápida da bateria, discutivos brevemente a seguir:

- **Manutenção do produto:** A Origem é a própria responsável pela manutenção do produto, ou seja, a infraestrutura da oficina de manutenção, a equipe responsável e o estoque de peças ficam por conta da empresa. Isso leva à necessidade de um projeto de motocicleta visando à mínima manutenção, para redução de custos. Todos os insumos são desenvolvidos, selecionados e fabricados para que possam ter uma grande duração.
- **Recarga rápida de bateria:** Ao invés do motociclista ter que esperar de 4 a 6 horas para que sua motocicleta seja totalmente recarregada em uma tomada - o que é inviável em turno de entregas - a Origem desenvolve, fabrica e instala redes de estações de troca de bateria para que o cliente possa trocar sua bateria descarregada por uma totalmente carregada em um intervalo de apenas 30 segundos, sem ter que esperar por um longo

período de recarga. Após trocar sua bateria, o cliente segue a sua jornada normalmente. A Figura 2 mostra um detalhe da gaveta de recarga de baterias em uma estação.

Figura 2 – Estação de troca de bateria.



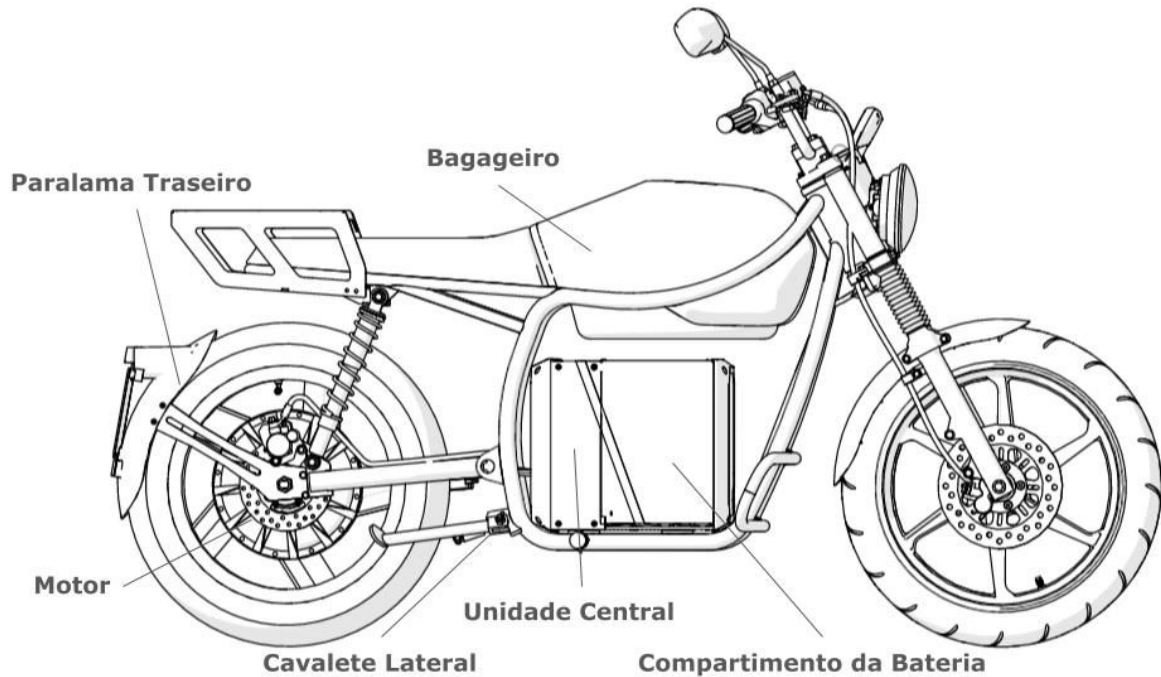
Fonte: <https://www.etb.origem.xyz>

1.1.2 Sobre o produto

Durante o desenvolvimento de qualquer produto, deve ser levado em consideração como serão realizadas a sua fabricação e montagem. Este são os conceitos de Projeto para Manufatura e Projeto para Montagem (em conjunto, *DfMA - Design for Manufacturing and Assembly*, ou seja, para que se tenha uma máxima eficiência de produção, é necessário que o produto seja desenvolvido não somente para funcionar corretamente, mas também para ser fabricado e montado com todas as qualidades incluídas: baixo tempo de montagem, facilidade na execução, escalabilidade na utilização das ferramentas e sempre visando a redução de custos.

A Motocicleta Origem, Figura 3 é a primeira moto elétrica projetada e fabricada no Brasil, e cada peça foi pensada com um olhar em todo o ciclo de vida do produto: na manutenção, nos processos de montagem e no custo de fabricação. Seu quadro é do tipo tubular duplo feito de aço, possui dois eixos, sendo o eixo motriz na parte traseira com um motor elétrico acoplado na roda traseira. A motocicleta possui uma balança com duplo amortecedor e freio a disco no eixo dianteiro com pinça hidráulica com dois pistões. No eixo traseiro, o freio é do tipo Elétrico Regenerativo compondo o sistema de freio combinado (CBS) e um freio a disco com pinça hidráulica com um pistão.

Figura 3 – Desenho da vista lateral da motocicleta Origem X.

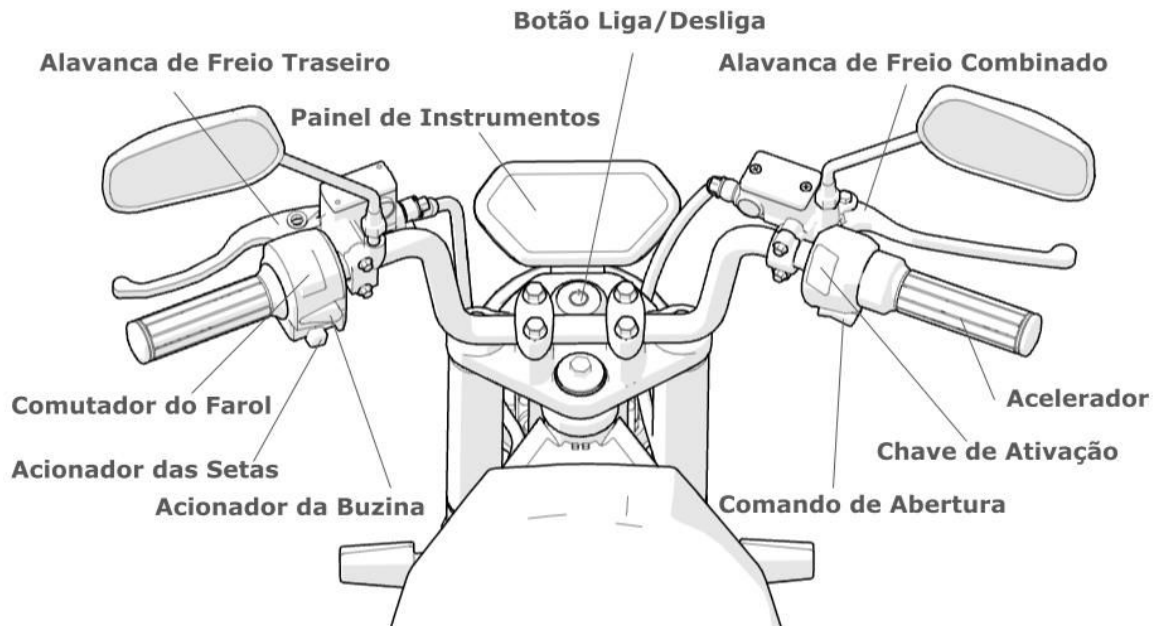


Fonte: <https://www.manual.origem.xyz>

Abaixo do compartimento de carga, feito para guardar o capacete e outros itens de uso diário da motocicleta, encontra-se a Unidade Central que é responsável pelo funcionamento e registro de dados da moto, fazendo o controle de todas as partes eletrônicas e mecânicas. Dentro da Unidade encontra-se a placa-mãe, que também é projetada pela Origem e que faz o registro de todos os dados necessários para futuras melhorias, como por exemplo velocidade, distância percorrida, localização em tempo real, aceleração, frenagem e etc.

A Figura 4 mostra o guidão da Origem X. Diferentemente de outras motocicletas, os freios são acionados somente nas manetes esquerda e direita, ou seja, sem a utilização dos pés. Ainda na parte do guidão, é possível por meio de um botão acionar a abertura da gaveta da bateria para realizar a troca da mesma, acender o farol alto, buzinar e acelerar.

Figura 4 – Componentes do guidão da motocicleta Origem X.



Fonte: <https://www.manual.origem.xyz>

A moto possui um limitador eletrônico de velocidade para 60km/h. Além disso, a moto conta com um Modo de Economia de Energia que é acionado automaticamente quando a bateria está fraca. Neste modo, a velocidade da moto é limitada a 35 km/h para garantir autonomia suficiente para que o usuário consiga chegar até um local onde possa trocar sua bateria.

1.1.3 Sobre o mercado

De acordo com os dados de fechamento de 2020 da Abraciclo - Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares, a frota nacional de motocicletas é de mais de 29 milhões de unidades, cerca de 13% da população brasileira ¹. Além disso, a produção anual possui uma média nos últimos anos de mais de 961.000 unidades, sendo o Brasil o sétimo maior produtor mundial de motocicletas.

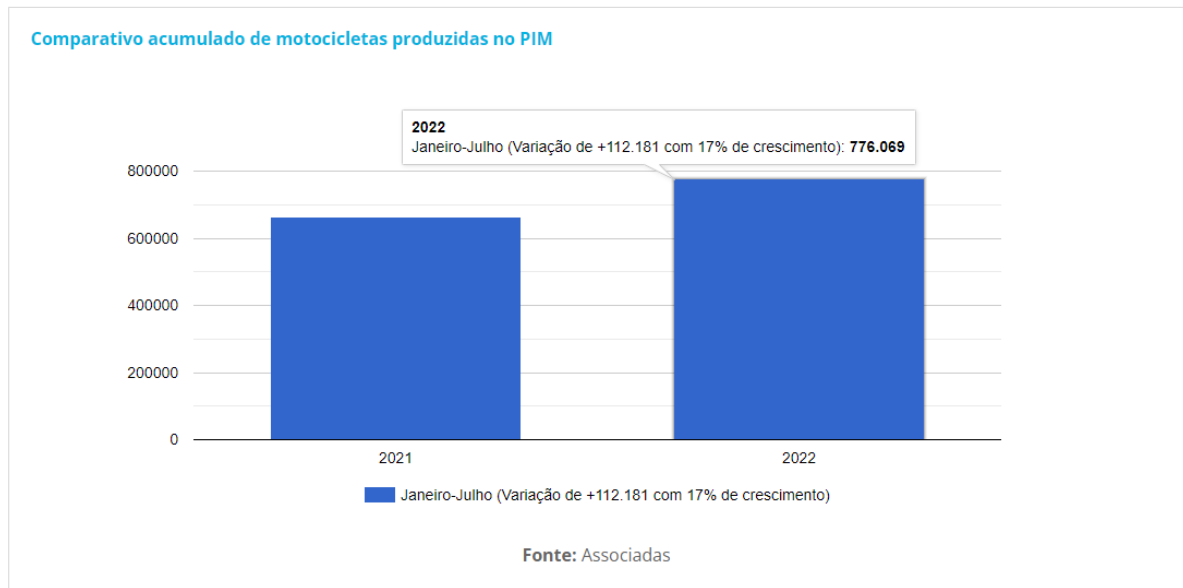
Segundo a Abraciclo, tomando como base os meses de janeiro a julho, o ano de 2022 já obteve 17% de crescimento em relação ao ano de 2021 somando ao total mais de 776.000 motocicletas produzidas no Polo Industrial de Manaus. Os dados ² indicam que já há alguns anos a produção é bastante alta e vem crescendo ano a ano, como pode ser visto nos dados a seguir:

¹ [abraciclo.com.br/site/press-releases-2021/2021/abraciclo-lanca-publicacao-com-os-dados-do-setor-de-duas-rodas/](https://www.abraciclo.com.br/site/press-releases-2021/2021/abraciclo-lanca-publicacao-com-os-dados-do-setor-de-duas-rodas/)

² <https://dnfg.com.br/2020/12/02/dados-do-setor-duas-rodas>

- Ano de 2020 teve o acumulado de 961.986 unidades produzidas;
- Ano de 2021 teve 1.195.149 unidades produzidas;
- Se o crescimento de 2022 se mantiver em 17%, chegará ao acumulado de 1.398.324 motocicletas.

Figura 5 – Comparativo do acumulado da produção de motocicletas de 2021 e 2022.



Fonte: <https://www.abraciclo.com.br/site/producao/>

Levando em consideração o ano de 2022, a empresa Honda produziu próximo a 80% de todas as motocicletas fabricadas no Polo Industrial de Manaus correspondendo a 615.908 unidades. Após a Honda, vem a Yamaha que produziu 16,61% da produção total do ano com 128.932 motocicletas e em terceiro lugar em produção de acordo com os dados divulgados pela Abraciclo, vem a BMW com menos de 1% e aproximadamente 7.500 unidades.

Esses dados são relevantes visto que a fábrica da Origem está projetada para ser capaz de fabricar 50.000 unidades por turno e por ano, ou seja, as escolhas das máquinas, das ferramentas e da própria fábrica foram dimensionadas para que a produção seja em larga escala, aproximando-se em quantidade, das maiores fabricantes de motocicletas do Brasil.

1.1.4 Sobre a região da Fábrica

De acordo com Neumann e Scalice (2015), para se determinar a posição de uma nova fábrica deve-se definir a posição geográfica:

- Com relação aos recursos.

- Com relação às operações de distribuição e demais operações com as quais interage.
- Com relação aos clientes.

Em Martins e Laugeni (2015) destaca-se que uma das maiores ênfases para se decidir a respeito da localidade de uma fábrica refere-se à concessão de incentivos fiscais em vigor em uma determinada região.

O polo industrial na Zona Franca de Manaus (ZFM) é composto por grandes empresas nacionais e internacionais. O governo iniciou esse programa de benefícios em 1967, durante o regime militar, por meio do Decreto-Lei nº 288/67 para industrializar e enriquecer a região. Desde lá, já foram percebidos diversos avanços na região por conta do programa. Com a constituição da Zona Franca de Manaus, a região sofreu grandes impactos, como o aumento das oportunidades em um mercado consumidor regional, amplo e diversificado e também do mercado de trabalho, universidades e institutos de pesquisa aplicada. Atualmente, entende-se que a ZFM é fundamental para a preservação da Floresta Amazônica, precisamente por promover a harmonia entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. Para isso, há uma fiscalização rígida que regula e controla o desenvolvimento em todo o ambiente.

Dentro da ZFM, existe os benefícios tributários para as indústrias que são instaladas dentro do Polo Industrial. Essas, são logradas de um amplo conjunto de benefícios fiscais e extrafiscais. Além de vantagens oferecidas pelo Governo Federal, o modelo é reforçado por políticas tributárias estadual e municipal.

No âmbito dos tributos federais, as empresas usufruem dos seguintes benefícios:

- Redução de até 88% do Imposto de Importação (I.I.) sobre os insumos destinados à industrialização;
- Isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (I.P.I.);
- Redução de 75% do Imposto de Renda de Pessoa Jurídica
- Isenção da contribuição para o PIS/PASEP e da Cofins nas operações internas na Zona Franca de Manaus.

Dentro do âmbito dos tributos estaduais, as empresas também possuem benefícios, possibilitando a restituição parcial ou total, variando de 55% a 100% – dependendo do projeto – do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS).

A escolha pela implantação da nova fábrica da Origem na Zona Franca de Manaus foi baseada no aglomerado de incentivos fiscais que as empresas recebem por apresentarem um projeto econômico que atenda ao seu respectivo Processo Produtivo Básico e por se instalarem na região.

Figura 6 – Vista aérea da fábrica.



Fonte: Gerada pelo autor.

1.2 Proposta deste trabalho

O desafio central consiste em escolher as máquinas, as ferramentas, a forma de produzir e o layout produtivo de forma que a configuração final obtenha um bom resultado considerando os custos, os prazos e os recursos desejados.

Entende-se assim que todas as variáveis estão, de certa forma, relacionadas e que elas influenciam uma nas outras de tal modo que não é prudente tomar decisões a respeito da configuração final da fábrica observando apenas uma variável isoladamente sem que antes essa decisão esteja dentro de uma estratégia global para a configuração da fábrica.

Dessa forma, buscou-se uma metodologia para a escolha do layout da fábrica e essa metodologia é uma junção de muitos conhecimentos práticos e teóricos com relação à indústria automobilística.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é, de acordo com Neuman (2015), um dos problemas mais complexos para as organizações: realizar um projeto de configurações dos seus sistemas produtivos.

Está em descrever todos os passos percorridos durante a implantação de uma fábrica de motocicletas elétricas do início ao fim a partir da visão e ações práticas de um engenheiro

de controle e automação.

Dentre os principais passos percorridos, pode se destacar:

- Implantação da fábrica na Zona Franca de Manaus: seleção e fechamento de contrato de um galpão que correspondesse aos requisitos de produção da Origem.
- Seleção, compra, transporte e instalação de máquinas para produção em larga escalas de peças desenvolvidas pela Origem.
- Configuração da logística de movimentação de insumos, pessoas, rejeitos e produtos dentro e fora da fábrica.
- Configuração do layout interno da fábrica com base em diversos fatores como: requisitos específicos de cada máquina, estrutura da linha de montagem, especificidades das estações de submontagem, estoque de insumos em processo de fabricação e outros fatores.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Planejar o processo de configuração da fábrica do início ao fim.
- Analisar o cenário atual de fábricas automotivas.
- Modelar a configuração da fábrica em um software especializado.
- Analisar os relatórios para atingir as melhorias desejadas.
- Otimizar o processo produtivo que foi projetado.
- Reduzir custos, tempos de fabricação da peças e tempo de montagem da motocicleta.

1.3 Organização do texto

- Primeiro capítulo: Introdução - Esse capítulo se inicia com a contextualização sobre a empresa, sobre o produto e sobre o mercado. Nele é descrito sobre como surgiu a empresa, quem são os fundadores, o que é e como foi pensado o produto, e como esse produto se insere em um mercado de motocicletas já consolidado. Por fim, descreve-se a proposta e os objetivos do texto.
- Segundo capítulo: Análise do Problema e Revisão Bibliográfica - Neste capítulo está descrito qual é o desafio do projeto, quais foram as dificuldades encontradas e qual a solução encontrada.

- Terceiro capítulo: Concepção da fábrica - Aqui estão retratados os passos envolvidos para se chegar ao layout final da fábrica. Neste capítulo ainda se inclui as ideias a respeito da escolha do galpão, da localização das máquinas, da linha e da logística envolvida em todos os processos.
- Quarto capítulo: Conclusões - Se resume neste capítulo o que foi alcançado durante a execução e conclusão do projeto.

2 Análise do Problema e Revisão Bibliográfica

Dada a natureza de mercado deste trabalho, optamos por não separar a revisão bibliográfica da análise do problema. Espera-se, com isso, tornar o texto mais simples e direto trazendo a literatura ao longo da análise e proposta de soluções.

Durante o processo de planejamento da fábrica e análise do problema, o autor realizou diversas viagens e visitou fábricas para aumentar o campo de entendimento e poder acompanhar de forma presencial as máquinas utilizadas atualmente nas fábricas, processos fabris e suas novas tecnologias pelo mundo e fábricas em operação. A primeira das viagens foi realizada para Alemanha, em Stuttgart, para a Blechexpo International Trade Fair for Sheet Metal Working, uma exposição internacional de máquinas, ferramentas e tecnologias que estejam relacionadas a trabalhos com peças metálicas. Na exposição foi possível conversar com as principais marcas de cortadoras CNC de chapas metálicas a laser do mundo e acompanhar as principais tecnologias em alta sobre o tema.

As outras viagens foram realizadas para o sul do Brasil, para acompanhar diretamente nas fábricas as operações de fabricação que utilizam cortadoras CNC de chapas metálicas a laser. Durante a viagem foi possível analisar as operações com o auxílio dos próprios operadores e levantar as principais falhas, as principais dificuldades de operação, as periodicidades de manutenção e vários outros pontos que presencialmente são melhores de serem observados.

2.1 Concepção de unidades fabris

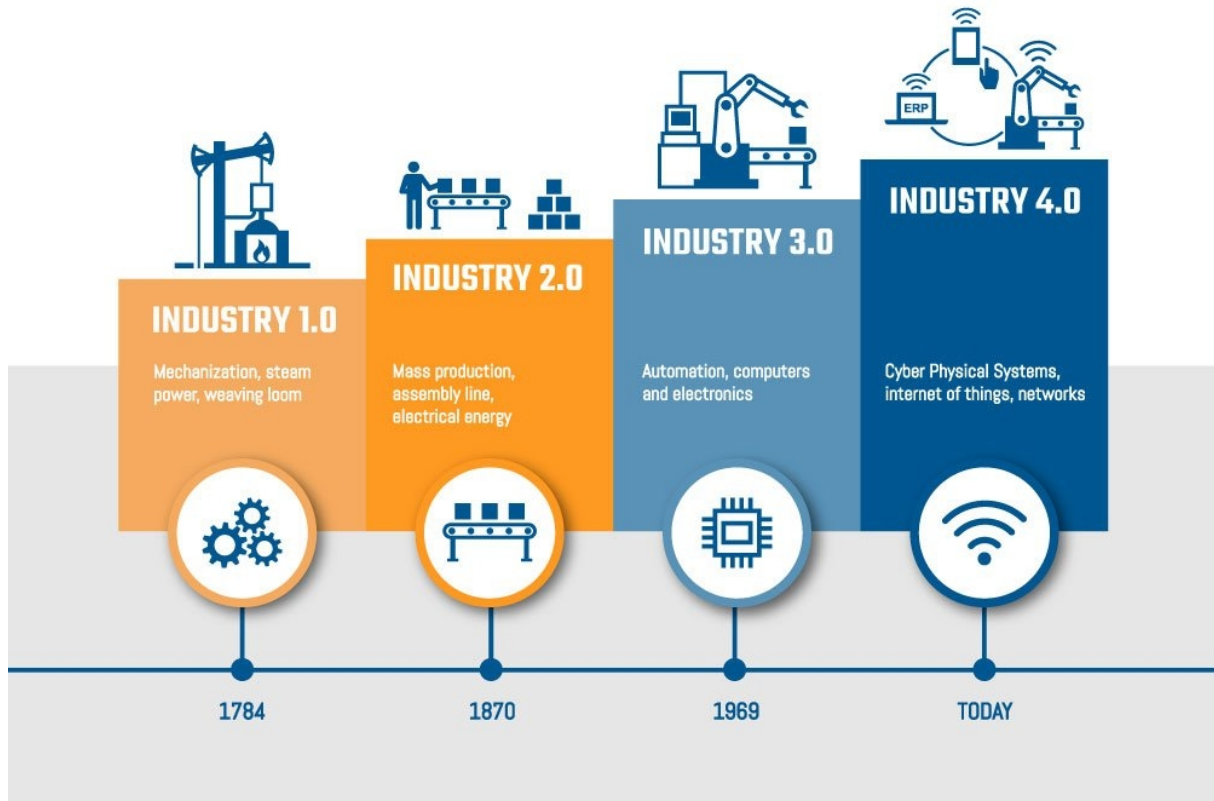
A 1ª Revolução Industrial teve início na Inglaterra, no século XVIII, com a utilização intensiva de máquinas, trazendo homogeneidade aos produtos.

Já no século XIX, a 2ª. Revolução Industrial trouxe o conceito de produção em massa e linhas de montagem, alimentadas já pela energia elétrica.

A 3ª Revolução Industrial veio no século XX, com a automação e utilização de sistemas eletrônicos de controle.

Atualmente, estamos vivenciando a indústria 4.0 com o crescimento da integração de máquinas mais inteligentes e conectadas, sendo a Internet das Coisas uma de suas principais tecnologias habilitadoras como demonstrado na figura 7.

Figura 7 – As quatro grandes revoluções industriais.



Fonte: <https://www.inray.de/en/news/the-path-from-industry-1-0-to-industry-4-0>

Apesar de todos os avanços tecnológicos, os principais conceitos clássicos de gestão, organização e otimização de plantas industriais ainda se mantêm necessários e atuais. Este trabalho foca seus esforços na aplicação desses conceitos para análise, proposição e implantação de uma fábrica aliada aos planos de expansão da Origem Motos Elétricas.

2.2 Layouts Industriais

Quanto mais evoluiu o conhecimento humano, maior foi a preocupação em estudar métodos para organizar os processos em diferentes áreas e, assim como aconteceu durante a evolução da 1ª revolução industrial para a 2ª revolução e posteriormente para a 3ª e 4ª, a mola propulsora que incentivou essa postura foi a busca de organizações que fossem cada vez mais eficientes e competitivas. Naturalmente, essa exigência implicava a definição de como o layout poderia otimizar a realização dos processos de um sistema produtivo, seja ele um hospital, uma escola, um sistema bancário, uma indústria de manufatura entre outros exemplos importantes (MARTINS; LAUGENI, 2015).

Segundo Paranhos (2007), layout ou arranjo físico denomina-se pela maneira de alocar as máquinas e equipamentos visando aperfeiçoar o fluxo de produção. Este arranjo físico é muito importante, pois ele pode ser decisivo no fluxo do processo, acarretando assim

uma maior ou menor produtividade.

Moreira (2006) também explica que o arranjo físico é bastante importante, pois ele define como sendo a disposição dos recursos físicos e físicos e o modo como vão permanecer.

A implantação do layout deve ser bem planejada e estudada, pois futuras alterações podem representar um gasto excessivo e desnecessário, como explica Slack (2007).

A mudança de um arranjo físico é extremamente difícil e demanda muito tempo. O rearranjo de uma operação pode acarretar uma redução ou até mesmo uma parada em sua capacidade, e conseqüentemente, atrasos e insatisfação o aos clientes que porventura deixem de ser atendidos.

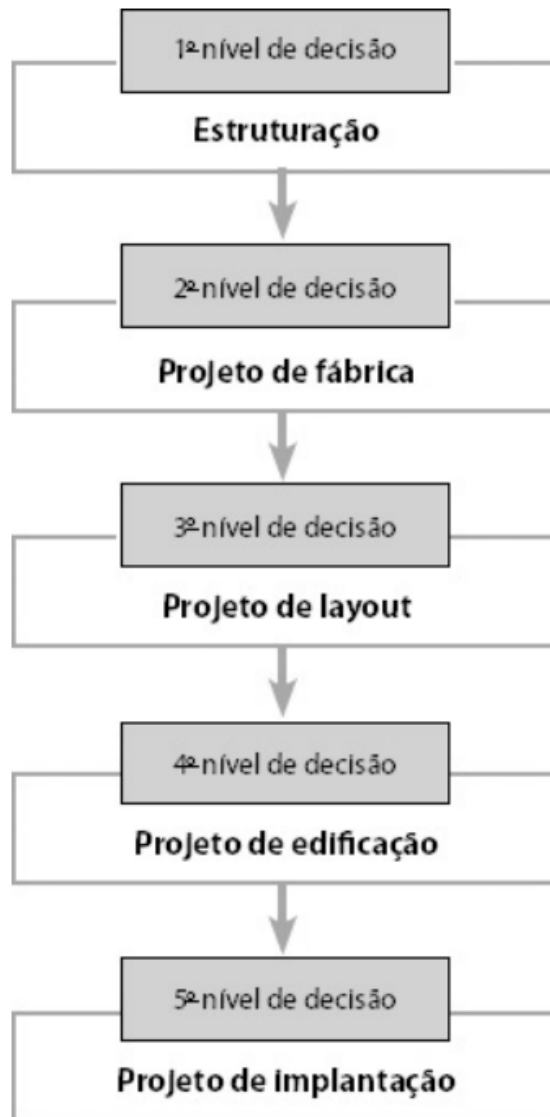
Uma escolha inadequada, como por exemplo o mal posicionamento de uma máquina ou um erro de cálculo de área de estoque pode ser a raiz de diversos problemas, tais como contra-fluxo, inflexibilidade do processo, zeramento de estoque, imprevisibilidade dos fluxos, aumento no tempo das operações e aumento dos custos de produção.

Mesmo com o conhecimento dos tipos de layout e seus impactos, definir qual arranjo físico a ser adotado é muito complexo, pois diversas variáveis devem ser levadas em conta como: máquinas e mão de obra disponível, produtividade desejada, flexibilidade das operações, entre outros.

Cada tipo de layout possui características singulares que devem ser criticamente analisadas, para que se decida o arranjo que melhor atenda as expectativas da organização, como explica Paranhos (2007). Para Moreira (2006), o planejamento do arranjo físico tem a preocupação básica, de tornar os movimentos de trabalho mais fáceis e suaves referentes ao fluxo de materiais ou de pessoas.

De acordo com Neumann e Scalice (2015), existem 5 processos que foram consolidados de forma hierárquica, em macro níveis, durante a tomada de decisão de se implantar uma fábrica. Esses 5 processos podem ser vistos na Figura ??.

Figura 8 – Níveis de decisão para o Projeto de Fábrica e Layout.



Fonte: Neumann e Scalice (2015)

O layout de uma fábrica pode depender de várias variáveis, incluindo:

- Tipo de produção: O layout de uma fábrica que produz bens de consumo será diferente daquele de uma fábrica que produz máquinas pesadas.
- Volume de produção: Uma fábrica que produz um alto volume de produtos provavelmente terá um layout diferente de uma que produz um baixo volume.
- Tamanho e forma dos produtos: O layout de uma fábrica será influenciado pelo tamanho e forma dos produtos que estão sendo produzidos. Por exemplo, uma fábrica que produz produtos grandes e volumosos terá um layout diferente de uma que produz produtos pequenos e leves.

- Processo de produção: O layout de uma fábrica será influenciado pelo processo de produção. Por exemplo, uma fábrica que usa linha de montagem terá um layout diferente de uma que usa produção por lotes.
- Segurança e ergonomia: O layout de uma fábrica será influenciado por considerações de segurança e ergonomia. Por exemplo, o layout será projetado para minimizar o risco de acidentes e garantir que os trabalhadores possam realizar suas tarefas em um ambiente confortável e seguro.
- Fluxo de materiais: O layout de uma fábrica será influenciado por como os materiais são movimentados dentro da instalação. Por exemplo, uma fábrica que usa um sistema de retirada terá um layout diferente de uma que usa um sistema de empurro.
- Automação: o uso de robôs e tecnologia de automação influenciará o layout da fábrica, já que exigirá áreas específicas para sua operação e manutenção.
- Flexibilidade: O layout de uma fábrica será influenciado pelo grau de flexibilidade exigido. Por exemplo, uma fábrica que produz uma variedade de produtos terá um layout diferente de uma que produz um único produto.

Destaca-se que a interação entre essas variáveis é que influenciará a definição final do layout. Ou seja, durante a implementação, é indispensável que os responsáveis possuam uma visão ampla sobre todos os temas e que consigam correlacionar as vantagens e desvantagens presentes nas definições de cada ponto em particular. Além disso, observa-se também que para se decidir a respeito de um determinado layout, deve-se ter como diretrizes (NEUMANN; SCALICE, 2015):

- Minimizar a manipulação de materiais;
- Minimizar o deslocamento dos clientes;
- Minimizar o deslocamento dos funcionários;
- Otimizar a vizinhança entre departamentos de maior interação;
- Obedecer às normas de segurança.

Após ter um produto que foi desenvolvido pensando na produção, é necessário encontrar o melhor layout industrial para este produto. Ou seja, deve-se escolher o layout de acordo com o processo de montagem e analisando todos os insumos envolvidos.

2.3 Balanceamento de Linha

Tendo o layout sido definido, o passo seguinte é o balanceamento de linha, em que a quantidade de postos de trabalho similares é determinada para cada etapa do processo, de modo a minimizarem-se os estoques intermediários.

Tubino (2007) afirma que o balanceamento de células ou postos de trabalho deve possuir uma sequência lógica de ações dentro da linha de montagem, com os operadores dispostos nos postos de trabalhos, seguindo um conjunto de operações-padrão necessárias para montar o produto, ou realizar submontagens de componentes.

Para Davis; Aquilano; Chase (2000) os postos de trabalho estarão balanceados entre si quando a demanda entre os postos for à mesma. Fernandes (2000) explica que para se obter um balanceamento de linhas de produção que empregam o acionamento contínuo, têm como objetivo de produtividade o isolamento e multiplicação da ação individual dos operadores.

Para Fitzsimons, J. Fitzsimons, M. (2004) o balanceamento consiste em equilibrar as operações dos postos de trabalho a partir das rotinas de operações sincronizadas dentro de um tempo ciclo capaz de atender uma demanda determinada, a partir da utilização de supermercados de abastecimento de linhas de montagem que utilizam layouts adequados a cada operação.

Ter uma linha de montagem balanceada é crucial para garantir a eficiência e a produtividade da fábrica, permitindo ajustar a produção de acordo com as necessidades do cliente. Livros como "The Lean Plant: Layouts that Work" e "Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management" fornecem informações valiosas sobre como implementar uma linha de montagem balanceada. Além disso, uma linha de montagem balanceada pode ajudar a reduzir os custos operacionais, aumentar a qualidade dos produtos e melhorar a segurança do trabalhador. Uma linha de montagem balanceada também permite que os trabalhadores se concentrem em tarefas específicas e evite erros de produção, além de trabalhar em ritmos mais lentos e menos estressantes, garantindo ainda mais eficiência nos processos.

2.4 Lean Manufacturing

Observa-se que o mercado nacional está cada vez mais competitivo e isso faz com que em alguns casos, algumas empresas deixem a produção uniformizada e se dediquem a produções cada vez mais adaptadas aos gostos e requisitos de cada consumidor.

O lean manufacturing, surge assim como uma forma organizada de gestão de produção, capaz de responder a várias mudanças proporcionando flexibilidade, rapidez e qualidade no produto que é fabricado e oferecendo então uma certa vantagem competitiva às organiza-

ções que se adequem a esta filosofia de gestão.

Para se iniciar os estudos e aplicação do Lean Manufacturing, sugere-se antes um estudo e análise sobre dois grandes livros: "Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success in 1986" e "Gemba Kaizen - A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy". Isso é devido ao fato de que na primeira década do século XXI, com a Toyota Motor Company ultrapassando a General Motors e se tornando a principal fabricante automotiva do mundo, compreende-se uma diferença de performance e de desempenho da organização Toyota pela utilização do kaizen.

Hoje, organizações em todo o mundo, de fabricantes de automóveis a hospitais, bancos, desenvolvedores de hardware e software e governos estão promovendo melhorias ao adotar filosofias, mentalidades e metodologias kaizen. Destaca-se que mesmo que os nomes dessas estratégias mudem ou sejam encontradas diferentes ao longo das décadas, seja um termo como "melhoria contínua da qualidade", "gestão da qualidade total", "just-in-time", "excelência operacional", "seis sigma" ou "lean manufacturing", as empresas mais bem-sucedidas dessas estratégias estão orientadas pelo Kaizen. Masaaki Imai (2012).

Levando em consideração a história do Lean Manufacturing, também chamado de Manufatura Enxuta, depois da segunda guerra Mundial, com a economia japonesa em baixa, a organização Toyota, como forma de se recuperar, determinou 7 tipos de desperdícios e elaborou maneiras de eliminá-los. Então esse conceito de eliminação e redução de desperdícios tornou-se a base do Sistema Toyota de Produção, levado para o ocidente com o nome de Manufatura Enxuta. Havia um foco rígido no combate aos tempos não produtivos, à desorganização, à produção sem controle, à falta de padrões de qualidade e assim, criam-se ferramentas e conceitos que posteriormente seriam discutidos em todas as organizações dos tempos atuais.

De acordo com João Paulo Pinto, nos seus escritos em LEAN THINKING - CRIAR VALOR ELIMINANDO DESPERDÍCIO, a designação lean thinking ou pensamento lean, foi utilizado a primeira vez por James P. Womark e Daniel Jones, no livro com o mesmo nome, publicado em 1996. Estes dois autores estiveram durante a década de 80, no Japão, para estudar as formas de gestão e métodos de trabalho das empresas nipônicas, tendo publicado em 1990 o livro — The Machine That Changed the World, considerado hoje como a principal obra de referência do pensamento lean. Esta obra faz referência, à máquina que mudou o mundo, o automóvel, e apresenta a indústria que se desenvolveu rapidamente e de forma consistente em volta deste – Toyota Production System (TPS) (Pinto, 2008).

Por ter sido inicialmente aplicado na indústria, deste conceito resultou a designação de lean manufacturing, ou lean production. Este, aplicado à indústria é considerado um sistema de gestão que ao envolver ferramentas de gestão, produção e qualidade elimina desperdícios e cria valor no produto ou serviço, satisfazendo desta forma o cliente e o consumidor final. João P. Pinto (Pinto, 2006) define o pensamento lean, como uma abordagem

inovadora às práticas de gestão, orientando a sua acção para a eliminação gradual das fontes de desperdício, através de abordagens e procedimentos simples, procurando a perfeição dos processos, sustentada numa atitude de permanente insatisfação e de melhoria contínua.

A filosofia do Lean Manufacturing foi aplicada intensamente durante a concepção da fábrica que poderá ser acompanhada no capítulo 03 deste projeto. O objetivo em aplicar as ideias deste modelo logo no início da implementação está vinculado ao fato de que dessa forma é mais simples de manter a aplicação durante o desenvolvimento e durante a operação da própria indústria.

Entre os principais pontos da filosofia aplicados, podemos destacar o tripé:

- Qualidade para minimizar os retrabalhos e elevar o produto: padronização de todos os processos, controle de todos os processos e transparência.
- Redução de custos: Eliminação de atividades e tarefas que não acumulam valor assim como eliminação de atividades e tarefas duplicadas
- Otimização do tempo: simplificação de processos, redução de interferências entre os processos, redução do tempo de espera e balanceamento geral das atividades.

3 Processos de fabricação e Montagem da motocicleta

Neste capítulo detalhamos os componentes da motocicleta Origem, identificando quais são adquiridos prontos (cadeia de fornecedores) e quais são fabricados pela própria empresa (a partir de matérias-primas diversas). O capítulo é iniciado com os dados a respeito de ferramentas e instruções realizadas na fábrica. Após esta seção, são detalhados os processos de fabricação e montagem de alguns componentes realizados pela empresa que são detalhados de modo a possibilitar sua análise. Também são discutidas as questões relativas ao layout da planta, alocação de recursos físicos, entre outros pontos.

3.1 Ferramentas e Instruções

Existem diversas maneiras de fixar peças e componentes uns aos outros, por exemplo, cola, rebites, solda etc. Entretanto, hoje o método mais comum de unir componentes é usar um parafuso para unir as partes da junta com uma porca ou diretamente em um furo rosqueado em um dos componentes. As vantagens desse método são a simplicidade do projeto e da montagem, a facilidade de desmontagem, a produtividade e em alguns casos, o custo.

A motocicleta possui diversos parafusos utilizados para fixação dos componentes e a escolha das ferramentas foi de suma importância para que a fixação e conexão das peças fosse realizada de modo eficiente durante a montagem da motocicleta. Além disso, a escolha das ferramentas pressupõe uma análise específica alguns fatores, como:

- **Manutenção:** a fábrica foi estruturada para que pudesse operar nos três turnos. Por conta disso, a falta de equipamentos e ferramentas para continuar a operação em casos de mal funcionamento é bastante prejudicial para a empresa. Dessa forma, uma manutenção local e peças de reposição a baixo custo é de suma importância para que as ferramentas possam ser repostas ou consertadas em um curto prazo.
- **Usabilidade e ergonomia:** ferramentas pesadas necessitam de outros equipamentos como balacins e/ou talhas o que influenciam no layout da estação de montagem como um todo. Além disso, existem equipamentos como apertadeiras rotativas que possuem uma alavança de força gerada o braço do operador, que a longo prazo, pode gerar problemas sem que se tenha um braço de reação como apoio.

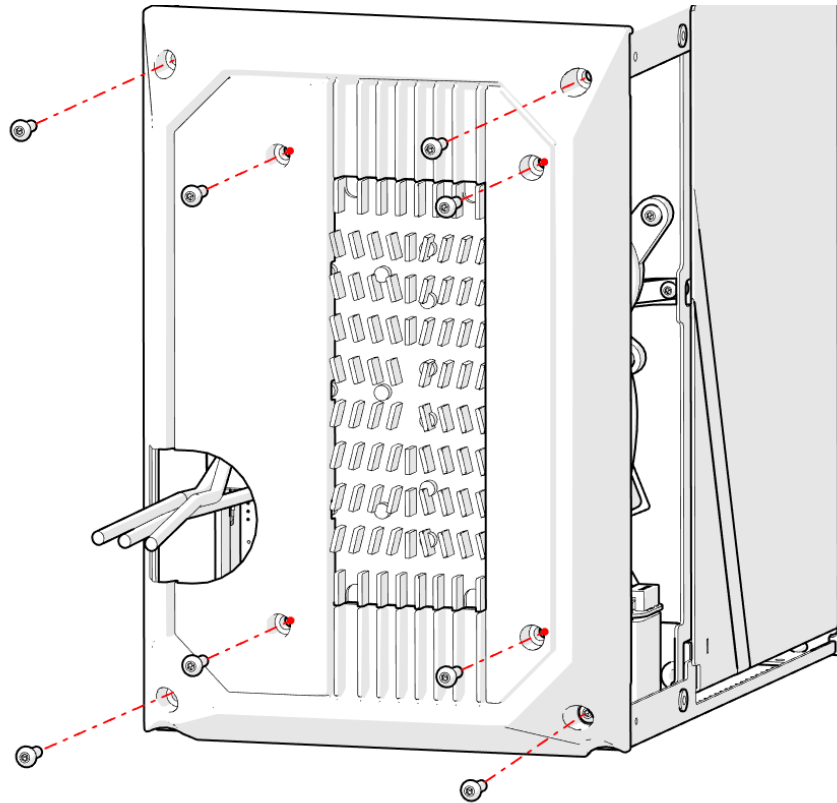
- **Custo:** deve-se levar em consideração o custo da ferramenta e das peças de reposição durante a compra do equipamento. Também é importante observar se existem outros custos envolvidos como equipamentos auxiliares, compressores, baterias, braços de reação etc.
- **Comunicação:** parafusadeiras, apertadeiras e outros equipamentos industriais avançados, possuem protocolos de comunicação para armazenamento e envio de dados. Saber como esses dados são comunicados é importante para automações futuras, ou seja, para casos em que os protocolos são desconhecidos, a automação pode ser mais difícil de ser realizada.
- **Infraestrutura:** Os equipamentos de linha industrial geralmente são pneumáticos ou elétricos. Os dois modelos possuem vantagens e desvantagens e por isso, a fábrica precisa estar adequada para a escolha que for realizada. Para os casos em que os equipamentos são todos do tipo pneumático, é necessário que a fábrica possua uma infraestrutura de linha pneumática para atender todos os equipamentos, isso inclui tubulação, compressores e uma manutenção constante para manter estes equipamentos em pleno funcionamento.
- **Variedade na linha:** Geralmente é melhor ter apenas uma marca de equipamentos na fábrica por conta de comunicação com fornecedor, comunicação entre os equipamentos, adequação de softwares e etc. Por conta disso, é importante analisar a variedade de parafusadeiras, torquímetro, apertadeiras e semelhantes na mesma linha industrial que determinada marca tem antes de se adquirir qualquer um desses equipamentos.

Com base nas análises feitas acima, a Origem decidiu seguir com a escolha de utilizar somente parafusadeiras, apertadeiras e outros equipamentos semelhantes do tipo elétrico e da mesma marca. A escolha pelas ferramentas elétricas está com base em dois pontos importantes: a ferramentas pneumáticas requerem uma infraestrutura de linha pneumática pela fábrica que, em caso de falhas, paraliza a fábrica toda. Também foi levado em consideração que essa infraestrutura ocupa um espaço físico e visual da fábrica. São tubulações que necessitam de manutenções constantes, compressores que precisam de acompanhamento regular e todo um conjunto de necessidades para que a fábrica não pare nunca. Por fim, as ferramentas elétricas possuem uma precisão melhor e essa característica garante uma qualidade maior no produto final.

A Origem escolheu apertadeiras do tipo pulsativas e ferramentas mais leves, dessa forma, elas não precisam de um braço de apoio como equipamento auxiliar no quesito ergonomia, mas por precaução, foram colocados balancins de apoio. A marca das ferramentas não está divulgada nesse projeto por questões de sigilo.

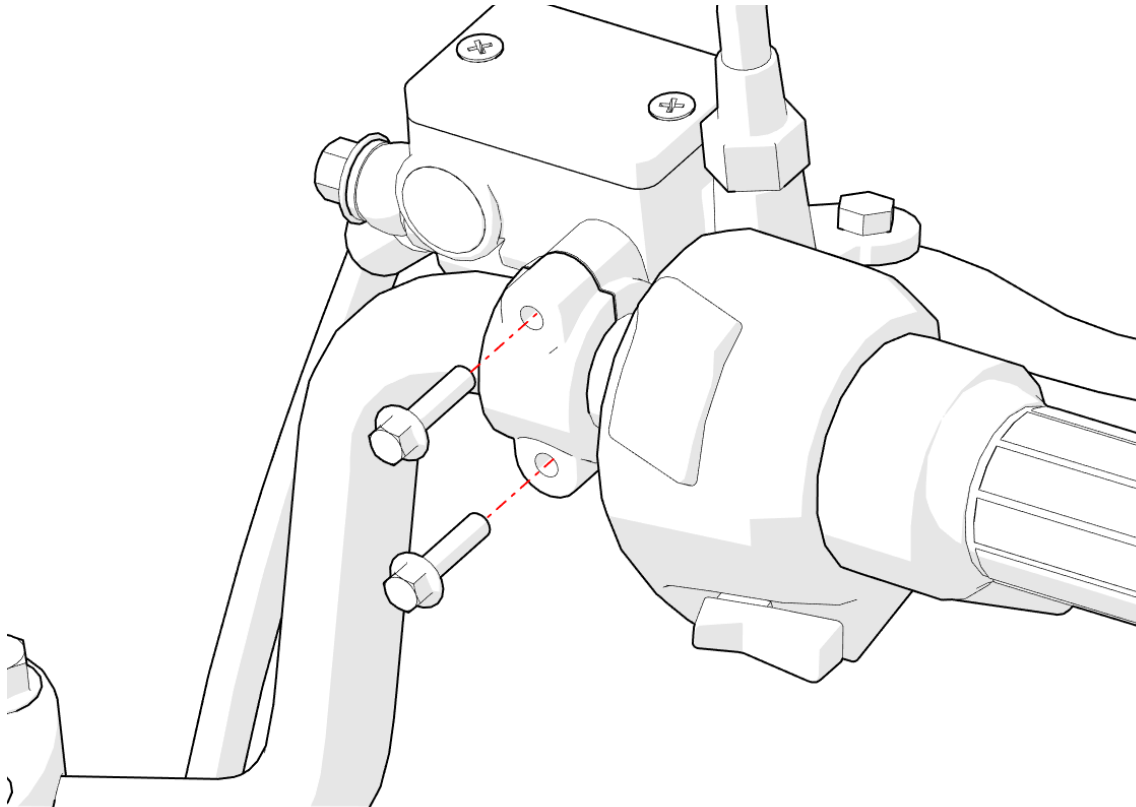
Com a fábrica alugada, infraestrutura implementada, colaboradores contratados, equipamentos, máquinas e ferramentas compradas, linha de montagem configurada e insumos armazenados nos locais corretos, foram feitas as instruções de montagem com base em um princípio semelhante ao utilizado em instruções de montagem das empresas IKEA e Lego: simplicidade e objetividade.

Figura 9 – Etapa de montagem do conjunto Unidade Central.



Fonte: Imagem presente em uma das instruções de montagem da Origem.

Figura 10 – Etapa de montagem do conjunto Guidão.



Fonte: Imagem presente em uma das instruções de montagem da Origem.

As instruções foram feitas com a utilização do SolidWorks Composer que é uma extensão do SolidWorks, software de modelagem 3D. Elas são simples, objetivas e apresentam o passo-a-passo para o operador parafusar, fixar, conectar e realizar todas as montagens da motocicleta.

3.2 Componentes e processos de fabricação

Nesta seção, destaca-se que o foco está somente em alguns dos produtos fabricados por terceirizados e os fabricados internamente devido as suas complexidades e devido aos seus processos de fabricação que em alguns casos são os pontos chaves para a verticalização na fábrica. Além disso, alguns dos insumos fabricados pela empresa e/ou comprados e classificados como "de prateleira" estão omitidos por questão de sigilo e segurança.

Pode-se classificar os insumos da motocicleta de acordo com sua origem em: importados, nacionais, fabricados por terceirizados e fabricados internamente.

Os três conjuntos descritos abaixo estão presentes na motocicleta e representam um pouco das decisões de todos os outros componentes, pois por eles é possível compreender características específicas de desenvolvimento e de configuração de layout na fábrica. Observa-se na descrição: as máquinas escolhidas para cada processo, a disposição dos itens

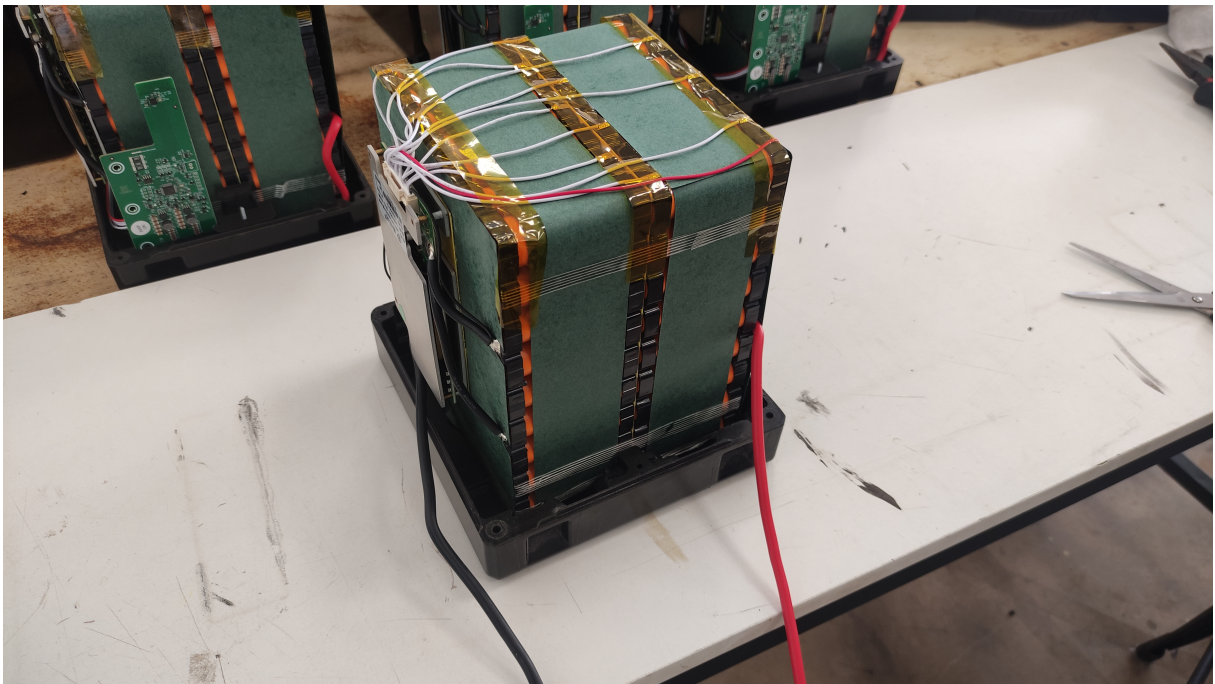
na fábrica, a minimização de insumos, de processos de fabricação e de deslocamento entre as etapas.

3.2.1 Componente 1 - Conjunto Bateria

O Conjunto Bateria é composto de um módulo de células de lítion-íon distribuídas ordenadamente em conjuntos de células em série e conjuntos de células em paralelo que formam como um todo, o pack de células. A configuração dos conjuntos, a escolha de tensão, corrente e potência do módulo é de autoria da Origem. Esse conjunto é importado e representa uma porcentagem significativa da consolidação de valor da motocicleta. A compra de alguns itens importados como este módulo é devido a falta de disponibilidade e/ou diferença de custo quando comparado ao mercado nacional.

Estas células são armazenadas em uma sala fechada e climatizada com acesso restrito. Dessa forma, aumenta-se a qualidade de vida útil das células devido a sua sensibilidade a variação de temperatura, presença de fuligem, poeira e outros materiais que podem prejudicar seu funcionamento.

Figura 11 – Etapa de montagem do Conjunto Bateria



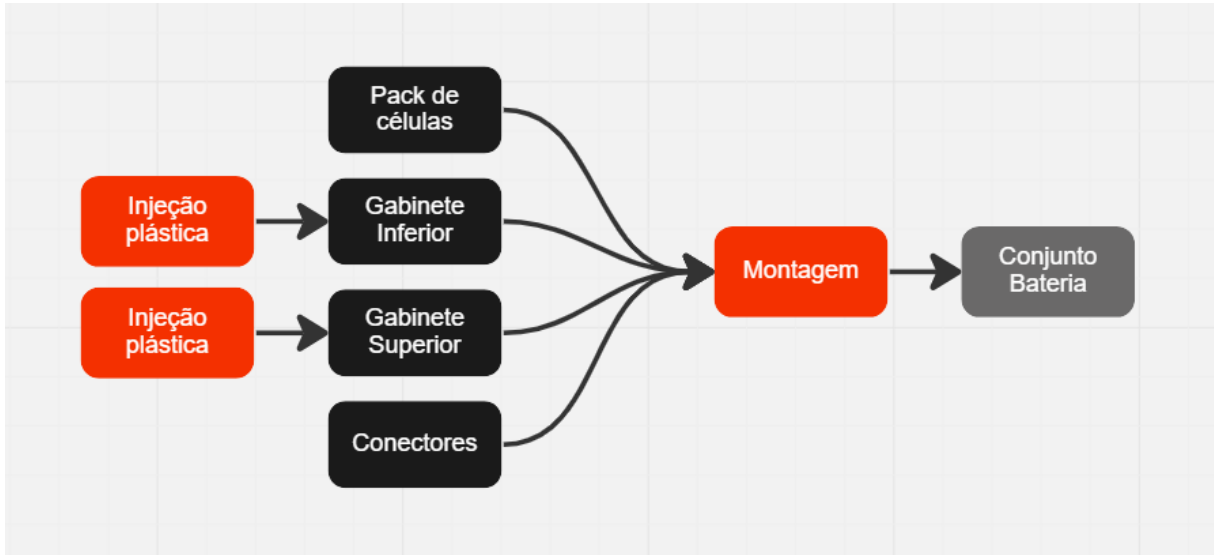
Fonte: Projeto do autor.

Além do pack de células, A bateria possui dois gabinetes, o gabinete superior e inferior. Este são fabricados nacionalmente e seu projeto também é de autoria da Origem. Estes gabinetes são peças plásticas, atualmente fabricadas de PU (poliuretano) e são injetados nacionalmente em moldes fabricados também nacionalmente. Junto com o pack de células

e com os gabinetes, a montagem é finalizada com a placa de comunicação da bateria e conectores específicos.

A Figura 12 ilustra os processos de fabricação e montagem do Conjunto Bateria.

Figura 12 – Processo de fabricação e montagem do Conjunto Bateria



Fonte: Projeto do autor.

3.2.2 Componente 2 - Chassi

O projeto do Chassi é de autoria da Origem e é formado de tubos cilíndricos e chapas metálicas. Os tubos são de perfis cilíndricos e são amplamente utilizados em outras áreas da indústria devido à rigidez elevada para baixa massa. Para se chegar ao resultado do conjunto final, é necessário que os tubos e chapas metálicas presentes na estrutura passem por três processos de fabricação e/ou conformação mecânica: usinagem (corte do tubo), dobramento e soldagem.

Figura 13 – Processo de fabricação e montagem do Chassi



Fonte: Imagem do projeto do autor.

Inicialmente os tubos de perfis cilíndricos com tamanhos padrões de 6 metros de comprimento são recebidos e são armazenados em carrinhos específicos de movimentação

para que então possam chegar ao processo de usinagem sendo cortados na máquina de corte de tubos a laser mencionado no capítulo 3 deste projeto.

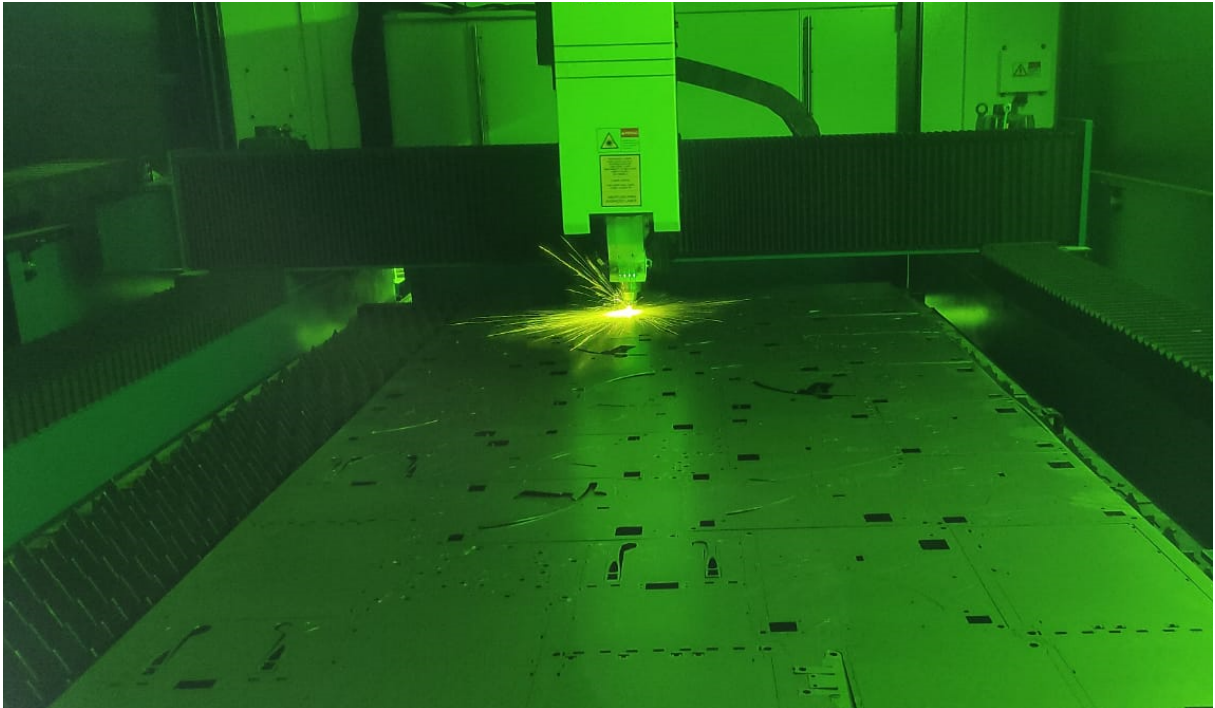
Figura 14 – Movimentação de tubos com utilização de empilhadeira



Fonte: Foto obtida na fábrica pelo autor.

Atualmente existem três tipos de máquinas com corte bastante utilizados na indústria: corte por plasma, corte por jato de água e corte a laser. A diferença está principalmente pela fonte que gera o corte, pelos materiais que podem ser cortados, profundidade do corte, velocidade de corte e custo. Sabe-se também que os processos sofreram diversas melhorias com o tempo e inclusive os tempos de usinagem diminuíram significativamente, além de que hoje proporcionam uma boa tolerância geométrica e maior repetibilidade (CHIAVENIRI, 1986) (DINIZ, 2013).

Figura 15 – Máquina cortadora de chapas a laser operando.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

Para se chegar a escolha da máquina de corte a laser de tubos, foi necessário avaliar as vantagens e desvantagens dos outros modelos de maquinários. Entre as principais desvantagens, estão a diferença de precisão, de custo e de escolha de material. A precisão e acabamento dos cortes a laser são muito maiores que os cortes a plasma, e mesmo com o custo um pouco mais elevado, ainda é de suma importância que o acabamento da peça esteja com boa qualidade para que o produto chegue com detalhes finos ao cliente final. Para uma produção em massa, o corte a água é inviável devido ao seu baixo tempo de produção e o seu elevado custo.

A conformação mecânica é um processo que implica em alterar o molde do metal de forma a se obter um formato desejado. É um dos métodos mais rápidos de fabricação de peças, porém para pequenos lotes pode se tornar inviável devido ao alto custo de implementação. Entre os principais processos de conformação mecânica estão a laminação, o forjamento, a trefilação, a extrusão e o dobramento. (CHIAVENIRI, 1986).

O dobramento é uma operação de conformação mecânica que consiste em realizar dobras e curvaturas em chapas ou tubos metálicos. O dobramento ocorre pela aplicação de um momento fletor capaz de deformar plasticamente o material (GROOVER, 2007).

Existem três tipos principais de dobradeiras de tubos metálicos:

- Dobradeira de controle hidráulico: funciona por meio de pressão hidráulica, controle

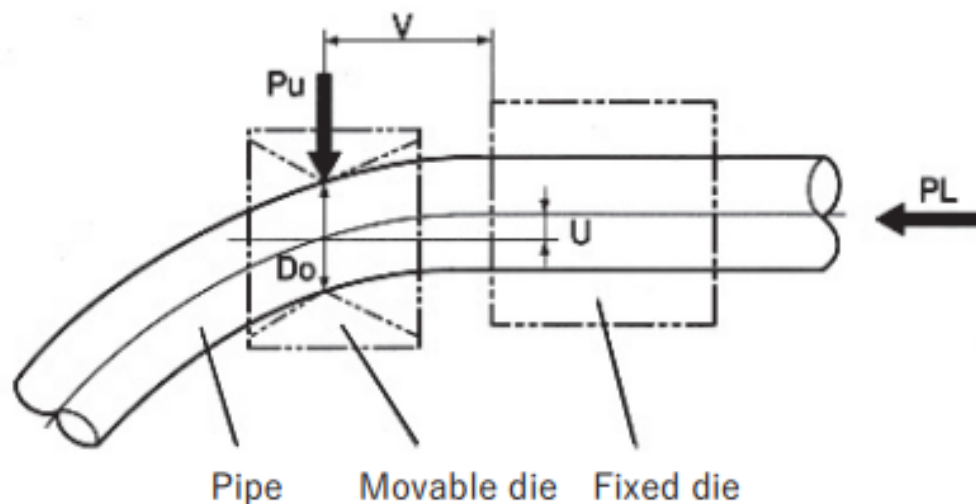
de pressão e movimento de uma prensa hidráulica. É utilizada para dobrar tubos de diâmetros maiores.

- Dobradeira de controle eletrônico: utiliza controle eletrônico para mover a dobradeira e é precisa na dobra de tubos de menor diâmetro.
- Dobradeira mecânica: funciona por meio de alavanca e engrenagem e é adequada para dobrar tubos de pequeno diâmetro de forma manual.

Assim, depois que os tubos são cortados, eles são transportados até a dobradeira de controle eletrônico presente na fábrica que recebe o insumo e este, após ser posicionado manualmente, é movimentado pela máquina na direção Z passando por 2 bocais de cerâmica de alta dureza e alta fragilidade, um deles é do tipo fixo (fixed die) e outro é do tipo móvel (movable die). O bocal móvel se movimenta em um plano X/Y que conforme o tubo é empurrado, permite a conformação a frio do material com raios e ângulos de dobras desejados. A vantagem desse sistema é que não é necessária a mudança de ferramenta para dobra de diferentes valores de raios, diferentemente das dobradeiras convencionas que para cada raio é necessário uma ferramenta diferente.

Figura 16 – Princípio de funcionamento da dobradeira CNC de tubos

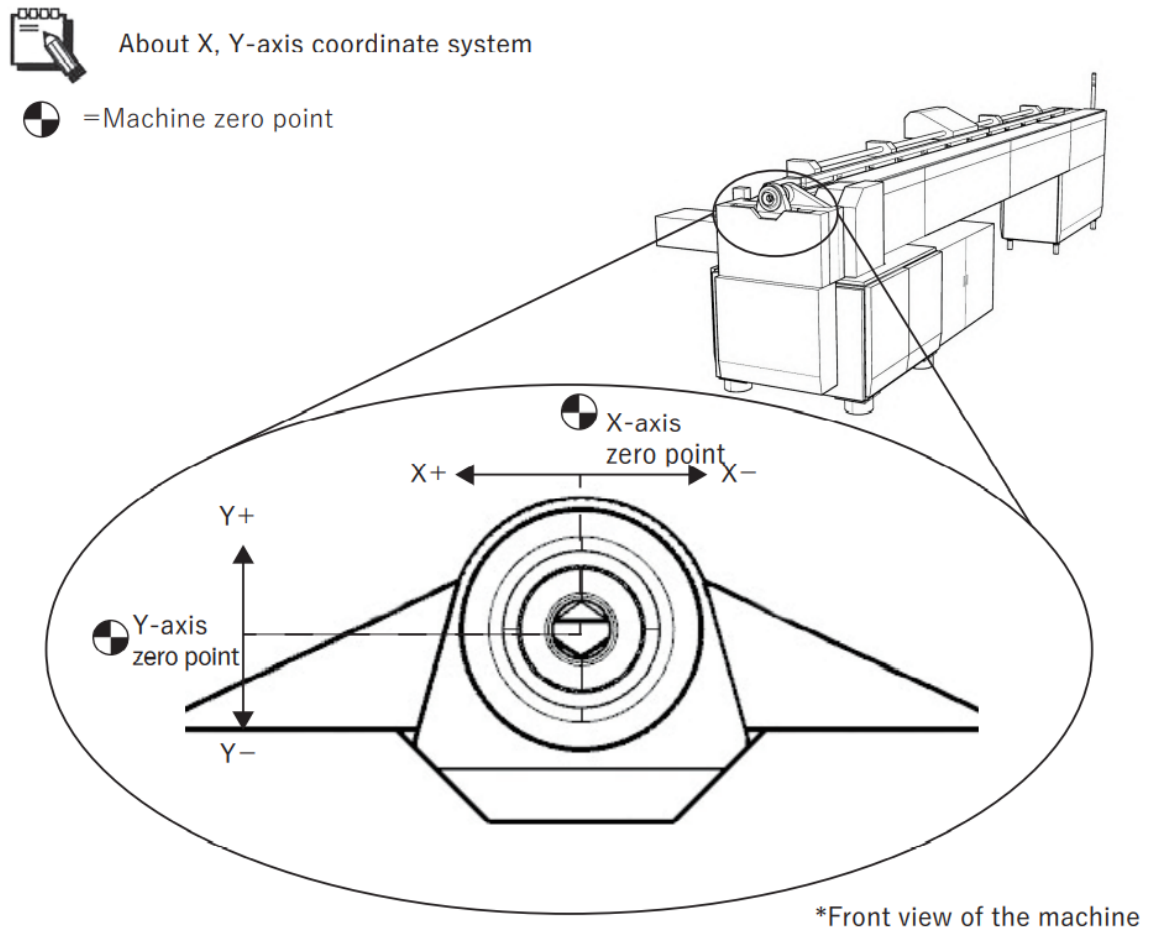
○ Operation Principle



Fonte: Demonstrativo presente na documentação de especificação do maquinário.

Controlando a movimentação relativa entre o bocal móvel e o empurrador, é possível dobrar um tubo em qualquer direção tridimensional. O ponto de aplicação da força para dobra dos tubos na máquina acontece na direção axial do tubo o que beneficia do tubo não perder espessura de parede com relação à parte externa do tubo.

Figura 17 – Princípio de funcionamento da dobradeira CNC de tubos



Fonte: Demonstrativo presente na documentação de especificação do maquinário.

Após os tubos estarem dobrados, eles são armazenados e transportados para a próxima estação por carrinhos de movimentação feitos com a utilização de tubos cilíndricos metálicos como representado na imagem abaixo. Esses tubos foram adquiridos da empresa Lockpipe, especializadas neste tipo de material e que promovem com estes e outros materiais, a construção de dispositivos voltados ao Lean Manufacturing.

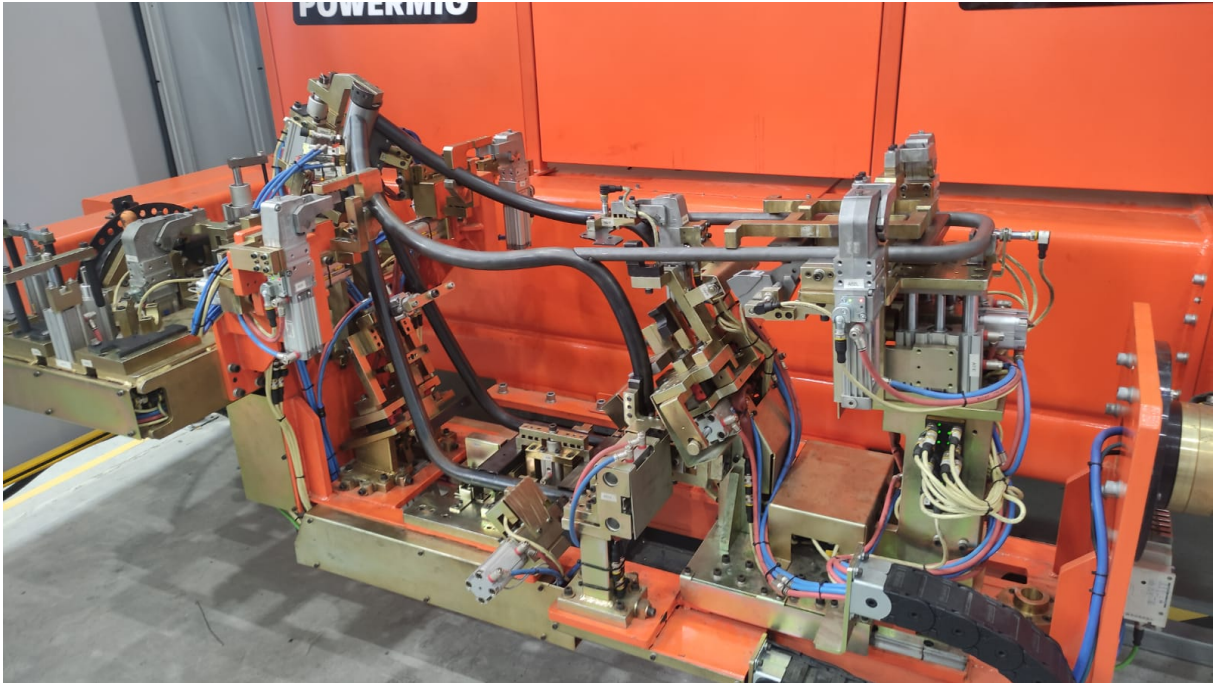
Figura 18 – Carrinho de movimentação de tubos dobrados



Fonte: Foto obtida na fábrica pelo autor.

Por fim, os tubos são posicionados no gabarito de soldagem também de autoria da empresa para que possa chegar ao seu formato final. A estrutura completa da célula de soldagem é uma mesa giratória com o gabarito de um lado e do outro está um braço robótico com seis eixos programado para soldar o chassi com solda MIG nos pontos pré-programados. A disposição das máquinas e os espaços foram projetados de forma que a área de metalurgia produzisse em um fluxo contínuo e com pequenos estoques intermediários.

Figura 19 – Gabarito de solda para soldagem do Chassi.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

3.2.3 Componente 3 - Conjunto Unidade Central

O Conjunto Unidade Central é um insumo de autoria da Origem que representa, de forma figurada, o cérebro da motocicleta. Nela estão presentes as placas eletrônicas (PCBs), o berço metálico para se alocar a bateria, a controladora e outros insumos eletrônicos. Sua montagem e a fabricação dos componentes que formam essa Unidade são o foco desse tópico.

Sua estrutura é feita de chapas metálicas e de peças plásticas injetadas. Na parte da estrutura metálica, as chapas são cortadas na cortadora de chapas a laser assim como foram feitas com as peças do Chassi. Depois de cortadas, elas são levadas por carrinhos de movimentação para a dobradeira de chapas CNC. Nessa etapa, todas as chapas são dobradas em pontos específicos de acordo com os planos de dobra para depois serem acopladas nas estações de montagem.

Figura 20 – Peça metálica sendo dobrada na dobradeira de chapas.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

Além da estrutura metálica, a Unidade Central também possui algumas peças plásticas que são injetadas em PU (poliuretano) fora da fábrica e que são posteriormente fixadas com parafusos nas laterais como acabamentos do conjunto. Destaca-se que como parte de um dos requisitos para recebimento dos benefícios fiscais concedidos na Zona Franca de Manaus, as empresas devem dispor a logo PPIM (Produzido no Polo Industrial de Manaus) nos seus produtos de acordo com o Manual de Aplicação concedido pelo órgão SUFRAMA. Na motocicleta, a logo fica localizada em um alto relevo de uma das peças plásticas.

Figura 21 – Logo PPIM presente na motocicleta.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

Para a montagem do conjunto dentro da fábrica, foi configurado uma pequena linha de montagem ao redor da linha principal. Os insumos foram dispostos em carrinhos nas laterais de forma que as peças metálicas dobradas pudessem ser armazenadas nesses carrinhos e movimentados para reabastecimento sempre que necessário. Além disso, os insumos comprados e classificados como "de prateleira" são armazenados direto na linha de montagem da Unidade Central em pallets para que seu reabastecimento fosse feito de forma mais prática.

Figura 22 – Montagem da estrutura metálica da Unidade Central.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

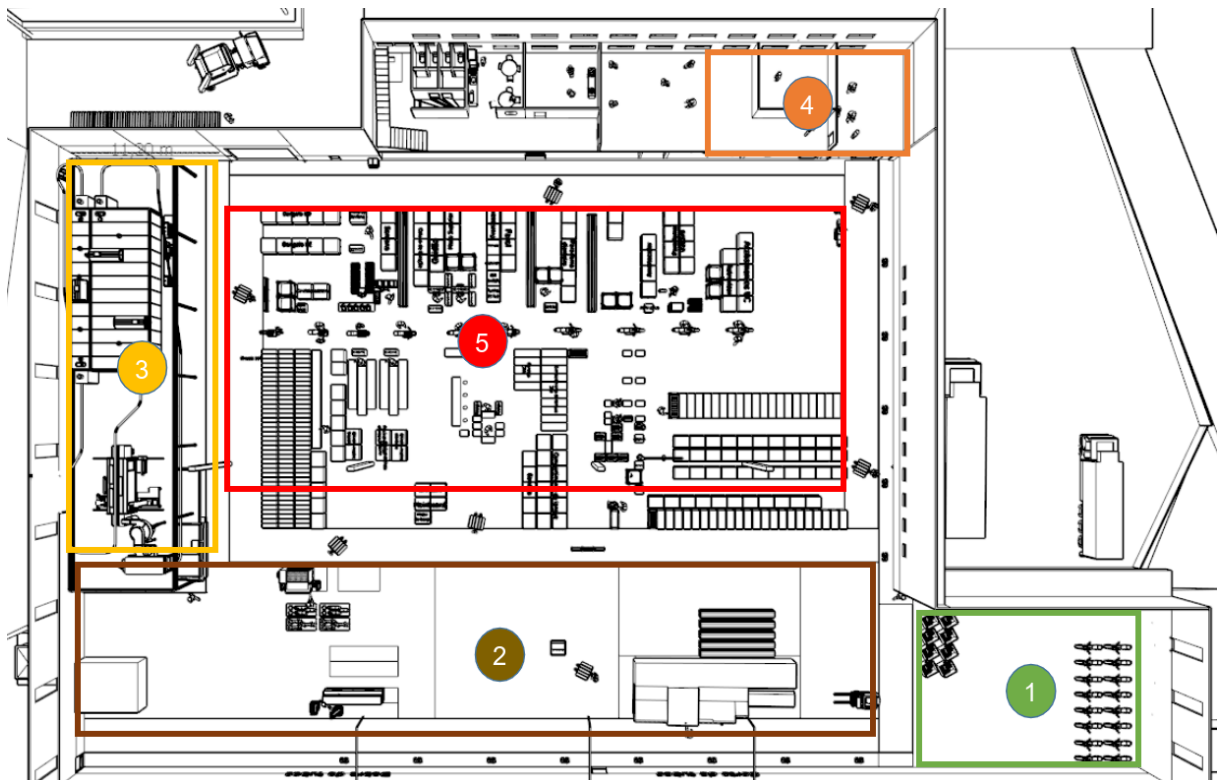
3.3 Etapas de Montagem e planta da Origem

Na Origem, o projeto do produto e do processo produtivo caminham juntos para aumentar a eficiência e qualidade de tudo o que é feito. Os processos fabris e o layout da fábrica como um todo foram determinados seguindo estratégias de minimização dos desperdícios: movimentações desnecessárias, armazenagem vertical, estoques intermediários e múltiplas etapas de processamento para uma mesma peça. Neste sentido, o chão de fábrica foi dividido em apenas cinco grandes grupos:

- 1) Recebimento/Expedição - Espaço reservado para análise da entrada dos insumos, destinação para os estoques e expedição das motocicletas produzidas.
- 2) Metalurgia - Cobre os processos de processamento a laser de chapas e tubos, dobra robotizada de chapas e tubos além de solda robotizada, laser e manual dos diversos componentes fabricados internamente.

- 3) Pintura - Área reservada para expansão futura onde será instalada uma linha automática para pintura a pó com tecnologia de tratamento nano-cerâmica e recuperação ciclônica da tinta não utilizada.
- 4) Eletrônicos e Baterias - Espaço de montagem de placas eletrônicas, cabos e baterias.
- 5) Montagem Final - Composta pela linha de montagem final e pelas estações de sub-montagens

Figura 23 – Grandes grupos da fábrica.

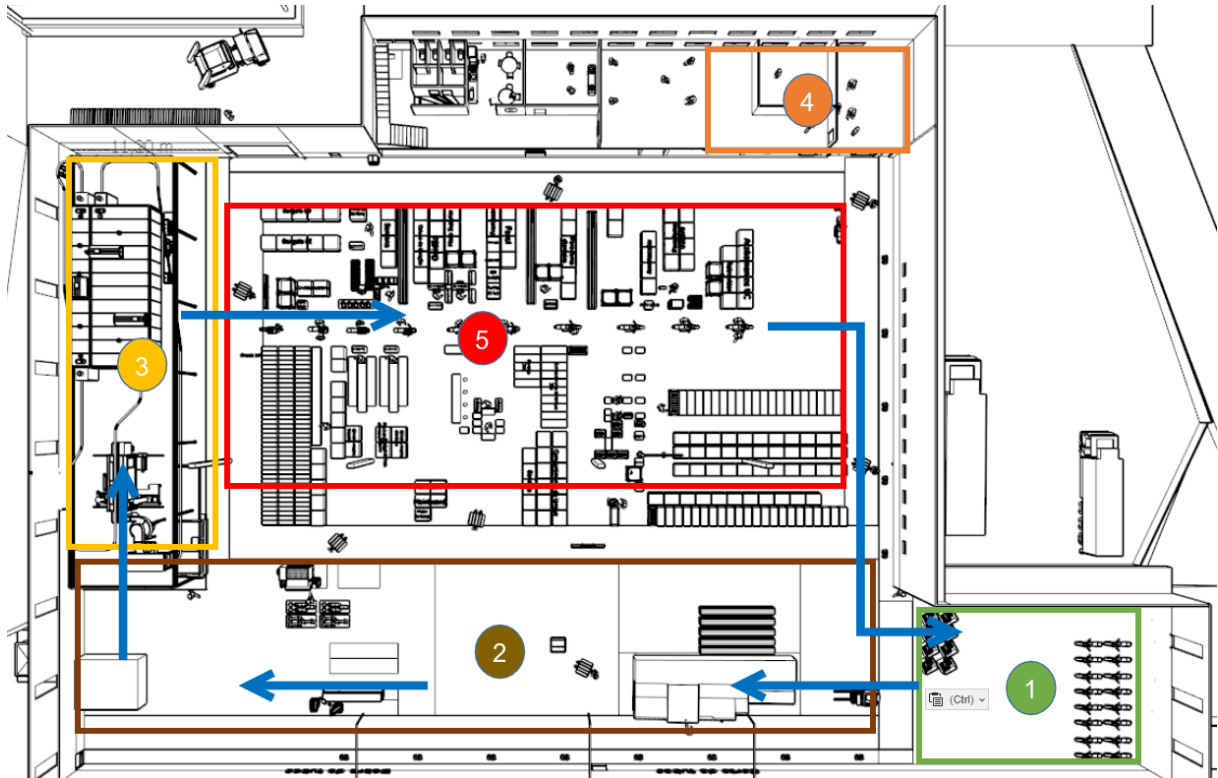


Fonte: Gerada pelo autor.

Os fluxogramas abaixo indicam a posição de cada área e a movimentação dos materiais entre as mesmas:

Os insumos chegam pela área de recebimento (1) e são encaminhados, após inspeção de recebimento, para a área de metalurgia (2), que são trabalhados e transportados para a área de pintura (em processo de aquisição) para serem movidos para a montagem final (5) e por fim, serem levados a área de expedição (1).

Figura 24 – Fluxo de movimentação de insumos.



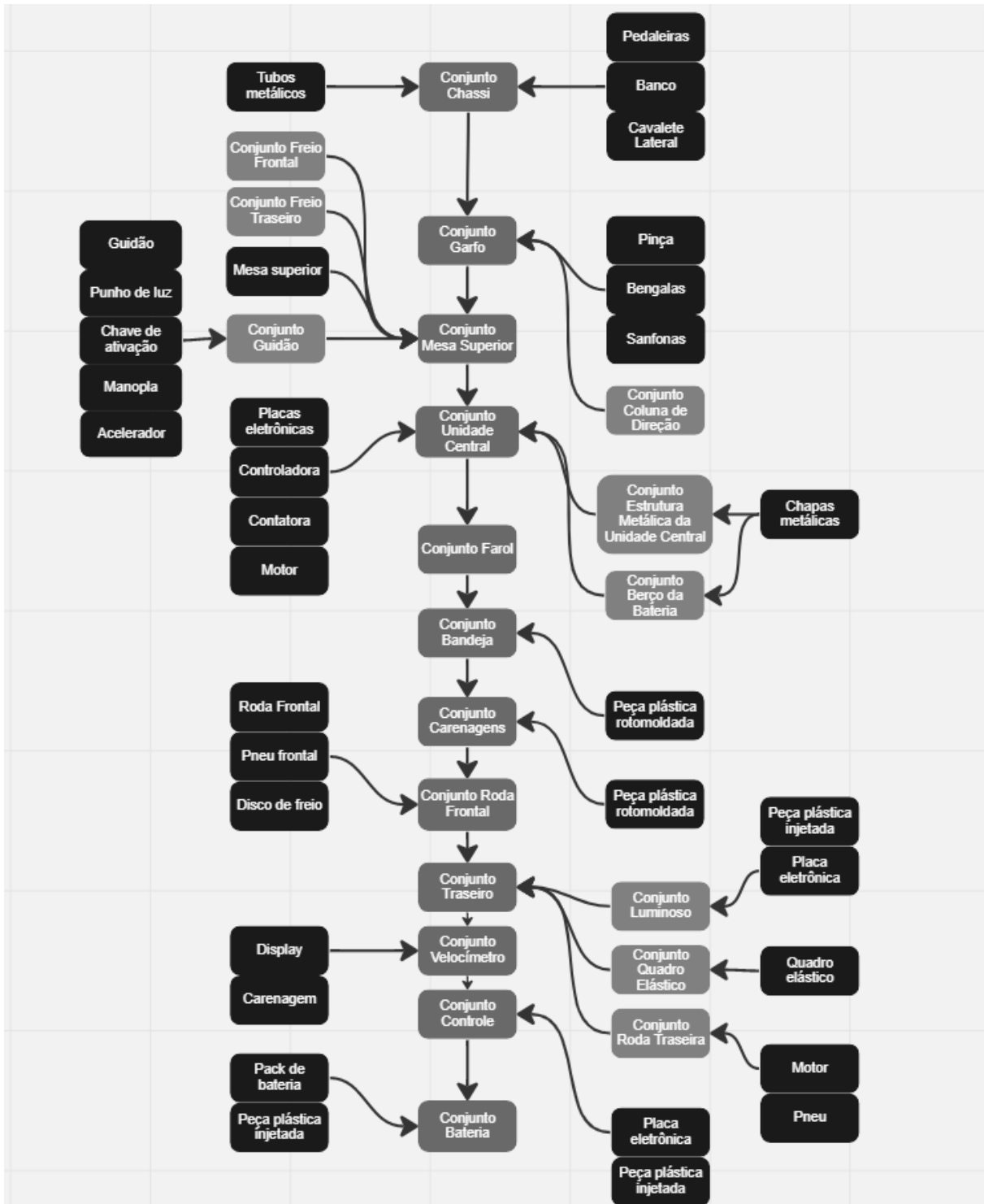
Fonte: Gerada pelo autor.

A montagem da motocicleta está representada na figura ao lado com a divisão dos dois retângulos: preto e verde. O espaço em preto representa a área destinada para as sub-montagens, ou seja, é o local que são feitos os conjuntos e que serão montados no espaço em verde da imagem, que está representando a montagem final.

O espaço em verde está enumerado de acordo com cada estação:

- 1ª estação: Conjunto Chassi
- 2ª estação: Conjunto Garfo
- 3ª estação: Conjunto Mesa Superior
- 4ª estação: Conjunto Unidade Central
- 5ª estação: Conjunto Farol
- 6ª estação: Conjunto Bandeja e Conjunto Carenagens
- 7ª estação: Conjunto Roda Frontal
- 8ª estação: Conjunto Traseiro

Figura 26 – Principais componentes e montagem da motocicleta Origem X.



Fonte: Principais componentes da motocicleta.

4 Concepção da Fábrica

4.1 Localização da unidade produtiva

Seguindo as etapas de decisão descritas por Neumann e Scalice (2015), uma das etapas para se realizar a implementação de uma planta fabril é a escolha da sua localização e da sua dimensão. A localização escolhida, como descrito na contextualização, está dentro da Zona Franca de Manaus, porém, é necessário definir dentro da Zona Franca, qual o melhor local. Para isso, para selecionar onde seria a melhor localização da fábrica, foi levado em consideração algumas particularidades da região:

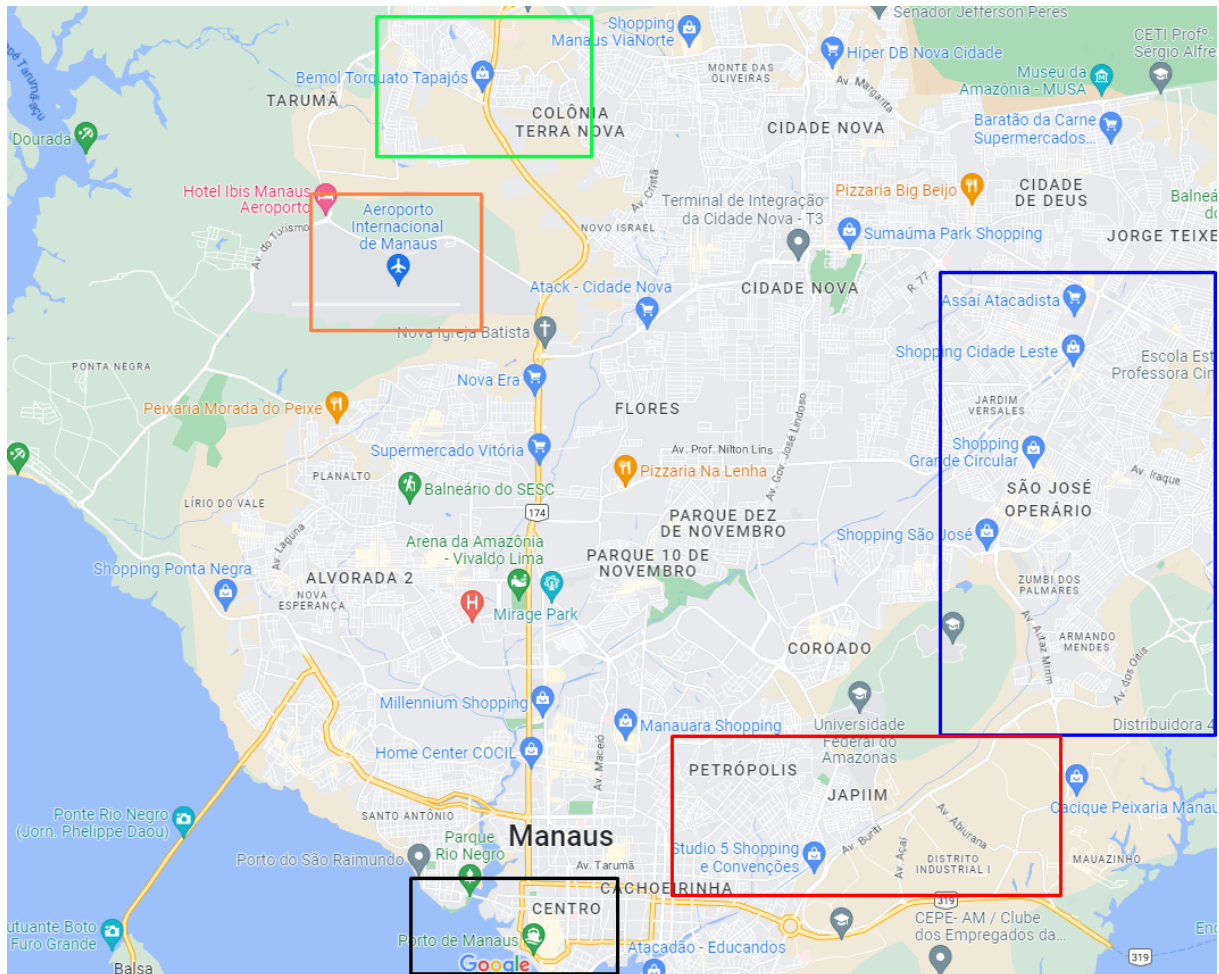
- A maioria dos insumos importados pesados chegam pelo porto, e normalmente é pelo porto de Chibatão, localizado ao sul de Manaus. Quanto mais perto do porto, menor a distância para que os insumos cheguem a fábrica e conseqüentemente, menor o frete.
- Na parte Noroeste de Manaus fica localizado o Aeroporto Internacional de Manaus Eduardo Gomes que é por onde chegam os outros insumos importados, porém mais leves.
- Ao sul e ao sudeste de Manaus, perto do porto, ficam os distritos industriais 1 e 2, que são as localidades com maior número de fábricas.
- Como a área residencial fica mais ao norte de Manaus, os operadores normalmente residem ao Norte, Noroeste e ao Nordeste de Manaus. Devido ao trânsito de Manaus ser bastante intenso, as rotas para as fábricas ao norte de Manaus são mais tranquilas visto que a maioria das rotas segue para o sul rumo ao distrito industrial 1 e 2.

O local escolhido dentro da Zona Franca, destacado de verde na figura 27, ficou perto do aeroporto (quadrado roxo), mais ao norte de Manaus. Os motivos para a escolha deste galpão estão relacionados a diversos fatores, aos quais destacam-se alguns fatores qualificadores:

- Rota para fábrica é contra o fluxo de movimentação de carros tanto na parte da manhã (início da jornada de trabalho) quanto no fim da tarde (fim do expediente), visto que grande parcela dos carros estão se movimentando em direção aos distritos industriais I e II, destacados nos quadrados vermelho e azul respectivamente, na figura 27 ou saindo do porto, destacado em preto na figura 27.
- Dimensão dentro do estimado nos cálculos que foram feitos previamente, relatados na seção "Dimensão da unidade produtiva".

- Estrutura física estava em ótimo estado, sendo seu primeiro aluguel. As informações sobre a infraestrutura podem ser acompanhadas na seção "Infraestrutura inicial da unidade produtiva".
- Condomínio promovendo uma boa segurança ao patrimônio, assim como a presença de ronda predial e portaria 24h.

Figura 27 – Localização da fábrica.



Fonte: Google Maps, 26 de agosto de 2022

4.2 Dimensão da unidade produtiva

A dimensão da fábrica foi escolhida a partir de cálculos feitos com base em um estudo de área relacionado com uma estimativa de produção de motocicletas ao longo dos anos. Esse estudo foi realizado em uma planilha no qual a fábrica foi dividida em áreas como Metalurgia, Montagem final e suas submontagens, Pintura e Área administrativa, e a partir delas foram dispostos dados das dimensões dos insumos e suas embalagens, máquinas, espaço de movimentação de peças, estoques e tudo mais o que foi previsto para estar dentro da fábrica.

Os dados das dimensões das áreas foram conectados a outros dados de produção de motocicletas como por exemplo a quantidade estimada de motocicletas, período de fabricação, quantidade de turnos de fabricação etc. Um dos dados de produção bastante importante para a estimativa da área é a quantidade de pedidos realizados para determinado insumo, pois a partir dele, é possível determinar uma fábrica mais enxuta e com mais pedidos realizados em um curto período ou uma fábrica com mais espaço e menos pedidos. Além disso, foi levado em consideração a origem de compra do insumo: para os insumos importados, os pedidos de compras possuem características diferentes e riscos diferentes quando em comparação a insumos que são fabricados internamente ou comprados nacionalmente. Todos esses e outros dados foram levados em consideração durante a estimativa de área da fábrica a ser alugada.

Compreende-se que a produção estimada de 50.000 unidades por turno por ano foi projetada com base nos altos níveis de tecnologia da fábrica e assim é observado que a área de fábrica da Origem é consideravelmente muito menor em relação aos outros fabricantes. As taxas de proporcionalidade entre área de fábrica e produção de motocicletas são discrepantes em comparação a outras fábricas e isso é devido a característica da Origem de ter pensado em todo o ciclo de vida de cada peça durante o seu desenvolvimento e de não ter herdado da indústria automobilística diversos processos fabris que estão ultrapassados.

Figura 28 – Estimativa de área de fábrica a ser alugada.

Inputs		Resultado	
Premissas gerais		Área necessária	
Capacidade anual de motos	50.000	Fabricação	Metalurgia 821,09
Capacidade anual de ETBs	5.000		Bateria 334,12
Dias trabalhados por ano	264		Linha de montagem 339,83
Quantidade de turnos para simulação	1		Montagem da Traseira 56,17
Motos por turno	189		Montagem do Guidão com Mesa superior 35,60
ETBs por turno	19		Montagem Garfo Dianteiro 51,30
Capacidade por centro de solda (motos/turno)	60		Roda Dianteira Montada 54,68
Estoque de saída de motos (dias)	2		Roda Traseira Montada 110,18
Estoque de saída de ETBs (dias)	3		Unidade Central 72,87
Estruturas de armazenamento			ETE Química 30,00
			Linha de pintura 300,00
			ETB 68,80
		Estoque	Drive-in 196,65
			Single Rack 265,65
			Estanteria 44,40
			Cantoneiras de tubos 108,50
			Pallets de chapas
			Estoque de Saída 938,86
		Outros	Deslocamento de empilhadeiras 400,00
			Área de recebimento e separação de materiais 100,00
			G&A 130,00
			Refeitório, vestiário e banheiros 100,00
			4.558,70
Informações de embalagem			
		Paleta padrão:	
Capacidade do paleta (kg)	2.000,00		
Altura do paleta (m)	1,00		
Profundidade do paleta (m):	1,20		
Largura do paleta (m):	1,00		
Volume do paleta padrão (m³)	1,20		

Fonte: Imagem gerada pelo autor.

Para dimensionar as áreas de cada parte da fábrica, foi necessário levantar algumas premissas e a partir delas, com base nas características de cada região, foi possível calcular o espaço necessário. Entre as premissas gerais, estão:

- Capacidade de produção anual desejada de motocicletas
- Quantidade de dias trabalhados no ano
- Quantidade de turnos de trabalho
- Quantidade de dias de estoque de produto pronto

Dentro de cada área de produção, foi necessário levantar algumas outras premissas mais específicas, entre elas:

- Capacidade de produção de cada máquina
- Altura máxima dos porta-paletes
- Dimensões padrões de paletes
- Dimensões dos insumos
- Decisões sobre a forma de armazenamento

Após a análise das premissas, foi realizado um levantamento sobre as formas de armazenamento dos insumos, dos produtos acabos e das peças em fabricação. Para isso, foi considerado o armazenamento de insumos em paletes, perto da linha de montagem, em prateleiras com caixas e em porta-paletes. Dentro da esfera dos porta-paletes, existem as características específicas de cada insumo para que cada um se adeque ao melhor modelo. Com base no livro "Manual de Logística: Supply Chain Management" de Paulo Fernando Fleury, foram analisados os seguintes modelos:

- Porta-paletes seletivo: é o tipo mais comum de porta-paletes e consiste em uma estrutura de colunas e vigas que permitem o armazenamento de paletes em diversos níveis. É utilizado em armazéns que têm grande variedade de produtos e grande rotatividade de estoque.
- Porta-paletes drive-in/drive-thru: esse tipo de porta-paletes permite o armazenamento de paletes em profundidade, ou seja, um palete é colocado atrás do outro. Pode ser utilizado em armazéns que têm grande volume de estoque de um mesmo produto, como em indústrias alimentícias e farmacêuticas.
- Porta-paletes dinâmico: esse tipo de porta-paletes permite o armazenamento de paletes em profundidade, mas a movimentação dos paletes é feita por gravidade. Ou seja, os paletes são colocados em uma extremidade do porta-paletes e movimentam-se até a outra extremidade por meio de roletes. É utilizado em armazéns que têm grande volume de estoque de um mesmo produto e alta rotatividade.

- Porta-paletes cantilever: esse tipo de porta-paletes é utilizado para armazenar produtos longos e volumosos, como tubos, vigas e perfis de aço. Consiste em uma estrutura de colunas e braços que permitem o armazenamento desses produtos de forma segura.
- Porta-paletes push-back: esse tipo de porta-paletes permite o armazenamento de paletes em profundidade e o acesso é feito por meio de uma única extremidade. A movimentação dos paletes é feita por meio de carrinhos que empurram os paletes para dentro do porta-paletes. É utilizado em armazéns que têm grande volume de estoque de um mesmo produto e alta rotatividade.

Dessa forma, o armazenamento dos insumos foi pensado considerando o tipo mais adequado de acordo com a função de cada porta-paletes. Após a classificação, foi calculada a dimensão dos armazenamentos de acordo com cada área para se chegar ao cálculo final.

4.3 Infraestrutura inicial da unidade produtiva

O galpão escolhido havia sido recém construído e era sua primeira locação. Ele possui mais de 4500m², possui estação de tratamento de esgoto, boa ventilação, infraestrutura elétrica de baixa tensão e hidráulica novas assim como o telhado. Outro ponto muito importante avaliado foi a análise do piso. O piso é do tipo industrial de alta resistência com capacidade para mais de 5 toneladas por metro quadrado, o que atendia os requisitos dos nossos insumos e máquinas.

Figura 29 – Imagem da fábrica recém alugada.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

A fábrica possuía somente um quadro de iluminação e a ligação elétrica entre as salas. Não havia nenhum quadro, subestação ou projeto de baixa e média tensão. Por conta disso, foi necessário criarmos um projeto elétrico para a construção da subestação. Foram levantados todos os dados das máquinas, cargas das áreas administrativas e de estimativa de operação da fábrica durante os próximos anos.

Por fim, uma empresa especializada foi contratada para implementar o projeto feito e acompanhar todos os processos burocráticos com a concessionária de energia local, a Amazonas Energia.

Figura 30 – Subestação de Energia da fábrica.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

4.4 Configuração da planta da indústria

A Figura 31 mostra o layout final resultante com a planta de construção mostrada na Figura abaixo.

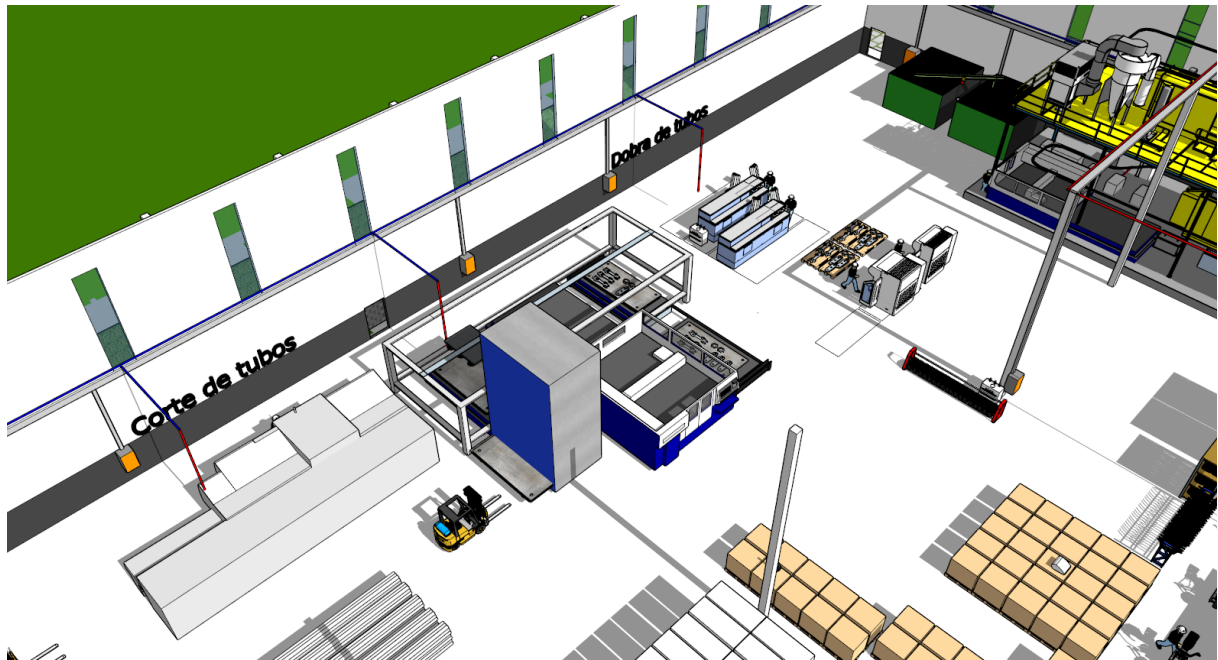
Figura 31 – Vista superior da fábrica - modelo final.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

Observa-se que uma das premissas adotadas durante a disposição dos maquinários é que no projeto a subestação de energia ficaria localizada ao lado sul do galpão, disposta também mais para o leste, e por isso, decidiu-se que na prática, além das máquinas seguirem o fluxo de corte, dobra e solda, elas ficariam posicionadas mais para a lateral direita da fábrica porque assim diminuiria os custos de cabos de energia em relação ao quadro geral de baixa tensão (QGBT) e em relação aos quadros de distribuição. A disposição final dos equipamentos na área de metalurgia pode ser vista na imagem abaixo.

Figura 32 – Área de metalurgia da fábrica.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

A configuração da planta está disposta seguindo a entrada pelas docas, os processos de fabricação dentro da Metalurgia, montagem dos conjuntos e por fim, a montagem final. Durante a apresentação dos processos abaixo, estão dispostos primeiro as imagens e o projeto de modelagem feito com o software Sketchup PRO e posteriormente as imagens daquilo que foi implementado na fábrica seguindo os níveis de decisões apresentados de acordo com Neumann e Scalice (2015) na figura 8.

Após a entrada dos insumos pelas docas, no início do processo produtivo, há a área de Metalurgia, como pode ser vista pela imagem 32 que contém os seguintes processos verticalizados dentro da fábrica:

4.5 Metalurgia

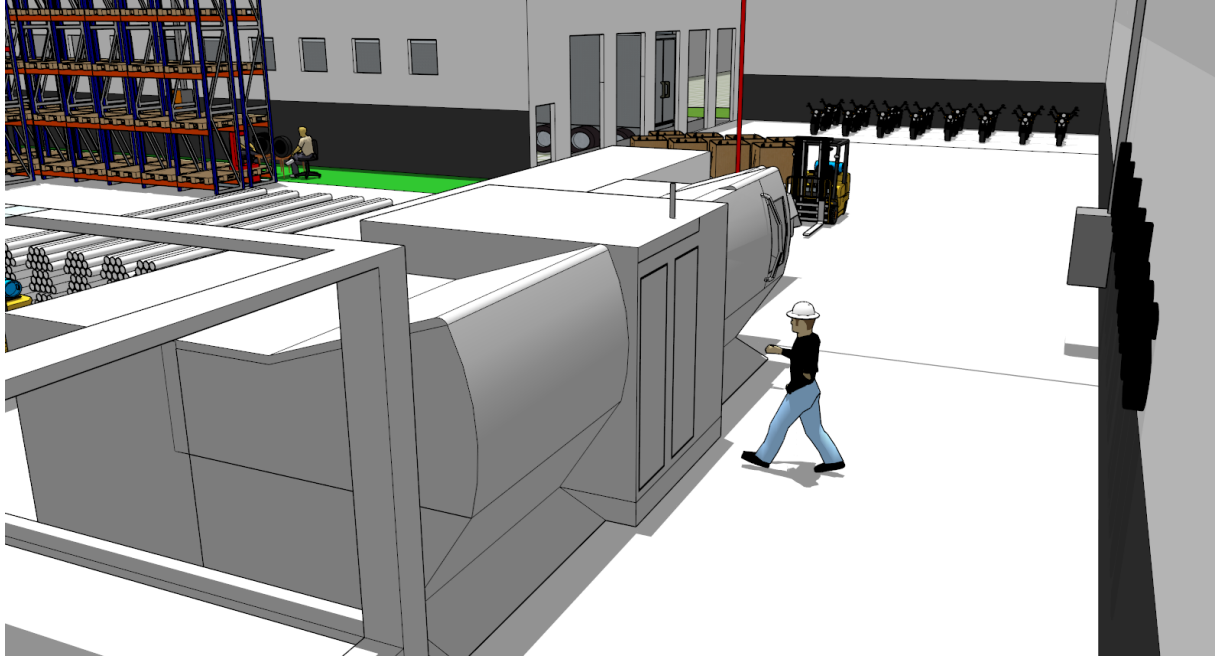
4.5.1 Corte de Tubos

Com base na estratégia de redução de movimentação de recursos dentro da fábrica, a cortadora de tubos ficou localizada próxima às docas. O racional se parte pelo fato de que a fábrica possui 5 docas, e estas ficam localizadas em uma das extremidades do galpão. Dessa forma, todos os insumos possuem apenas uma entrada, o que foi de certa forma, um norte para definir a localização de algumas máquinas, como por exemplo a cortadora de tubos.

Considerando que o comprimento padrão dos tubos metálicos é de 6 metros, ter que atravessá-los por toda a fábrica até chegar a cortadora de tubos seria um gasto de recurso de tempo, movimentação, humano e energético, além de ter que disponibilizar uma faixa

com largura de 6 metros até o ponto de estoque. Por conta disso, a cortadora de tubos ficou localizada próxima às docas assim como o próprio estoque de tubos.

Figura 33 – Localização da cortadora de tubos no projeto.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

O corte de tubos na fábrica é realizado com uma cortadora de tubos a laser para a fabricação de todas as peças metálicas com perfil cilíndrico da motocicleta. Este maquinário é de altíssima tecnologia, com movimentação de corte nos eixos X, Y e Z e atualmente é o único da Zona Franca de Manaus com carregamento automático. Além disso, possui detecção de costura do tubo, capacidade para produção em massa e alta precisão de posicionamento e repetitividade.

Dentro do conjunto de todas as peças fabricadas presentes na motocicleta, destacam-se os tubos do chassi, tubos do subchassi, tubos do quadro elástico e tubos do protetor de pernas.

Figura 34 – Máquina cortadora de tubos a laser.

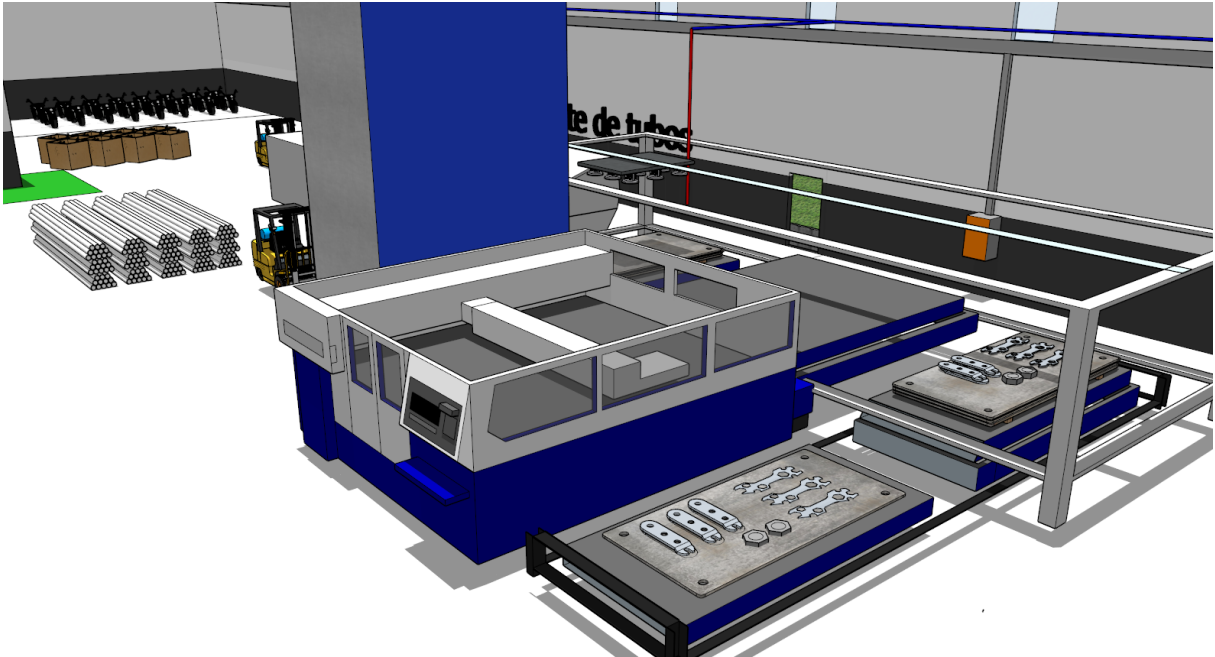


Fonte: Foto tirada da fábrica.

4.5.2 Corte de chapas

Assim como foi pensando em reduzir o número de movimentações e a distância de entrada até o estoque dos insumos mais pesados como, por exemplo os tubos, também foi pensado para as chapas, dessa forma, logo após a cortadora de tubos está presente a cortadora de chapas com armazenamento e carregamento automático.

Figura 35 – Localização da cortadora de chapas no projeto.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

A fábrica possui uma cortadora CNC de chapas a laser com um sistema de troca de mesas automático, com levantamento hidráulico de alta velocidade o que faz com que a produção seja extremamente rápida. Este maquinário faz com que a capacidade de produção da fábrica se torne elevada e flexível. Dessa forma, todas as chapas metálicas presentes na motocicleta são fabricadas internamente na fábrica, o que auxiliou ainda mais na verticalização dos processos de fabricação da fábrica.

Figura 36 – Máquina cortadora de chapas a laser.

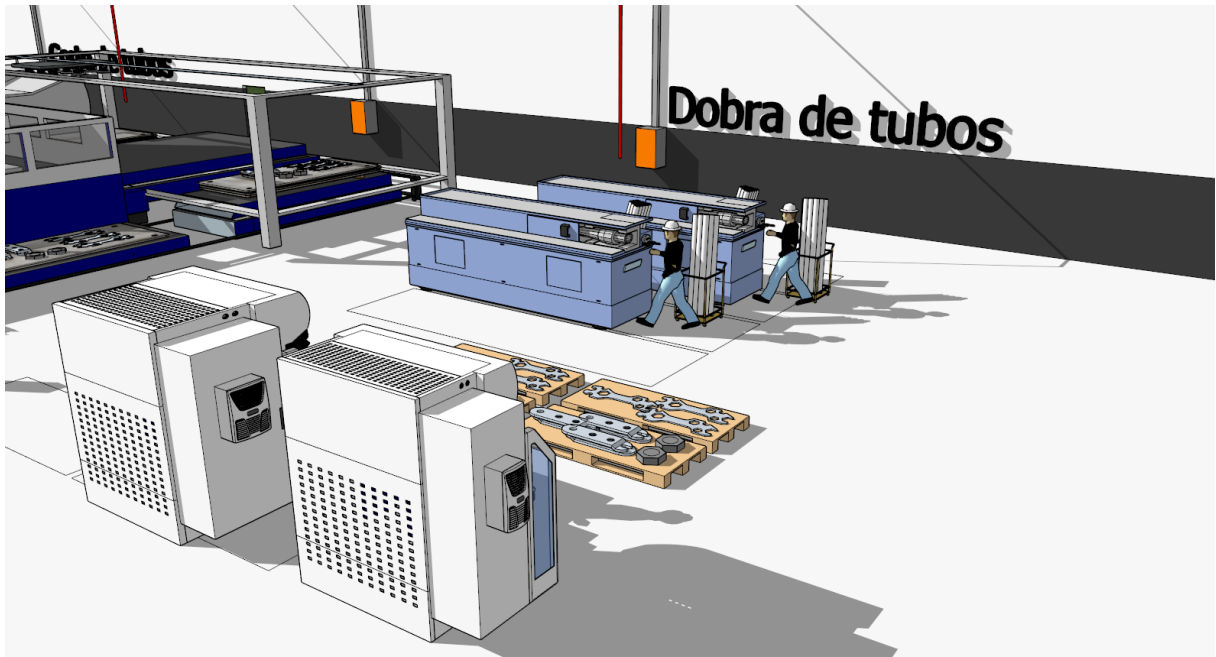


Fonte: Foto obtida da fábrica.

4.5.3 Dobragem de chapas e tubos

Após a cortadora de chapas, ficam localizadas as dobradeiras de chapas e as dobradeiras de tubos. Elas ficam próximas ao centro de solda e possuem um espaço entre elas para armazenagem de produtos em trabalho, chamado de WIP (work in progress). O espaço destinado é suficiente para a movimentação dos itens em trabalho e chegada das chapas e tubos cortados.

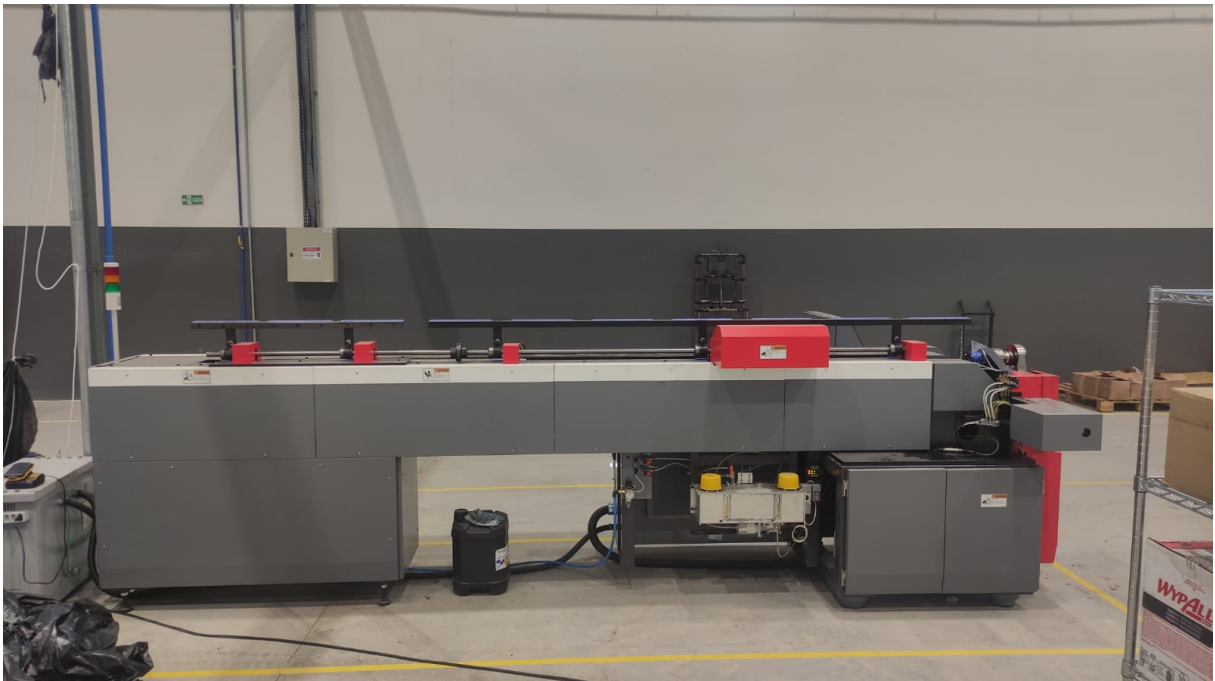
Figura 37 – Localização das dobradeiras de chapas no projeto.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

A dobra de tubos é realizada com uma dobradeira de tubos CNC japonesa e que atualmente dobra os principais tubos da motocicleta.

Figura 38 – Máquina dobradeira de tubos.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

Figura 39 – Máquina dobradeira de tubos operando.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

A dobra de chapas é realizada com uma dobradeira CNC de chapas metálicas que possui força de dobra de 80 toneladas, um sistema rápido de fixação de punções e 7 eixos controlados. Com este maquinário, a fábrica é capaz de dobrar todas as chapas metálicas utilizadas na motocicleta que possuem algum tipo de dobra.

Figura 40 – Máquina dobradeira de chapas.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

4.5.4 Soldagem

Ao final da linha de metalurgia, encontra-se o centro de solda, responsável por soldar o chassi e a balança com um braço robótico e os gabaritos necessários. Neste centro são soldados os tubos do chassi, os tubos da balança e as chapas metálicas presentes na motocicleta e que posteriormente vão para a linha de pintura.

4.5.4.1 Soldagem com solda MIG

Realizada de forma robotizada com a célula de soldagem ou manualmente com o operador e uma máquina de solda MIG. Para obter a maior precisão durante a soldagem do chassi, do quadro elástico e de outras partes metálicas, a estação possui um gabarito personalizado para o nosso produto.

Figura 41 – Máquina robotizada com célula de soldagem.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

4.5.4.2 Soldagem a laser

Realizada com a utilização de um maquinário de alta potência, com gerador de fibra ótica e consumo de energia muito menor comparando com outros tipos de máquinas de solda do mercado. Entre as peças fabricadas estão o berço metálico para acomodação da bateria e o suporte do farol são soldados com a utilização desse equipamento.

Figura 42 – Máquina de soldagem a laser.



Fonte: Foto obtida da fábrica.

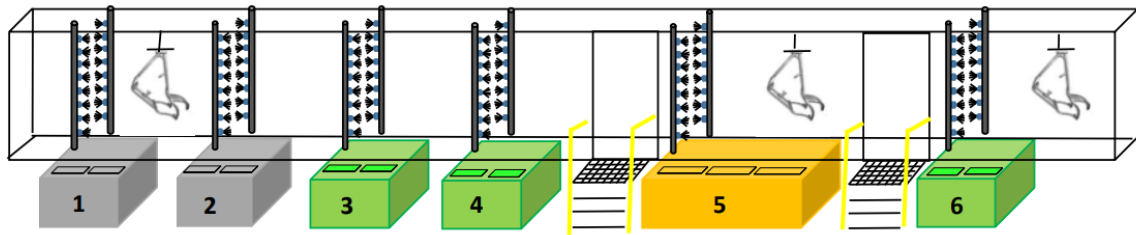
4.5.5 Pintura

O processo de pintura atualmente é realizado por prestadores de serviço externos à fábrica. Porém, há um projeto que será implementado ainda no ano de 2023 para que toda a pintura seja realizada internamente na fábrica. Após a saída das peças metálicas das etapas de dobra de chapas e soldagem, estas são posicionadas em ganchos presentes em carros de movimentação para serem movimentadas até a linha de pintura. No início da linha, os ganchos são posicionados no transportador aéreo para se dar início no processo de pintura.

No projeto a linha de pintura está localizada ao sul da fábrica de forma que a entrada das peças para pintura siga o fluxo de saída da área de soldagem e que saída das peças pintadas siga o fluxo da entrada da linha de montagem, de modo que se mantenha a estratégia de diminuição de movimentação de recursos e ao mesmo tempo siga um percurso constante e direto.

A estrutura projetada é composta de um transportador aéreo e que para aproveitamento de espaço, foi projetada para que as peças fossem movimentadas em dois pavimentos, sendo a primeira etapa direcionada para o pré-tratamento das peças, com estas passando por 6 estágios para desengraxar as peças, aplicar os produtos de tratamento e enxaguá-las. Um modelo dessa etapa pode ser vista na figura 43.

Figura 43 – Modelo de representação dos estágios de pré-tratamento.



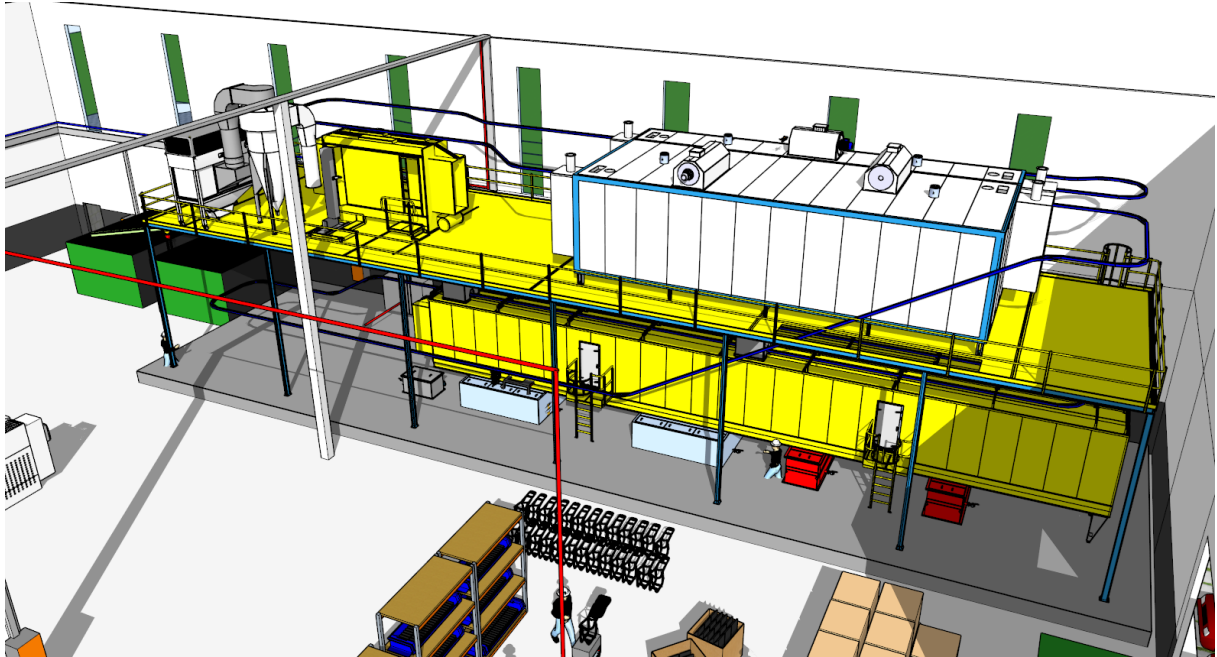
Fonte: Modelo representativo do autor.

No próximo andar, as peças passam por um processo de secagem e então adentram em uma estufa de pintura a pó do tipo ciclone para posteriormente passarem por um processo de cura dentro da estufa. A cabine do tipo ciclone utiliza a força centrífuga para separar as partículas de tinta e pó dos gases de exaustão antes de liberá-los no ambiente. O ar é girado em um ciclone, onde as partículas pesadas são separadas e coletadas em um recipiente, enquanto o ar limpo é liberado para o ambiente. Esse tipo de cabine de pintura é eficiente em remover a maioria das partículas de tinta a pó. Dessa forma, reduz drasticamente o desperdício assim como a produção de resíduos, aumentando a eficiência do processo. Entre outras, destaca-se as seguintes vantagens da pintura a pó:

- Cobertura uniforme: A pintura a pó é aplicada de forma uniforme, resultando em uma superfície lisa e sem manchas.
- Alta durabilidade: A pintura a pó é muito resistente a riscos, arranhões e desgaste, tornando-a ideal para peças que precisam suportar desgaste intenso.
- Economia de tempo: A pintura a pó é aplicada rapidamente e seca rapidamente, o que acelera o processo de produção e permite que as peças pintadas sejam imediatamente manuseadas.
- Baixo desperdício: A pintura a pó é aplicada por eletricidade, o que significa que não há desperdício de tinta como acontece com as técnicas de pulverização convencionais.
- Sem solventes: A pintura a pó não contém solventes voláteis, tornando-a mais segura e ecológica.
- Versatilidade: A pintura a pó pode ser aplicada em uma ampla variedade de superfícies, incluindo aço, alumínio, plástico e outros materiais.

Após estarem finalizadas, as peças são retiradas dos ganchos e levadas para a linha de montagem com a utilização de carrinhos de movimentação.

Figura 44 – Localização da linha de pré-tratamento e pintura.

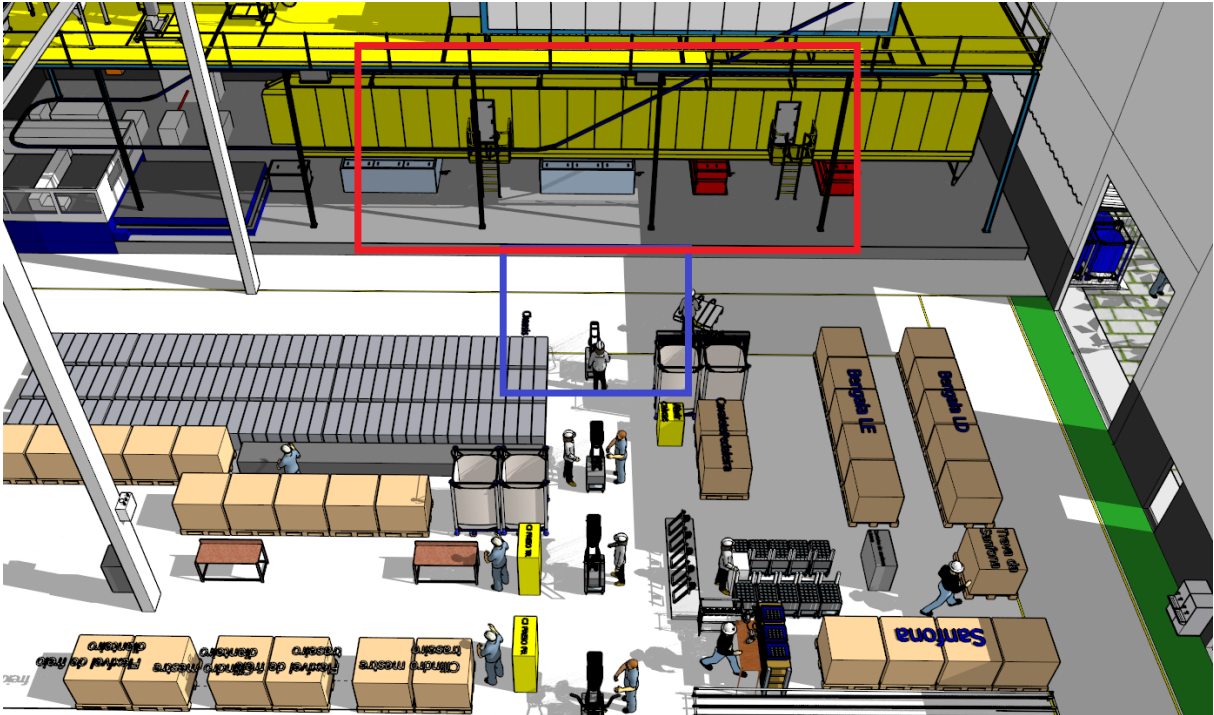


Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

4.6 Linha de Montagem e Submontagens

Como a área de metalurgia foi alocada no lado leste da fábrica, as outras áreas de produção deveriam ser destinadas ao estoque de insumos e à linha de montagem. A linha de montagem se inicia no ponto em que a pintura das peças é finalizada, dessa forma, a movimentação do chassi, peça mais pesada e volumosa da motocicleta, fica mais simples e com menor distância entre a sua origem - considerando como sendo a pintura (retângulo vermelho) e o destino - início da linha de montagem (retângulo azul).

Figura 45 – Indicação do início da linha de montagem.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

A estrutura da linha de montagem é formada basicamente por um tronco que recebe inicialmente o chassi soldado e pintado e com o avançar das estações, vão sendo instaladas as submontagens que são preparadas e estocadas nas proximidades laterais do tronco principal como pode ser vista na figura 45.

Figura 46 – Fluxo de montagem simplificado da motocicleta.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

As submontagens foram estruturadas com a utilização dos mesmos princípios aplicados na implementação de outras partes da fábrica e que estão presentes no lean manufacturing: foco na qualidade, no tempo e nos custos.

Como exemplo do disposto acima, as estruturas de movimentação e armazenamento de materiais e insumos dentro da linha de montagem e das submontagens foram feitas de tubos metálicos da empresa Lockpipe - são estruturas rígidas e ao mesmo tempo bastante flexíveis no quesito montagem, característica indispensável para sistemas lean. Essas estruturas são perfis tubulares metálicos compostos de conjuntos de conexões que juntos promovem a possibilidade da personalização se adequando aos desejos do implementador da fábrica e também possibilitando, por meio da facilidade de conexão, a melhoria contínua, também presente no sistema kaizen. Por fim, destaca-se a rapidez de implementação que permite passar da ideia à aplicação de forma fácil e rápida, o que foi grande importância para a fase de início da fábrica.

Dessa forma, todas as estruturas de armazenamento, de mesa de montagem, de carrinhos de movimentação e de outros equipamentos foram feitos com tais tubulações promovendo uma fábrica implementada com mais características de sistemas lean. Observa-se assim uma fábrica com foco na redução desperdícios como superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento e estoque desnecessário.

Figura 47 – Estrutura de armazenamento de carenagens da motocicleta.



Fonte: Imagem obtida na fábrica pelo autor.

Para que uma montagem completa da motocicleta pudesse ser realizada com período máximo de 7 minutos, o processo como um todo foi dividido em montagens de conjuntos

principais, classificados de acordo com a peça central de cada montagem:

- Chassi
- Conjunto Garfo
- Conjunto Mesa Superior
- Conjunto Unidade Central
- Conjunto Farol
- Conjunto Bandeja
- Conjunto Carenagens
- Conjunto Roda Frontal
- Conjunto Traseiro
- Conjunto Velocímetro
- Conjunto Controle
- Conjunto Bateria

Para chegar a essa divisão, foi levado em consideração diversos fatores, entre eles:

- Peças mais frágeis foram adicionadas por último com o objetivo de diminuir a probabilidade em danificá-las.
- Peças que utilizam as mesmas ferramentas foram preferencialmente colocadas em conjunto facilitando a montagem e utilizando do benefício de não precisar trocar de ferramenta durante o processo.
- Peças que precisam de mais espaço para sua instalação ou que ficam restritos ao final da montagem foram colocados no início, como por exemplo, o protetor de pernas.
- Peças como o banco, pedaleira e cavalete lateral, foram colocados no início da montagem pois precisam de uma movimentação do chassi durante a instalação. Instá-los ao fim da montagem seria mais complicado por já ter outras peças envolvidas no processo.
- Peças que necessitam de acesso por toda a motocicleta, como a passagem do tubo flexível do freio traseiro, foram selecionadas para serem colocadas nas etapas intermediárias.
- Montagens com mais de 1 de minuto de duração não foram colocadas na mesma etapa.

- As posições de montagem também foram influenciadas pelo estoque dos insumos. Como exemplo a este tópico, tem-se o conjunto traseiro e o conjunto roda frontal que foram posicionados perto da entrada das docas devido a diminuição de movimentação dos insumos e por conta do volume de estoque ocupado.

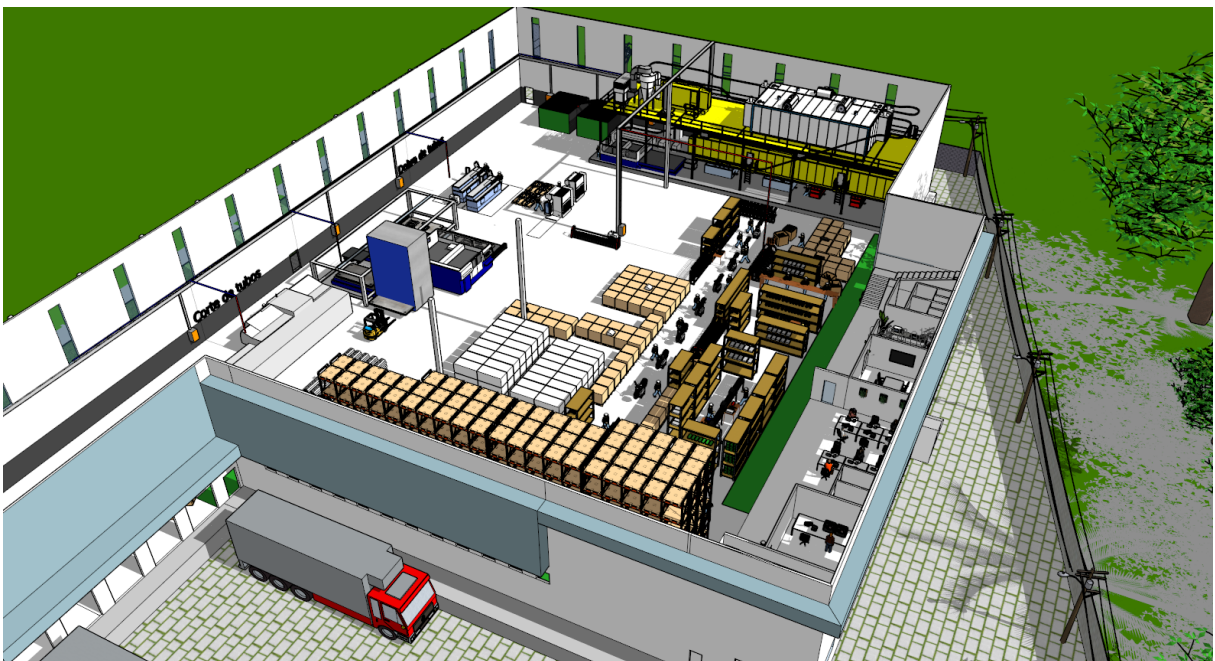
Dessa forma, foram consideradas as características das peças, as ferramentas utilizadas, posições dos insumos, tempos de montagens e outros fatores para se chegar à configuração final das etapas. Essas informações são de suma importância pois também seriam utilizadas como base caso a montagem fosse de um outro tipo de produto. Nesse projeto não foi descrito como foi realizada cada submontagem e nem as ferramentas utilizadas nesses processos.

5 Resultados

A motocicleta Origem X foi desenvolvida para que pudesse ser facilmente montada, visto que complexidades exarcebadas durante o processo de montagem aumentam o tempo de montagem, elevam os custos de ferramentaria e encarecem o produto como um todo. Seu projeto foi pensado nos processos produtivos de cada peça, desde o menor dos conectores até o chassi completo. A motocicleta Origem X é montada seguindo a linha de produção tradicional fordista com uma esteira rolante que movimenta o produto enquanto os operadores vão montando suas peças e submontagens com o caminhar da esteira.

O Layout da fábrica como um todo foi determinado seguindo a estratégia de diminuição de movimentação de recursos. Essa é uma estratégia que visa, baseado tanto nos modelos teóricos quanto na experiência fabril, reduzir o tempo gasto durante a movimentação de recursos dentro da fábrica. Além disso, levou-se em consideração alguns requisitos físicos do produto, dos insumos, da infraestrutura do galpão e das máquinas para se chegar à configuração final.

Figura 48 – Vista panorâmica da fábrica.



Fonte: Imagem gerada pelo autor com a utilização de software de modelagem 3D.

5.1 Montagem Final

No dia 17 de dezembro foi montada a primeira motocicleta elétrica desenvolvida e fabricada nacionalmente. Essa foi a primeira de um grande lote de produção que será

fabricado em 2023. Para que essa motocicleta fosse produzida, foi necessário:

- Adquirir o espaço físico e adequá-lo para a produção das motocicletas. Aqui se incluem todas as implementações de infraestrutura, compra de móveis e adequações gerais.
- Obter todas as permissões, licenças e laudos governamentais necessários.
- Entrevistar, contratar e treinar todos os colaboradores.
- Comprar, receber e instalar todas as máquinas e equipamentos que foram utilizados para a montagem da motocicleta.
- Configurar o layout da fábrica com base no fluxo de movimentação de insumos, produtos e pessoas.

Figura 49 – Primeira motocicleta elétrica desenvolvida e fabricada nacionalmente.



Fonte: Imagem tirada pelo autor.

5.2 Análise e simulações futuras

Todos os processos de montagem estão mapeados e documentados, porém, ainda não foi possível iniciar as simulações para balanceamento da linha de montagem devido ao fato de que durante a primeira montagem da motocicleta, foram encontrados diversos detalhes que inviabilizaram a contagem do tempo de montagem de cada estação. Tais detalhes eram separados para uma primeira montagem e foram resolvidos de forma pontual, mas ainda influenciaram no tempo de contagem de montagem dos conjuntos como um todo. Além disso, espera-se que com a prática habitual de montagem dos operadores, os tempos venham a diminuir consideravelmente e assim possa-se calcular os tempos de ciclos e realizar o balanceamento com a utilização de softwares especializados e/ou com divisões simples de tempos e estações.

De toda forma, para que o trabalho ficasse ainda mais completo, foi projetado no software Arena - Paragon da empresa Rockwell Automation - o software ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados - uma pré-simulação dos processos de montagem presentes na motocicleta. Dessa forma, assim que os tempos forem calculados, basta que estes sejam dispostos no software para que os relatórios sejam emitidos com dados de utilização de recursos, tempo de ciclo de montagem, possibilidade de mudanças de estações e informações relevantes para que a produção fique ainda mais eficiente.

Dentre os projetos futuros, está o de simular a configuração projetada da fábrica no software Flexsim. Este é um software de simulação de sistemas que permite aos usuários modelar, simular e analisar diferentes tipos de sistemas, incluindo fábricas, linhas de produção, armazéns e sistemas logísticos. Ele é baseado em modelos 3D, o que permite uma representação visual do sistema e pode ajudar a identificar problemas e oportunidades de melhoria.

A utilização do Flexsim em uma fábrica pode proporcionar diversos benefícios para aumentar a eficiência. Por exemplo, a simulação pode ajudar a identificar gargalos de produção, que são pontos de restrição que impedem que a fábrica alcance sua capacidade máxima. Isso pode permitir que as equipes de produção façam ajustes para eliminar esses gargalos e aumentar a capacidade da fábrica. Além disso, o Flexsim também pode ajudar a identificar problemas de layout de fábrica, como fluxos de trabalho desnecessários ou longas distâncias entre estações de trabalho, e proporcionar soluções para corrigi-los. Isso pode levar a uma fábrica mais eficiente, com menos movimentos desnecessários de trabalhadores e menos tempo gasto em deslocamentos. Também pode ajudar a planejar a capacidade futura, permitindo aos usuários testar diferentes cenários de produção e ver como a fábrica se sairia com diferentes níveis de demanda. Isso pode permitir que a equipe planeje melhor para o futuro e evite problemas de capacidade, como falta de capacidade ou sobrecapacidade.

Em resumo, a simulação com o software Flexsim pode proporcionar uma visão valiosa sobre como a fábrica opera e identificar problemas e oportunidades para melhorar a eficiência. Isso pode levar a aumentos significativos na capacidade, redução de custos e melhoria na qualidade do produto final.

6 Conclusões

Concluindo, a implantação de uma fábrica de motocicletas elétricas na Zona Franca de Manaus é uma excelente oportunidade para o desenvolvimento econômico e tecnológico da região. O trabalho realizado neste Trabalho de Graduação mostrou que a escolha do galpão, a seleção das ferramentas, a seleção e compra das máquinas, a análise do mercado e a configuração final do layout foram fundamentais para garantir a eficiência e a qualidade do processo de produção. Além disso, destaca-se que a configuração do layout da fábrica foi cuidadosamente planejada para garantir a melhor eficiência e a segurança dos trabalhadores.

A fábrica foi projetada para que o produto pudesse ser fabricado de forma robusto, durável e inteligente, oferecendo a melhor solução para que trabalha sobre duas rodas. Este projeto é apenas o início de uma mudança completa sobre como fazer negócio na indústria automotiva. A fábrica desenvolvida está entre as fábricas mais modernas do mundo para produção de motocicletas elétricas. Com as novas técnicas de fabricação e processamento dos materiais, peças empregadas nos produtos, alto grau de produtividade, precisão e qualidade, a fábrica é um resumo de uma grande mudança na produção em larga escala de motocicletas a nível nacional. Essas qualidades podem ser percebidas em algumas características fundamentais:

- No emprego de maquinário produtivo de alta tecnologia. São utilizadas tecnologias de processamento a laser, robotização e automação de forma extensiva. Grande parte dos equipamentos utilizados na fábrica estão entre os primeiros ou únicos do tipo na Zona Franca, e no Brasil.
- Na simplicidade e organização dos processos e do espaço produtivo.
- Na estratégia de movimentação de recursos
- Na configuração do layout e na disposição das estações.
- No alto nível de verticalização visto que atualmente mais de 90 por cento dos insumos são nacionais e mais de 40 por cento são fabricados dentro da própria fábrica.
- Forte política de redução e controle sobre as emissões e geração de resíduos no processo.

Este trabalho é a consolidação de um conjunto de esforços, estudos e projetos em diversas áreas e que deverá a partir de agora, ser atualizado com as novas pesquisas, novos estudos e principalmente com as constantes atualizações de tecnologias para que a fábrica se desenvolva ainda mais.

Em resumo, a implantação de uma fábrica de motocicletas elétricas na Zona Franca de Manaus é uma grande oportunidade para o crescimento econômico e tecnológico da região, e esperamos que este estudo possa ser útil para as próximas pesquisas e atividades práticas de desenvolvimento nacional.

7 Referências

AUTOMOTIVE GARAGE. Inside the Yamaha Motorcycle Factory [Video]. 2022. 1 vídeo (14 min. e 45 seg.). YouTube, 31 de março de 2022. Disponível em: [<https://www.youtube.com/watch?v=n-qxKsKmwS8>]. Acesso em: 07 de agosto de 2022.

ALPHA TECH. How Harley Davidson Motorcycle Are Made Incredible Factory Production With Modern Machines [Video]. 2021. 1 vídeo (10 min. e 25 seg.) YouTube, 11 de setembro de 2021. Disponível em: [<https://www.youtube.com/watch?v=KE7gd0yHiyE>] Acesso em: 04 de janeiro de 2023.

HOW IT'S MADE. How it's Made: Motorcycles [Video]. 2021. 1 vídeo (4 min. e 20 seg.). YouTube, 08 de outubro de 2021. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Nt0EaL_3KpI]. Acesso em: 02 junho 2022.

WELT DOCUMENTARY. BMW Motorcycles - Worlds Biggest Motorbike Factory | Full Documentary [Video]. 2020. 1 vídeo (47 min. e 36 seg.). YouTube, 21 de janeiro de 2020. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=yROGg3_vHBc]. Acesso em: 10 outubro 2022.

HONDA POWER EQUIPMENT. Honda Motorcycle Assembly Line [Video]. YouTube, 06 de agosto de 2019. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=npCc_8cHF4g] Acesso em: 21 de julho de 2022.

SPREX JAPAN. (Moto Honda da Amazonia Ltda. Fabrica de Manaus) [Video]. YouTube, 19 de janeiro de 2011. Disponível em: [<https://www.youtube.com/watch?v=eqt3ivJFeBM&t=3281s>]. Acesso em: 13 de novembro de 2021.

MECHTECH JAYKAY. Hero plant Assembly line HF Deluxe. How motorcycle made [Video]. YouTube, 13 de outubro de 2018. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=4QKB4xsF1_E&t=47s]. Acesso em: 02 março de 2022.

LIKER, J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw Hill Professional, 2004.

IMAI, M. Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. McGraw-Hill, 1986.

RAMIREZ, R. The Lean Manufacturing Handbook. Productivity Press, 2008.

ERNST & YOUNG. A Fábrica do Futuro. 2011.

DUGGAN, K.J. The Lean Plant: Layouts that Work. 2002.

HOPP, W.J.; SPEARMAN, M.L. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management. 2008.

NEUMANN, C.; COVASCS, R. Projeto de fábrica e layout. 2015.

LIKER, J. The Toyota Way to Lean Leadership. 2014.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 2003.

ANDERSON, D.J. Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business. 2010.

AKERS, P. The Lean Manufacturing Pocket Handbook. 2003.

GEORGE, M.O. The Lean Six Sigma Guide to Doing More With Less. 2010.

JONES ,D.T.; ROOS, D.; WOMACK, J.P. A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

RIES, E. The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses. Crown Publishing Group, 2011.

DENNIS, P. Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System. Productivity Press, 2005.

GRABAN, M. The New Lean Office: Creating a Culture of Continuous Improvement. Productivity Press, 2007.

BALLE, M. The Lean Manager: A Novel of Lean Transformation. Productivity Press, 2011.

BYRNE, A. O Poder da Produção Lean. 2007.

SPERLING, D., et al. Electrifying Mobility: A Guide to the Future of Transportation Energy. MIT Press, 2019.

ORIGEM. Página principal [Página na Internet]. 2022. Disponível em: <http://www.origem.xyz>. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.