

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

MATHEUS DOS SANTOS

ANÁLISE E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DE DESPERDÍCIOS NO PROCESSO DE
MONTAGEM DE UMA TURBINA FRANCIS

JARAGUÁ DO SUL

Junho de 2022

MATHEUS DOS SANTOS

ANÁLISE E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DE DESPERDÍCIOS NO PROCESSO DE
MONTAGEM DE UMA TURBINA FRANCIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Edson Sidnei Maciel Teixeira, Dr.

JARAGUÁ DO SUL

Junho de 2022

Santos, Matheus dos

Análise e proposta de mitigação de desperdícios no processo de montagem de uma turbina Francis / Matheus dos Santos ; orientação de Edson Sidnei Maciel Teixeira.
Jaraguá do Sul, SC, 2022.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul - Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .
Inclui Referências.

1. Manufatura enxuta. 2. Desperdícios de produção.
3. Melhoria contínua. I. Teixeira, Edson Sidnei Maciel.
II. Instituto Federal de Santa Catarina. . III. Título.

MATHEUS DOS SANTOS

ANÁLISE E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DE DESPERDÍCIOS NO PROCESSO DE
MONTAGEM DE UMA TURBINA FRANCIS

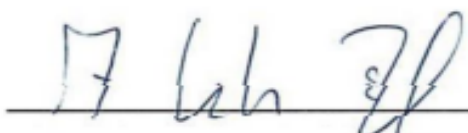
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.

Jaraguá do Sul, 22 de junho de 2022



Prof. Edson Sidnei Maciel Teixeira, Doutor.
Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Alexandre Zammar, Mestre.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Josué Vogel, Especialista.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo mapear todos os desperdícios relacionados ao processo de montagem de uma turbina Francis em uma indústria do ramo metal mecânico, que atua no setor de geração de energia hídrica. Para isso, foi realizado o acompanhamento de todos os processos realizados pelo colaborador responsável, anotando detalhadamente todas as durações de cada operação, com o cuidado de registrar todas as paradas nas atividades. Com o mapeamento concluído, as atividades registradas foram organizadas de maneira a separar as atividades que agregam valor ao produto das que não agregam, identificando suas durações, subgrupo e valores em dinheiro. A partir disso foi realizada a análise gráfica desses dados para evidenciar os principais problemas na montagem deste produto. Foi-se obtido na análise o valor de 49% de atividades que não agregam valor no total do tempo de produção, identificando três desperdícios produtivos que representam 32% das atividades sem valor agregado. Com relação às atividades que não agregam valor ao produto, mas que não se enquadram nos desperdícios produtivos, as que ocupam maior quantidade de tempo de produção foram a organização do posto de trabalho e a preparação de materiais para a montagem. Com base nisso, foram desenvolvidos três planos de ação, um para cada um dos desperdícios produtivos, que se implantados podem reduzir o tempo desperdiçado em 8,98%, com uma redução de R\$ 795,15 por ano. Porém também foram investigadas as causas raízes dos outros desperdícios e comentadas possíveis soluções para facilitar processos futuros de eliminação dos mesmos.

Palavras-Chave: Manufatura enxuta; Desperdícios de produção; Melhoria contínua;

ABSTRACT

This coursework aims to map all the wastes related a Francis's turbine mounting process at a metalworking company, which acts in the hydropower generation sector. For that, it was realized the attendance of all processes realized by the responsible collaborator, noting in detail, every operation duration, caring of register all activities stops. With the mapping completed, the activities were organized in order to separate the activities which add value to the product by the ones that don't, identifying your durations, subgroups and money values. From there, were realized the graphic analyses of this data, to evidence the main problem in product montage. It was obtained in the analyses the value of 49% by activities which do not add value in total production time, identifying three productive wastes that represent 32% by the activities with no value added. In relation to activities that do not add value to the product, but do not fit in productive wastes, the ones that occupy more quantity of time was workstation organization and the materials preparation for the montage. Based on this, was developed three actions plans, one for each productive wastes, in which implanted can reduce the waste time in 8,98%, a reduction of R\$ 795,15 by year. However, it also investigated the root causes of other wastes and commented on possible solutions to facilitate future processes of elimination.

Keywords: Lean manufacturing; Production waste; continuous improvement

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estrutura do Sistema de manufatura enxuta	17
Figura 2 Fundamentos da manufatura enxuta	18
Figura 3 Proporção de muda com o agregador de valor	19
Figura 4 Processo de eliminação de desperdícios para redução de custos	23
Figura 5 Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica	26
Figura 6 Características construtivas de turbinas hidráulicas: (a) turbina Pelton, (b) turbina Francis e (c) turbina Kaplan.	27
Figura 7 Turbina Pelton (Exterior)	28
Figura 8 Turbina Pelton (interior)	29
Figura 9 Rotor Pelton	29
Figura 10 Turbina Kaplan Bulbo	30
Figura 11 Rotor Kaplan	30
Figura 12 Turbina Francis	32
Figura 13 Rotor Francis	32
Figura 14 Layout da seção estudada	35
Figura 15 Fluxo de produção na seção de montagem de turbinas	36
Figura 16 Caixa espiral posicionada no posto para montagem	37
Figura 17 Tampas posicionadas para a montagem	37
Figura 18 Mancal	38
Figura 19 Prensagem da bucha no mancal	38
Figura 20 Calço de bronze	39
Figura 21 interface de medição para ajuste dos bronzes	39
Figura 22 tampa do lado oposto à regulagem montada na caixa espiral	40
Figura 23 Sapatas de deslize fixadas	41
Figura 24 Tampa do lado da regulagem e anel de regulagem montados	41
Figura 25 Braço de medição tridimensional	42
Figura 26 Furação para pinagem da tampa	43
Figura 27 Conjunto de regulagem da turbina	44
Figura 28 Cilindro hidráulico acoplado no anel de regulagem	44
Figura 29 Análise de Pareto das atividades que não agregam valor	51
Figura 30 Subgrupos de atividades que não agregam valor	55
Figura 31 Proporção de atividades que não agregam valor	55
Figura 32 Plano de ação para utilização dos calços de nivelamento na tampa do lado da regulagem	57
Figura 33 Plano de ação para chegada da caixa espiral em posição de montagem	58
Figura 34 Plano de ação para chegada da caixa espiral em posição de montagem	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Todas as atividades realizadas na montagem do produto	39
Tabela 2 Atividades que não agregam valor ao produto	44
Tabela 3 Análise de Pareto	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NVAA - not value activity added (Atividade que não agrega valor ao produto)

VAA - Value activity added (Atividade que agrega valor ao produto)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 Evolução do desenvolvimento industrial e sistemas de produção	12
2.2 O sistema de manufatura enxuta	14
2.2.1 Movimento	18
2.2.2 Espera	19
2.2.3 Transporte	19
2.2.4 Correção	20
2.2.5 Excesso de processamento	20
2.2.6 Estoque	20
2.2.7 Excesso de produção	21
2.2.8 Conhecimento sem ligação	22
2.3 Estudos de redução de desperdícios	22
2.4 Turbinas Hidráulicas	24
2.4.1 Turbina Pelton	26
2.4.2 Turbina Kaplan	28
3 DESENVOLVIMENTO	32
3.1 Metodologia	32
3.2 Definição do setor estudado	34
3.2.1 Processo de montagem de uma turbina Francis	35
3.3 Coleta e classificação dos dados	44
3.4 Construção a análise dos gráficos	47
3.5 Mitigação dos desperdícios	55
3.5.1 Causas dos desperdícios relacionado à organização do posto de trabalho	57
3.5.2 Causas da necessidade de retorquear com trava química componentes de fixação	58
3.5.3 Causas da necessidade de ajuste no fechamento das palhetas	58
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61

1 INTRODUÇÃO

Segundo Jr e Reis (2016), no atual cenário em que nos encontramos, frente a diversos problemas ambientais como o aquecimento global, desmatamento e derretimento das calotas polares, a busca pela utilização de energias limpas e renováveis é um dos tópicos mais populares e debatidos, visando-se passar de uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis para uma predominantemente renovável.

Dentre as formas de energias renováveis encontra-se a geração de energia por meio da utilização da força hídrica, principalmente no Brasil, onde a água é um recurso que se encontra em abundância. Segundo Reis (2017), a geração da energia hídrica se dá pela ação de uma máquina chamada turbina hidráulica, cuja função é direcionar um fluxo de água em direção a um componente conhecido como rotor, que por sua vez, está acoplado a um gerador, o qual irá fornecer a energia elétrica.

Para elaboração do projeto de implantação de uma turbina Francis em uma usina são analisados diversos parâmetros relacionados ao local de instalação, necessidades e desejos dos clientes, porte da usina, entre outros (REIS, 2017). Portanto, para uma empresa que queira se inserir no mercado de fabricação desse modelo de máquina, faz-se necessário uma estrutura de montagem que suporte diversos modelos e tamanhos de turbinas, devendo esta ser baseada no sistema de manufatura enxuta para melhor aproveitamento dos recursos. É inviável uma linha de produção padronizada para este tipo de produto, visto que, é preciso montar-se diversos modelos diferentes e específicos, não havendo possibilidade de criação de um estoque.

O sistema de manufatura enxuta, segundo Dennis (2011), prega o conceito de fazer mais com menos, ou seja, aproveitar ao máximo todos os recursos disponíveis para se obter a melhor produtividade possível, buscando sempre um processo de melhoria contínua e entregar ao cliente produtos com uma qualidade perfeita. Para promover esse processo de melhoria contínua, nesse sistema, desperdícios não são tolerados, buscando-se sempre identificá-los e promover sua erradicação.

Portanto, para se ter o melhor aproveitamento possível no processo de montagem de turbinas Francis é preciso identificar onde se encontram estes desperdícios, descobrir quais as suas possíveis causas, e elaborar planos de ação a

fim de erradicá-los ou amenizá-los.

Este trabalho, tem por objetivo analisar o processo de montagem de uma turbina Francis a fim de identificar todas as atividades que não agregam valor ao produto, encontrando desperdícios inerentes ao processo e buscando isolar suas causas raízes. Desta forma, ficarão explicitadas quais operações estão causando os maiores desperdícios para a empresa e também ficará claro onde e como deve-se agir para eliminar o máximo possível de perdas durante o processo, obtendo-se mais ganhos e estimulando o processo de melhoria contínua.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

- Identificar desperdícios encontrados dentro do processo de montagem de um produto e propiciar a redução dos mesmos

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir o setor e o produto a ser estudado;
- Mapear todas as operações envolvidas no processo de montagem do produto em questão;
- Construir e analisar os gráficos;
- Elaborar ações mitigadoras;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Evolução do desenvolvimento industrial e sistemas de produção

Segundo Groover (2017), a palavra manufatura deriva das palavras latinas manus (mão) e factus (fazer), tendo o sentido de “feito à mão”, descrevendo literalmente como eram realizados os processos de fabricação décadas atrás. Os métodos de organização de pessoas e recursos, de maneira a tornar a produção mais eficiente são chamados de sistemas de manufatura. Há diversos eventos históricos responsáveis pelo seu desenvolvimento, como o princípio da divisão do trabalho e a primeira revolução industrial.

Groover (2017) diz também que, no século XIII foi identificado que dividindo o trabalho total em tarefas e especializando trabalhadores individuais para cada uma delas haveria melhora na produtividade. No mesmo século ocorreu a chamada primeira revolução industrial que alterou a economia, antes baseada na agricultura e no artesanato, para a base em indústria e manufatura. Durante a primeira revolução industrial, surgiram diversas invenções que revolucionaram a manufatura, tais como a máquina a vapor, as máquinas-ferramenta, o tear mecânico e o sistema de produção, que foi uma forma nova de organizar um número considerável de trabalhadores de produção com base na divisão de trabalho.

Outro conceito importante desenvolvido nesta época nos Estados Unidos, foi a fabricação de peças intercambiáveis, que revolucionou os métodos de fabricação e tornou-se um pré-requisito para a produção em massa. Por causa de seu país de origem, a produção de peças intercambiáveis veio a ser conhecida como o sistema americano de produção. (GROOVER, 2017)

Já, durante o século XIX ocorreram diversas novas situações, como a expansão das ferrovias, dos navios movidos a vapor, e de outras máquinas que criaram a necessidade crescente por ferro e aço. Por conta disso, novos métodos de produção de aço precisaram ser desenvolvidos. Durante esse período, novos produtos de consumo também surgiram, como a máquina de costura, a bicicleta e os automóveis. Métodos de produção mais eficientes também foram necessários para atender a grande demanda desses produtos. Alguns historiadores identificam os desenvolvimentos durante esse período como a Segunda Revolução Industrial, tendo por características a produção em massa, o movimento da administração científica, as linhas de montagem e a eletrificação das fábricas (GROOVER, 2017).

De acordo com Dennis (2011), a pessoa que criou as bases para a produção em massa e que foi o primeiro a aplicar princípios científicos na manufatura foi Frederick Winslow Taylor, que buscava a “melhor forma” de se realizar processos produtivos, criando a engenharia industrial no processo. Seu sistema baseava-se em separar o planejamento da produção, designando pessoas específicas para determinar os melhores métodos de trabalho com base em novas análises de tempos e movimentos, enquanto a mão de obra limitava-se a realizar operações repetitivas de ciclo rápido.

Na mesma época, o empresário Henry Ford, buscava desenvolver um automóvel de fácil fabricação e manutenção, atingindo esse objetivo em seu Model T 1908. A base da produção em massa de Henry Ford foi a intercambialidade de peças, que foi atingida através da padronização de componentes. E a partir do momento em que as peças foram padronizadas, puderam se seguir diversas melhorias no projeto, com redução e simplificação de componentes, acarretando uma significativa economia na fabricação do produto. Para coordenar a montagem dos veículos, o empresário teve a ideia da linha de montagem em movimento, que levava o produto até o montador parado. Esta implantação eliminou desperdícios com a movimentação do colaborador, ligou processos sequenciais e estabilizou o ritmo de montagem. Todos esses fatores combinados reduziram o esforço humano na fabricação dos produtos, diminuíram custos produtivos e por consequência foi reduzido o preço final dos veículos, aumentando dessa forma a demanda do mercado (DENNIS, 2011).

Porém, segundo Dennis (2011), havia diversos problemas no sistema de produção em massa, como por exemplo o mal-estar dos trabalhadores nas fábricas, a falta de parceria entre os colaboradores e a empresa, a grande quantidade de produtos de qualidade indesejada no final da linha de produção, os custos com maquinário, e a complexidade para executar os projetos devido à grande ramificação na área de engenharia. Porém, apesar dos problemas, o sistema de produção em massa continuou a dominar o mercado até a ascensão da Toyota.

Enquanto a produção em massa das fábricas americanas dominava o mercado, o Japão enfrentava uma grande crise econômica, que afetava todas as empresas do país. A Toyota não foi exceção, e se viu obrigada a demitir um quarto de seus operários, causando uma grande revolta sindical. Para amenizar a situação, a empresa fez um acordo com o sindicato: a quantidade de funcionários demitidos

permaneceria a mesma proposta inicialmente, porém, o restante dos colaboradores receberia as garantias de emprego vitalício, pagamentos atrelados à idade e bônus relativos à lucratividade da empresa. Os funcionários também concordaram em ativamente apoiar os interesses da empresa, tendo iniciativa em esforços de melhoria. Desta forma, os trabalhadores se tornaram parte da comunidade Toyota, oferecendo sua experiência para continuamente melhorar os processos produtivos. (DENNIS, 2011).

Segundo Dennis (2011), nos anos seguintes Taiichi Ohno, um engenheiro da Toyota, buscou utilizar ao máximo esse potencial dos colaboradores desenvolvendo atividades para envolver os membros da equipe em projetos de melhoria dos processos e do produto. Dentre suas descobertas está a de que produzir lotes menores com trocas rápidas resultava em redução de custos e melhoria na qualidade, pois os defeitos podiam ser detectados mais rápido. Desta maneira, com foco na melhoria contínua, eliminação de desperdícios e união entre colaborador e empresa, foi desenvolvido e aperfeiçoado o sistema de manufatura enxuta ou, sistema Toyota de produção.

2.2 O sistema de manufatura enxuta

Segundo Tubino (2015) na competitividade do mundo corporativo atual, o processo de planejamento estratégico tem por objetivo obter os melhores resultados possíveis nas operações e minimizar os riscos nas tomadas de decisões das empresas. Os resultados destas decisões são de longo prazo e afetam a natureza e as características das empresas, no sentido de garantir o cumprimento de sua missão. As empresas, no momento de definir um planejamento, precisam observar seu contexto de atuação e suas forças e fraquezas, de maneira a criar vantagens em relação à concorrência, buscando sempre as situações mais favoráveis e que apresentem resultados positivos. A implantação das práticas da Manufatura enxuta é um meio para isso.

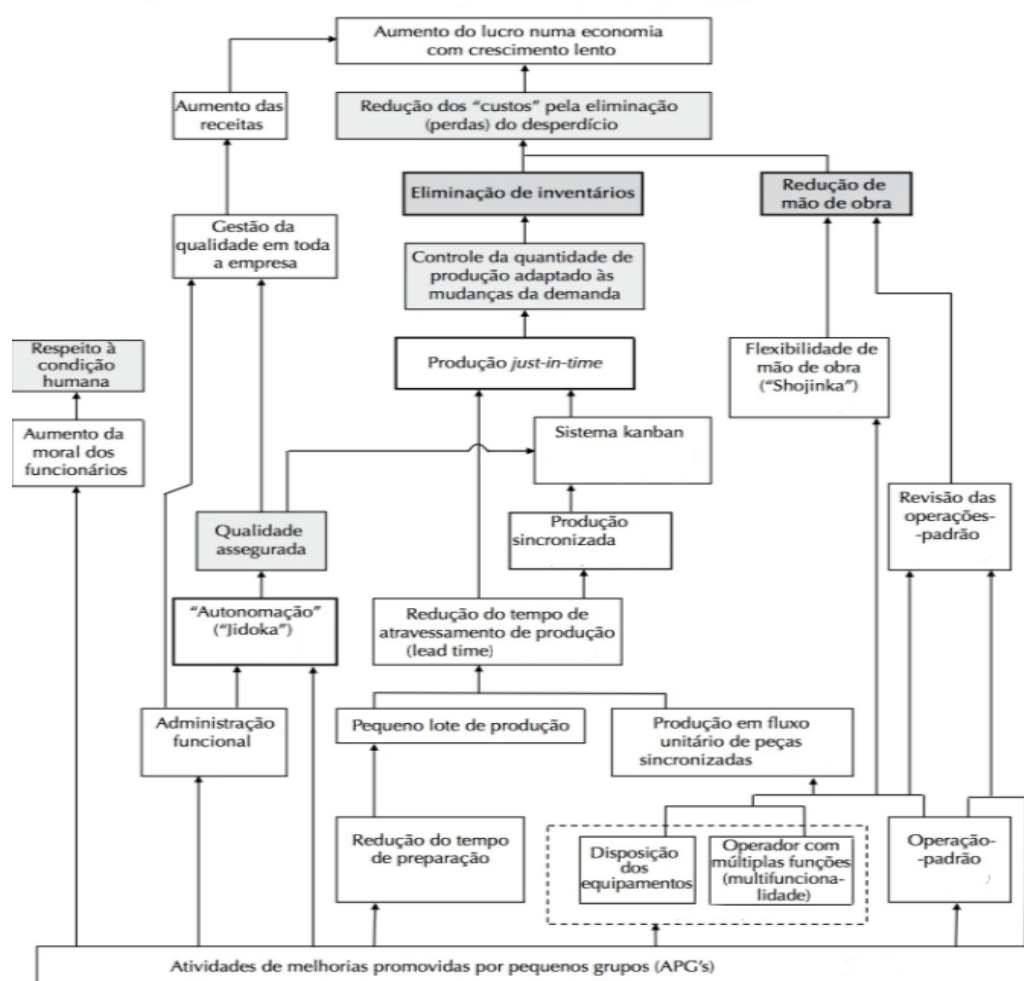
Um dos principais princípios da manufatura enxuta é o processo de melhoria contínua ou *kaizen* que, segundo Tubino (2015), diz que a empresa não pode passar um dia sequer sem melhorar sua posição competitiva no mercado, e para isso, deve utilizar seus recursos humanos para encontrar objetos de melhoria e atuar neles. No pensamento *kaizen* os problemas encontrados na produção não devem ser escondidos ou passados para frente, mas precisam ser encarados como

oportunidades para melhorar ainda mais os processos. Outro fator importante deste princípio é a integração de todos os funcionários da empresa nos processos de melhoria, desde a venda até a embalagem, de maneira que todos se sintam responsáveis e contribuam com o avanço da companhia dentro de suas esferas de atuação. A melhor forma encontrada para perpetuar o método *kaizen* dentro das empresas foi a formação de grupos de trabalho, pois, se forem reunidos colaboradores de diversas etapas do processo produtivo focados em uma melhoria, esta será abordada por todos os pontos de vista necessários, de maneira a ser implantada em sua melhor forma possível.

Nas palavras de Monden (2015), para poder-se atingir os objetivos propostos pelo sistema de manufatura enxuta, e ter-se um fluxo contínuo de produção através dos postos de trabalho juntamente com a habilidade de se adaptar às mudanças na demanda por quantidades e variedades, necessita-se respeitar dois conceitos-chave que se resumem nos principais pilares deste sistema: *Just in time* e autonomia. O *Just-in-time* significa produzir apenas as quantidades demandadas pelos clientes, finalizando os produtos apenas no momento de enviá-los. Já a autonomia (em japonês *Ninben-no-arui Jidoka*, geralmente abreviado como *jidoka*) pode ser interpretado como o controle autônomo de não conformidades e problemas pelos colaboradores. Ela apoia o *just in time* ao evitar que unidades defeituosas provenientes de processos precedentes sejam produzidas e prejudiquem os processos posteriores.

Segundo Monden (2015), outros dois conceitos básicos para o pleno funcionamento do sistema de manufatura enxuta, são a mão de obra flexível (*Stotinka*), que significa um número variável de trabalhadores para alterações na demanda, e a geração de ideias (*Seiko*), que nada mais é do que o aproveitamento das sugestões dos colaboradores envolvidos na produção. Para instaurar esses dois conceitos, os criadores do sistema estabeleceram os sistemas e os métodos a seguir: Sistema *kanban*, método de sincronização da produção, redução do tempo de preparação, padronização das operações, leiaute das máquinas e trabalhadores multifuncionais, atividades de melhoria promovidas por pequenos grupos e por sistema de sugestões, sistema de controle visual e sistema de administração funcional. A Figura 1 mostra o sistema de funcionamento do sistema de manufatura enxuta, partindo do conceito das atividades de melhoria elaboradas por pequenos grupos, ou *Kaizen*.

Figura 1: Estrutura do Sistema de manufatura enxuta

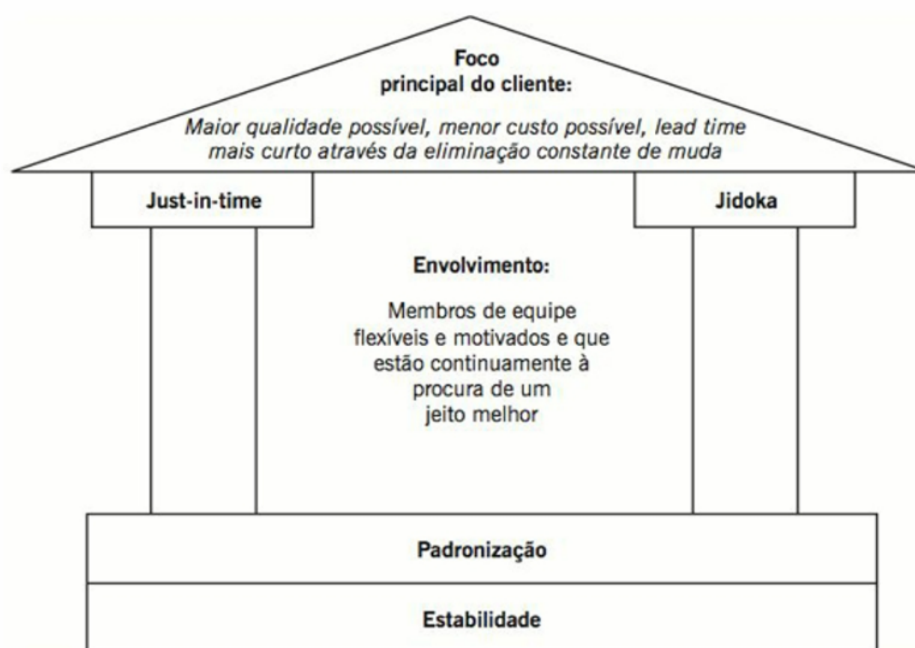


Fonte: Monden (2015)

Para exemplificar os fundamentos do sistema de manufatura enxuta, Dennis (2011) utiliza o conceito de uma casa, onde a fundação é representada pela padronização dos processos e componentes e pela estabilidade dos colaboradores. Os dois pilares principais são o *jidoka* e o *just in time*, enfatizando a importância da participação dos colaboradores no filtro de problemas e a necessidade de se ter uma produção fluida evitando o desperdício de superprodução. O telhado, que neste contexto significa a meta do sistema, é o cliente e sua satisfação, significando a necessidade de eliminar atividades que não agregam valor ao produto e a melhoria dos prazos e custos de produção. O interior da casa, que neste caso é o coração do sistema, é o envolvimento dos membros da equipe nas atividades propostas pela empresa com objetivo de promover a melhoria contínua. Para um correto

funcionamento do sistema de manufatura enxuta fazem-se necessários colaboradores flexíveis e motivados, que estão constantemente procurando formas melhores de fazer as coisas. A figura 2 apresenta os fundamentos da manufatura enxuta.

Figura 2: Fundamentos da manufatura enxuta



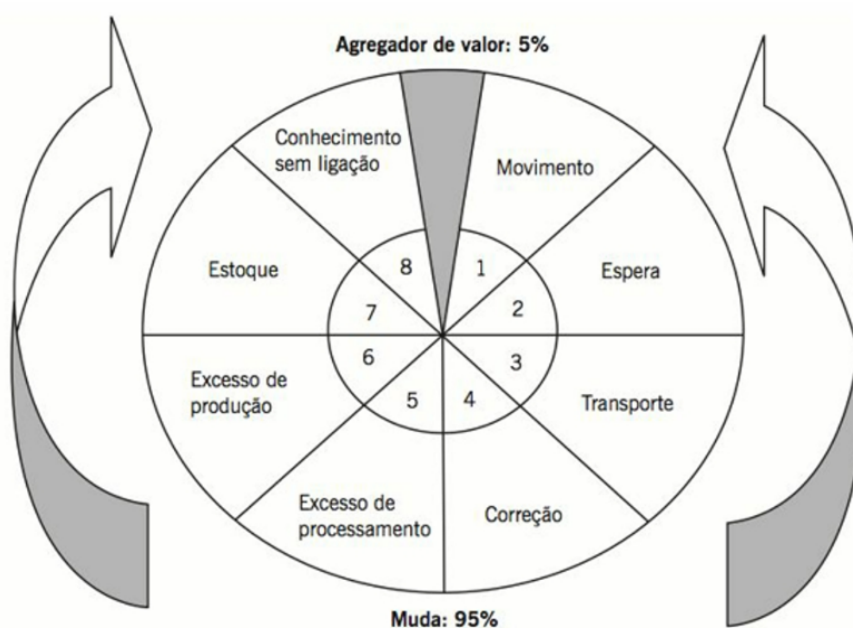
Fonte: Dennis (2011)

Outro princípio fundamental neste sistema é a eliminação dos desperdícios, conceituando-se desperdícios como toda operação que não agregue valor ao cliente (Tubino, 2015). O foco do sistema de manufatura enxuta é eliminar completamente qualquer tipo de desperdício existente nos processos de fabricação, de maneira a manter a produção fluindo consistentemente com uma produtividade de 100% da mão de obra e maquinários. Porém, para atingir esse patamar, é necessário um mapeamento constante e criterioso de todas as operações, a fim de encontrar onde estão os desperdícios e elaborar planos para erradicá-los.

Existem, de acordo com Shingo (1996), dois tipos de operação: aquelas que agregam e as que não agregam valor. Operações que não agregam valor são os desperdícios a serem eliminados, ou *muda*. Já as operações que agregam valor transformam efetivamente a matéria-prima modificando a forma ou a qualidade de acordo com o produto desejado. Segundo Dennis (2011) é possível se observar, na maioria das operações, a proporção para *muda* de 5/95, ou seja, apenas cinco por

cento do processo produtivo realmente está agregando valor ao produto. Isso significa que a cada vinte operações realizadas em um processo qualquer, em apenas uma delas ocorreu a transformação da matéria prima efetivamente. A figura 3 ilustra esse conceito.

Figura 3: Proporção de muda com o agregador de valor



Fonte: Dennis (2011)

Quanto aos desperdícios produtivos, segundo Dennis (2011), eles podem ser divididos em oito: movimento, espera, transporte, correção, excesso de processamento, excesso de produção, estoque e conhecimento sem ligação, também conhecido como desperdício intelectual. Será abordado cada um desses desperdícios na sequência.

2.2.1 Movimento

O desperdício do movimento está relacionado com as movimentações desnecessárias realizadas pelos operadores para realizar sua atividade. Está diretamente relacionado à qualidade, produtividade e ergonomia no ambiente de trabalho, o que tem grande impacto também na segurança do colaborador (Dennis, 2011). Um exemplo disso é um posto de trabalho onde as ferramentas ficam fora do

alcance imediato do operador, fazendo-se necessário o deslocamento do mesmo para alcançá-las, esticando-se, retorcendo-se ou similares. Há também o desperdício de movimentos mecânicos do produto quando, por exemplo, uma peça precisa ter sua posição constantemente alterada para efetivação da operação.

2.2.2 Espera

A espera ocorre quando a produção não pode ser continuada devido a algum problema exterior ao trabalhador, como por exemplo: Falta algum material para montagem, a linha foi parada por algum motivo ou é necessário se esperar que a peça seja processada por alguma máquina. Esse desperdício aumenta o tempo que o produto fica retido em fábrica, necessitando de prazos maiores para os clientes (Dennis, 2011). Este desperdício tem sua origem na formação de lotes econômicos muito grandes, na sequência de operações mal otimizadas ou muito complexas e no ciclo alto de programação empurrada, dificultando a identificação no curto prazo dos gargalos. A prática de se efetuar somente a manutenção corretiva dos equipamentos exerce grande influência neste quesito, visto que, a potencial quebra das máquinas é encoberta pelo aumento dos níveis de segurança no dimensionamento dos lotes, aumentando o tamanho dos mesmos. Esse tipo de desperdício é comum em linhas de montagens convencionais, onde se prioriza o aceleração das operações pela repetição das mesmas nos grandes lotes ao invés da produção em fluxo com o nivelamento do plano-mestre a demanda (Tubino, 2015).

2.2.3 Transporte

O desperdício do transporte ocorre quando é necessária a realização de movimentações dos materiais pela fábrica para prosseguimento da produção. Segundo Shingo (1996) na maioria dos casos, são realizadas ações relacionadas a esse desperdício com o objetivo de melhorar o deslocamento das peças, porém, a melhoria real acontece quando a necessidade de transporte é efetivamente eliminada. De acordo com Dennis (2011) é causado pela ineficiência do leiaute dos postos de trabalho, equipamentos grandes demais ou pela produção em lotes. A movimentação de lotes de produtos entre máquinas e postos de trabalho, ou entre locais de armazenagem, não agrega nenhum valor para o cliente, sendo um tipo de desperdício característico dos processos produtivos repetitivos em lotes, onde o

compartilhamento de máquinas em departamentos é o layout mais usual. A consequência desta atividade na linha produtiva é o aumento de custos em equipamentos de movimentação e pessoas, necessidade de espaços físicos grandes para deslocamento nos corredores e entre as máquinas, comumente contribui para a geração de problemas de qualidade, com batidas e quedas dos produtos, além de ser uma fonte de gargalos dentro da fábrica.

2.2.4 Correção

Também conhecido como retrabalho, esse desperdício acontece quando uma operação é realizada e, em seguida, tem que ser refeita por conta de defeitos no produto (Dennis, 2011). De acordo com Tubino (2015) este é um dos desperdícios mais recorrentes nas fábricas e um dos fatores que mais causa desperdício financeiro, além de ser um fator causador da desmotivação dos colaboradores. A causa dos defeitos pode se originar de procedimentos incorretos, lotes econômicos muito grandes que escondem os problemas, ou então, equipamentos de medição e ferramentas inapropriadas para o trabalho. Uma solução comum para isso é a inspeção por amostragem, que não garante 100% de qualidade, e leva aos clientes (internos e externos) uma identificação tardia dos problemas além de produtos rejeitados e retrabalhados.

2.2.5 Excesso de processamento

Nas palavras de Dennis (2011) significa produzir mais do que o cliente requer. Em outras palavras, o excesso de processamento ocorre quando a empresa destina tempo e dinheiro para atingir metas de qualidade ou desempenho que não estão sendo requisitadas pelos compradores, tornando-se desta maneira, desnecessárias. De acordo com Tubino (2015), o excesso de processamento se apresenta quando as instruções de trabalho são pouco claras ou inexistentes, quando as especificações dos clientes não estão bem definidas ou até mesmo quando as exigências de qualidade estão mais rigorosas do que realmente são necessárias

2.2.6 Estoque

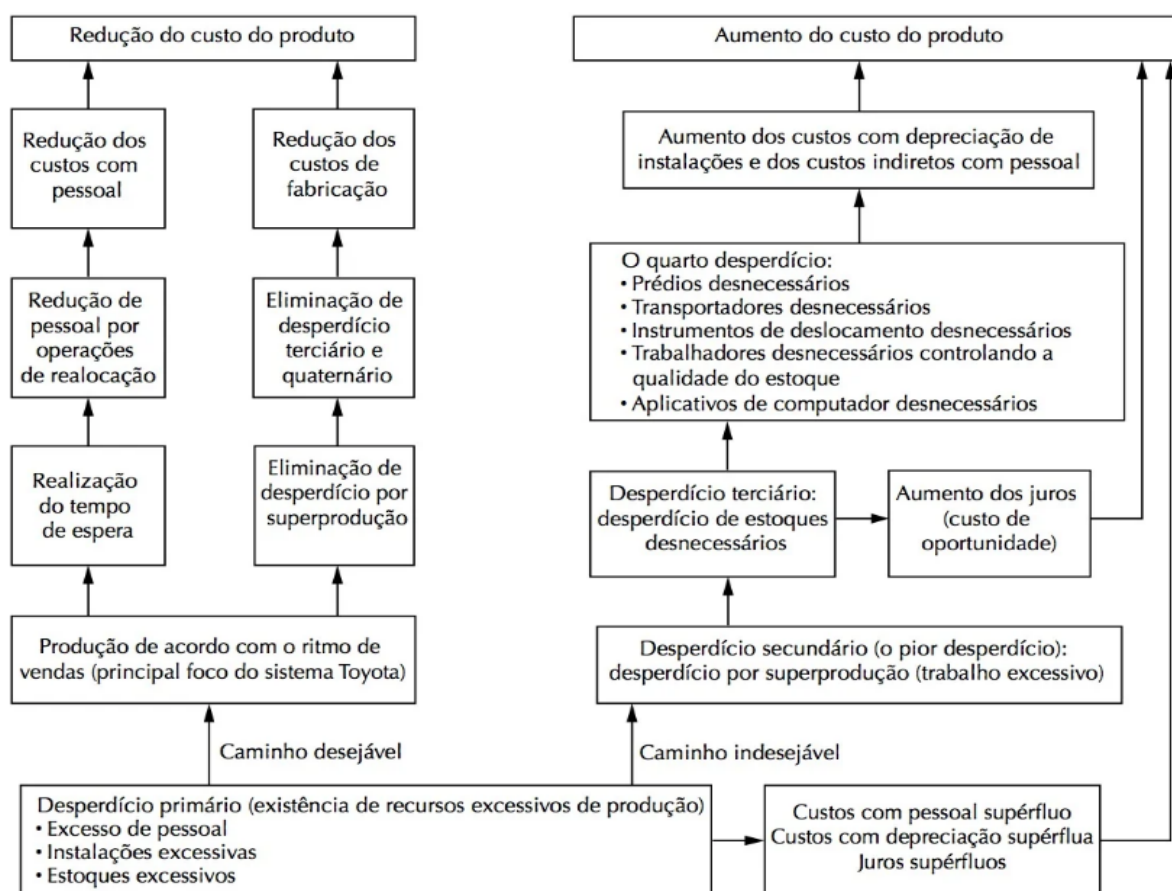
Este desperdício se caracteriza pela existência de uma grande quantidade

sobressalente de matéria prima, peças ou produtos acabados. Além de necessitar de uma manutenção constante, os estoques também ocupam muito espaço que poderia ser usado para alguma atividade produtiva. Também há o risco da desvalorização e avarias dos materiais devido à sua não utilização tornando os estoques um grande desperdício de espaço e dinheiro (Dennis, 2017). Nas palavras de Tubino (2015), este desperdício está diretamente relacionado com o excesso de produção, pois produzindo-se a mais do que o necessário, faz-se necessário grandes áreas para armazenamento desse material sobressalente. Desta maneira, as causas do desperdício de estoque são as mesmas do excesso de produção.

2.2.7 Excesso de produção

Este se classifica como um dos principais desperdícios dos sistemas de manufatura tradicionais, visto que, gera uma grande parte dos outros desperdícios citados anteriormente. O excesso de produção significa produzir o que não foi vendido, deixando os produtos sobressalentes em estoque aguardando a compra. Além dos grandes custos com o estoque, também há os custos com energia elétrica, transporte, espera, movimentação e correção, visto que, aumenta a produção de maneira desnecessária (Dennis, 2011). Segundo Tubino (2015) há dois tipos de excesso de produção: Quantitativa (quando a quantidade de produtos produzidos é superior à demanda) e temporal (quando os produtos são finalizados com muita antecedência com relação ao prazo do cliente). Geralmente, a origem deste desperdício se relaciona com três fatores principais: Criação de grandes lotes econômicos, que pode ser ocasionada pelo superdimensionamento do maquinário, tempo alto de setup ou em busca de economias de produção; instabilidade nas demandas produtivas, alternando-se entre períodos de tempo com alta produção e períodos ociosos; e falta de capacidade produtiva, fazendo-se necessária a produção antecipada para suprir futuras demandas. A Figura 4 mostra tanto os caminhos para se eliminar a superprodução, quanto suas consequências para a economia da empresa:

Figura 4: Processo de eliminação de desperdícios para redução de custos



Fonte: Monden (2015)

2.2.8 Conhecimento sem ligação

Segundo Dennis (2011) está intimamente ligado às falhas de comunicação das empresas, seja internamente ou entre a companhia e os fornecedores ou clientes. A falta de comunicação inibe o fluxo de conhecimento, de idéias e a criatividade dos colaboradores, criando frustração e oportunidades perdidas. Como diz Tubino (2015), as origens deste problema estão na ausência de uma dinâmica de sugestões, assim como na falta de motivação dos colaboradores, em geral pelo baixo estímulo das lideranças e da gerência.

2.3 Estudos de redução de desperdícios

A eliminação de desperdícios produtivos é um tema recorrentemente estudado tanto dentro quanto fora das empresas, justamente por tratar-se de um

tópico extremamente abrangente, comum e necessário no âmbito industrial e social. Tendo isso em vista, já foram desenvolvidos diversos trabalhos com a motivação de mapear e eliminar atividades que não agregam valor e encontrar pontos de melhoria nos mais diversos campos de atuação. Serão abordados a seguir três exemplos.

Sulzbach (2019) realizou uma análise do assunto em uma linha de montagem de ferramentas agrícolas, com o objetivo de encontrar pontos de melhoria de produtividade, segurança e na quantidade de desperdícios de produção. Para realização do estudo foi selecionada, dentro da empresa, uma linha de produção que apresentava uma grande taxa de refugos e improdutividade. Como a linha selecionada produz diversos produtos, foram escolhidos os que possuem maior demanda no mercado.

Após a coleta de dados das operações, foi identificada a presença de diversos desperdícios, tais como: Superprodução, retrabalho, estoque, movimentação, transporte e espera. Dentre as ações para reduzir o índice de improdutividade na linha de produção, estão a de contratar uma pessoa para fazer a parte da preparação, de maneira a diminuir a movimentação realizada pelos operadores para buscar materiais, também foi realizada a alteração de layout da linha de montagem reduzindo ainda mais a movimentação dos colaboradores pela seção.

Outra ação que visa aumentar a produtividade foi a padronização do diâmetro de um componente de montagem, que eliminou a necessidade de retrabalho posterior e agilizou o fluxo de montagem. Após a implantação dessas duas ações, pode-se verificar-se uma diminuição dos desperdícios de espera, movimentação e retrabalho. Quanto às perdas relacionadas à superprodução, estoque e transporte, não foi possível o desenvolvimento de ações devido à interligação destes desperdícios com o sistema de negócios da empresa.

Já Farias (2018) realizou a análise de desperdícios em uma empresa de embutidos. O objetivo deste estudo foi analisar todo o processo de fabricação de um determinado tipo de produto da empresa e verificar a existência dos desperdícios e gargalos produtivos. O método de avaliação foi o mapeamento de fluxo de valor, cujos princípios baseiam-se na identificação e eliminação dos desperdícios encontrados ao longo do processo produtivo, como por exemplo estoques e tempos de espera elevados. Após a coleta de dados e avaliação dos mesmos, foram-se evidenciados diversos desperdícios, tais como: desperdícios de espera, ocasionados

principalmente por setups necessários no maquinário; Movimentação, causados pelo layout inadequado e sem padronização, e também pela falta de planejamento na disposição e distribuição das matérias primas; e por fim, o desperdício de retrabalho. Todos esses tópicos foram expostos de maneira a facilitar a tomada de decisão dos superiores ao abordar estratégias de melhoria para a empresa.

Santos (2018), realizou a aplicação das técnicas da manufatura enxuta na redução de desperdícios em uma empresa metal mecânica. Seu objetivo foi analisar o fluxo produtivo de uma linha de produção e apresentar uma proposta de implementação através da aplicação das ferramentas enxutas para a redução de desperdícios no processo de produção.

Foram analisadas neste trabalho as operações relacionadas à usinagem de componentes em uma indústria que fornece peças para os segmentos de construção, automobilístico, agrícola e industrial. Inicialmente foram acompanhadas todas as atividades realizadas pelos operadores, cronometrando o tempo de cada uma e analisando os motivos de paradas na linha. Em seguida, após a análise dos dados coletados, o autor propôs uma série de melhorias através da ferramenta *kaizen*, são elas: eliminar ociosidade, unificar operações desbalanceadas, reduzir *lead time* e padronizar as etapas das operações.

Para mitigar os desperdícios encontrados foram elaborados planos de ação, tanto no quesito de alterar o layout para reduzir movimentações, quanto de tornar os colaboradores multifuncionais, realizando mais de uma tarefa por produto. Após as implantações dos planos de ação, houve uma diminuição na taxa de ociosidade na margem de 50%, visto que, metade dos colaboradores envolvidos na operação puderam ser realocados.

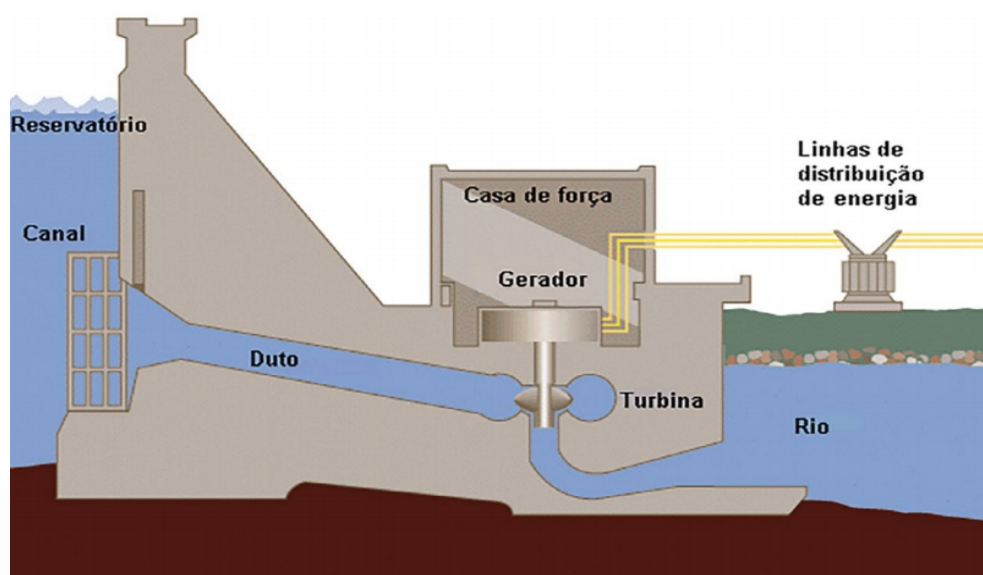
2.4 Turbinas Hidráulicas

De acordo com Reis (2017), há séculos passados, os seres humanos descobriram que podem utilizar a força da água causada por um desnível de terreno para gerar uma energia capaz de realizar trabalhos. Desde então, esta tecnologia vem sendo aprimorada para os mais diversos fins, desde triturar grãos com um monjolo até gerar energia elétrica.

A geração de energia é o ápice da aplicação desta funcionalidade da água, sendo possível através da utilização de um equipamento conhecido como turbina hidráulica. Esta máquina é a responsável por transformar a energia potencial

cinética da queda de água em energia mecânica, que é absorvida por um conversor eletromecânico de energia e então transformada em energia elétrica. Seu funcionamento é bastante simples, utilizando o mesmo princípio da roda d'água que, movimentada pela força da água, gira um eixo mecânico. O gerador tem seu rotor acionado por acoplamento mecânico com o rotor da turbina e transforma energia mecânica em elétrica por conta das interações eletromagnéticas ocorridas no seu interior. São usados, geralmente, geradores síncronos, porque os sistemas de potência devem operar com frequência fixa. A figura 5 detalha o funcionamento de uma usina hidrelétrica.

Figura 5: Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica



Fonte: Oliveira et al. (2021)

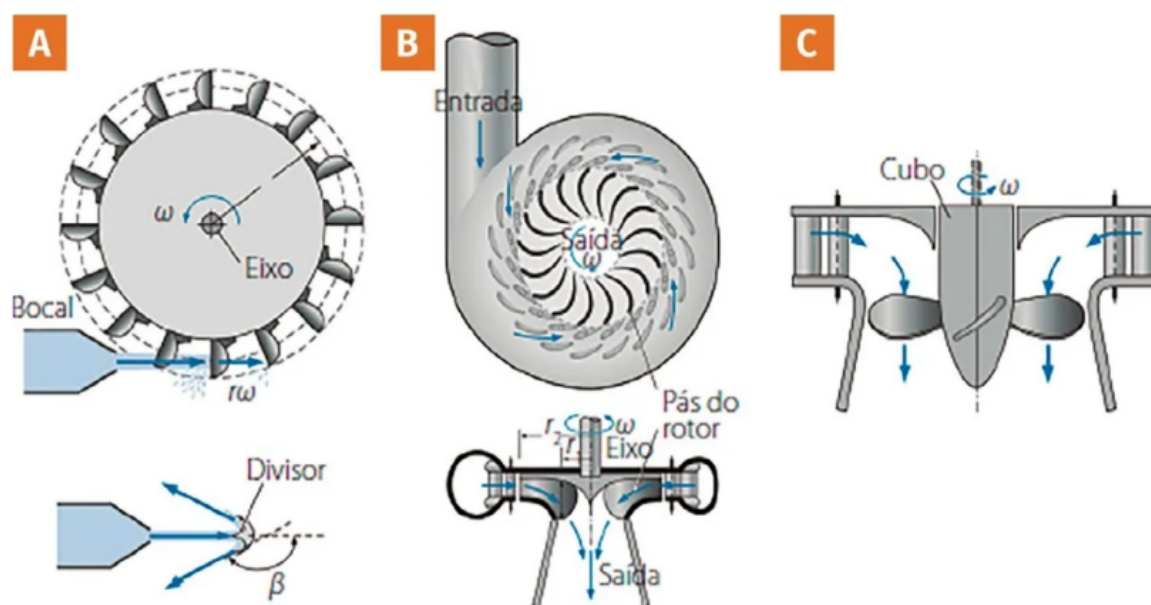
Segundo Oliveira et al. (2021) na construção das turbinas, em geral, são empregados diversos componentes, como: eixos, mancais e vedações. Porém há dois elementos fundamentais: O rotor, e o direcionador de fluxo de água. Constituído de pás. Rotor é a peça que entrará em movimento giratório quando em contato com o fluido, absorvendo sua energia cinética e transformando-a em trabalho útil para o gerador. Já o direcionador de fluxo tem a função de guiar o fluido em direção ao rotor, evitando perdas de energia por choques, e transformando energia de potência e pressão em energia cinética.

Atualmente, existem diversos tipos de turbinas hidráulicas, cada uma com

suas próprias aplicações, particularidades, rendimento e histórico. Os principais modelos de turbinas existentes são: Pelton, Turgo, Jonval, Michell-Banki, Parafuso de Arquimedes, Roda d'água, Francis, Kaplan, Hélice, Tyson e Gorlov. Dentre esses diversos exemplos, as mais usadas são as turbinas: Pelton, Francis e Kaplan, que são especializadas para produção de energia elétrica (OLIVEIRA et al, 2021).

A escolha da turbina, segundo Reis (2017), depende basicamente de duas variáveis do local de instalação: a queda e a vazão de água. Neste sentido, a turbina Pelton é melhor aproveitada em grandes quedas, como por exemplo, a Usina Hidrelétrica Henry Borden, situada na Serra do Mar, em Cubatão, com aproximadamente 700m de queda. A turbina do modelo Francis é ideal para quedas médias, que vão de 40 a 500 m, como a Usina Hidrelétrica Ilha Solteira, no Rio Paraná, com queda igual a 41,5 m. A turbina Kaplan, por sua vez, é utilizada em quedas baixas, como a Usina Hidrelétrica Jupuíá, com 21,3m de queda. Estes três tipos de turbinas serão apresentados com mais detalhes a seguir. A figura 6 exemplifica os três principais tipos de turbinas e seus modos de funcionamento.

Figura 6: Características construtivas de turbinas hidráulicas: (a) turbina Pelton, (b) turbina Francis e (c) turbina Kaplan.



Fonte: Oliveira et al (2021)

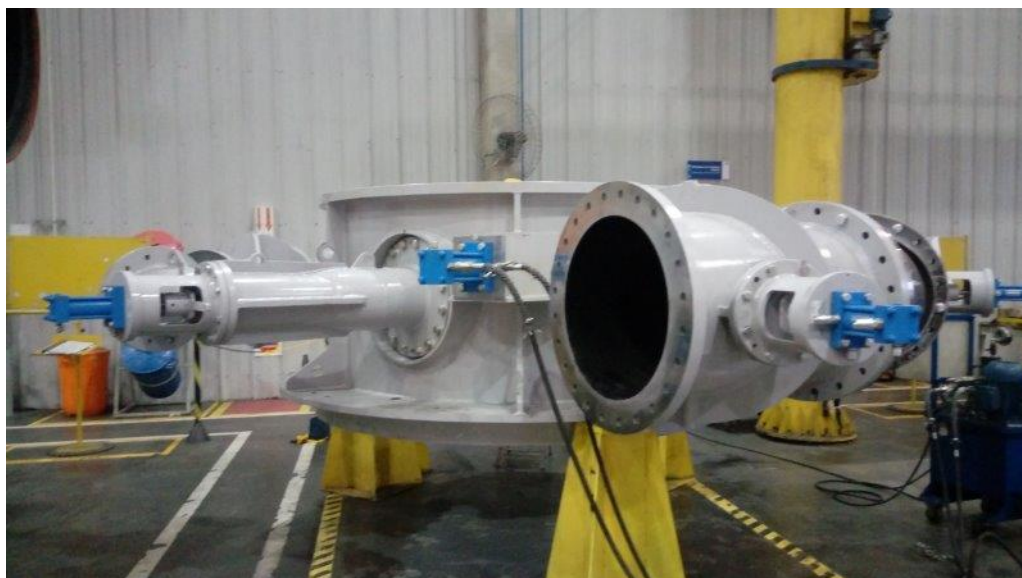
2.4.1 Turbina Pelton

A turbina Pelton é um dispositivo de ação e recebe esse nome em homenagem a Lester A. Pelton, seu inventor, que desenvolveu esse projeto por volta de 1880. O funcionamento dessa turbina é relativamente similar ao das rodas d'água, utilizando a energia cinética proveniente de um jato d'água que entra em contato tangencial com o eixo de rotação.

Segundo Neto e Carvalho (2012), o distribuidor é um bocal no formato apropriado para guiar o fluido, proporcionando um jato cilíndrico na palheta diretriz do rotor, isso se dá por um sistema de agulhas, conhecidas como agulha de regularização. O rotor Pelton, possui um determinado número de palhetas que são presas a um disco girante que é conectado ao eixo do gerador. Na linha de centro das palhetas, onde será recebido o jato de água, há um gume médio que o divide em duas partes iguais, desviando-o lateralmente. Esse modelo de turbina pode possuir de um a seis jatos, dependendo das características desejadas.

Dentre as turbinas que se aproveitavam deste mesmo princípio de funcionamento no ano de 1880, a Pelton foi a que apresentou a melhor eficiência, devido ao formato de concha característico de suas palhetas diretrizes, que permite o máximo de aproveitamento da energia dinâmica do jato (OLIVEIRA et al, 2021). As imagens 7, 8 e 9 mostram uma turbina Pelton em seu exterior, interior e seu rotor, respectivamente.

Figura 7: Turbina Pelton (Exterior)



Fonte: Autor (2022)

Figura 8: Turbina Pelton (interior)



Fonte: Autor (2022)

Figura 9: Rotor Pelton



Fonte: Autor (2022)

2.4.2 Turbina Kaplan

Segundo Neto e Carvalho (2012), a turbina Kaplan é uma máquina de reação de fluxo interno, sendo nomeada em homenagem a Victor Kaplan, seu criador, em 1912, a partir do aperfeiçoamento da turbina Hélice. A principal diferença entre as duas é que, na Kaplan, as pás acopladas ao rotor são móveis, enquanto que na Hélice, elas são fixas. A entrada de água se assemelha à turbina Francis, porém ela é defletida para escoar axialmente antes de encontrar o rotor da máquina, caracterizando-se como uma máquina de fluxo axial. São utilizadas em situações de

baixa queda, mas com altas vazões, podendo apresentar eficiências similares às das turbinas Francis, na faixa de 95%, sendo boas opções para instalações de PCHs. Existem algumas variações em detalhes construtivos da turbina Kaplan, sendo as mais conhecidas: Kaplan vertical, Kaplan “S”, Turbina Bulbo e Turbina Open Pit. As figuras 10 e 11 apresentam um tipo de turbina Kaplan e seu rotor.

Figura 10: Turbina Kaplan Bulbo



Fonte: Autor (2022)

Figura 11: Rotor Kaplan



Fonte: Autor (2022)

2.4.3 Turbina Francis

A turbina Francis é uma máquina de reação de fluxo interno, que recebe esse

nome em homenagem a James B. Francis, que a inventou no ano de 1850. Seu funcionamento baseia-se na combinação tanto do fluxo radial quanto axial da água, assimilando-se a uma bomba centrífuga na direção contrária. O fluido normalmente entra de forma mista (radial e axialmente), sendo direcionado pelas palhetas até seu interior.

Para possibilitar possíveis ajustes de vazão e rotação do rotor, esse modelo de turbina é dotado de palhetas móveis e fixas, utilizadas para modificar o ângulo de entrada da água conforme a necessidade, aumentando não só o rendimento como a faixa de operação. À medida que a água entra em contato com o rotor, a quantidade de movimento e pressão do fluido reduz, transferindo essa energia ao componente.

Por suas características de funcionamento, é um dos modelos mais versáteis, apresentando eficiências na faixa de 95%, sendo a turbina mais usada na construção de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Sua faixa de operação é intermediária, tanto para quedas quanto para vazões (OLIVEIRA et al, 2021).

De acordo com Neto e Carvalho (2012), as turbinas Francis são formadas por quatro partes:

- Caixa espiral: Usualmente aparenta o formato de um caracol para a condução da água. Nela estão localizadas as palhetas fixas para direcionamento da água ao distribuidor.

- Distribuidor: É composto pelas palhetas móveis do sistema, que giram sempre simultaneamente e no mesmo ângulo, de modo a ajustar a vazão de água descarregada no rotor a fim de ajustar a rotação do mesmo de acordo com a potência demandada. A movimentação das palhetas é coordenada por um sistema de bielas conectadas a um anel que é movido por um cilindro hidráulico de dupla ação. Este anel é conhecido como anel de regulação.

- Rotor: É o principal componente da turbina, sendo o responsável pela transformação da energia potencial cinética da água em energia mecânica de torque para o gerador.

- Tubo de sucção: É o responsável por conduzir a água que sai do receptor para um canal de fuga.

Exemplos de turbina e rotores Francis podem ser vistos nas figuras 12 e 13.

Figura 12: Turbina Francis



Fonte: Autor (2022)

Figura 13: Rotor Francis



Fonte: Autor (2022)

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho será o processo de montagem do modelo de turbina Francis o caso estudado em busca de desperdícios de produção.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

O presente estudo foi realizado em uma empresa de grande porte do ramo metal mecânico, situada na região do norte de Santa Catarina, no município de Jaraguá do Sul. Dentre os produtos desta empresa encontram-se painéis elétricos, motores, geradores, turbinas eólicas e turbinas hidráulicas, que são o foco deste trabalho.

Os objetivos da empresa são alinhados às metas do sistema de manufatura enxuta, visto que procura sempre produzir seus produtos buscando eliminar desperdícios produtivos, quanto possível. O setor escolhido para este estudo tem como principais produtos as turbinas Francis, turbinas Kaplan, turbinas Pelton e dispositivos hidromecânicos relacionados no geral. Sendo as turbinas Francis o produto com maior demanda no mercado.

O setor em questão é relativamente novo na empresa, sendo agregado à companhia após a aquisição de uma empresa de fabricação de turbinas hidráulicas. Tendo isso em vista, os métodos e procedimentos de montagem ainda não estavam completamente padronizados e mapeados de maneira a fornecer aos gestores os dados necessários para agir para otimizar as operações de montagem, eliminando seus desperdícios, sendo este o objetivo deste estudo.

Neste contexto em questão, podemos classificar este trabalho como um estudo de caso, pois, segundo Gil (2008), se aprofunda minuciosamente em um único caso, de modo a permitir seu amplo e detalhado conhecimento.

Para realização deste estudo foram realizadas 4 etapas, indicadas abaixo:

1) Definição do setor e do produto a ser estudado: decidir qual produto seria estudado, qual seria o modelo de estudo e as datas limite para realização do trabalho. Neste momento foi escolhido o modelo Francis por ser o tipo de produto com maior demanda do mercado e que seria um projeto com o objetivo de avaliar quais desperdícios existiam entre as operações de montagem.

2) Coleta de dados: Com o auxílio de um cronômetro e um caderno, foram documentadas as durações de todas as atividades realizadas pelo colaborador que efetuava a montagem. O cronômetro era iniciado quando o colaborador iniciava uma operação e pausado sempre que a operação parava, seja por motivos externos ou para trocar de atividade. Desta maneira, foram mapeados os tempos de montagem,

desde o recebimento da caixa espiral no posto, até a embalagem da turbina completa.

Todos os dados coletados foram transferidos para uma planilha digital para possibilitar a análise posterior dos resultados. Na planilha, as operações mapeadas foram separadas em subgrupos de acordo com a atividade exercida para facilitar sua identificação, são eles: Identificar, montar, retirar material, organização, ajuste, analisar, espera, identificar, limpeza, medir, montar, movimentação, posicionamento, preparação, protocolar, retirar material e retrabalho. Os subgrupos, por sua vez, foram divididos em: atividades que agregam valor e atividades que não agregam valor. Foram anotados na planilha também os tempos de cada operação, a representatividade desse valor no tempo total de montagem da turbina e o custo que cada operação tem, considerando o valor hora/máquina da seção como R\$ 37,00 e a quantidade de produtos produzidos no ano de sete unidades, dados obtidos com os responsáveis pela seção.

Cabe ressaltar que durante a montagem da turbina em questão, foi necessário realizar algumas operações não padrões, que foram feitas para consertar erros dos fornecedores. Como o foco do estudo é encontrar desperdícios inerentes e constantes no processo de montagem, tais operações foram desconsideradas. Também notou-se a recorrência de atividades como organização e limpeza, desta maneira, foram agrupados em uma só todas as atividades semelhantes para facilitar a análise gráfica.

3) Construção e análise dos gráficos: Para guiar a análise dos resultados foram agrupadas somente as atividades que não agregaram valor ao produto, que são o foco do estudo, e então, foram construídos três gráficos. O primeiro apresenta uma análise de Pareto de todas as atividades que não agregam valor ao produto, o segundo as proporções de cada subgrupo de atividades que não agregam valor e o terceiro apresenta a proporção de atividades que não agregam valor em relação às atividades que agregam. Foram analisados todos os gráficos e dados obtidos buscando explicitar os desperdícios mais impactantes para poder atuar neles.

4) Elaboração de possíveis ações mitigadoras: Após a definição dos desperdícios a serem reduzidos ou eliminados, foram desenvolvidos planos de ação, que, se implantados, podem minimizar os impactos ocasionados por eles. Para colaborar na elaboração dos planos de ação, foram realizadas entrevistas com os colaboradores envolvidos na montagem do produto, questionando a eles, quais

seriam as principais fontes causadoras dos desperdícios selecionados.

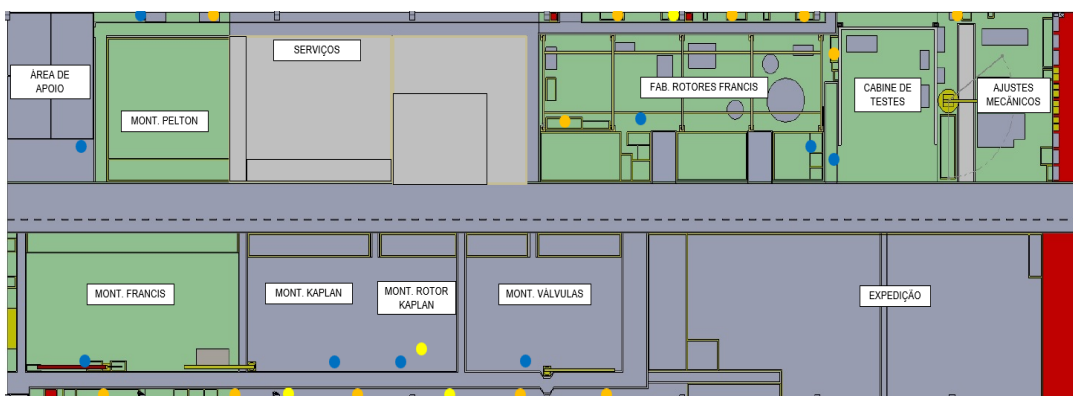
3.2 Definição do setor estudado

O setor analisado é composto de 11 postos de trabalho, sendo eles: Área de apoio, montagem de turbinas Francis, montagem de turbinas Kaplans, Montagem de rotores Kaplan, Montagem de Válvulas, Expedição, Montagem de turbinas Pelton, serviços externos, Fabricação de rotores, cabine de teste e ajustes mecânicos.

O fluxo de produção é coordenado por dois preparadores, um para as atividades relacionadas à fabricação de rotores e outro para as montagens do restante dos produtos. Os preparadores são os encarregados de acompanhar de perto a produção e os prazos dos projetos futuros, sendo os responsáveis por requisitar os materiais dos fornecedores e distribuí-los para os operadores que irão realizar a montagem do produto.

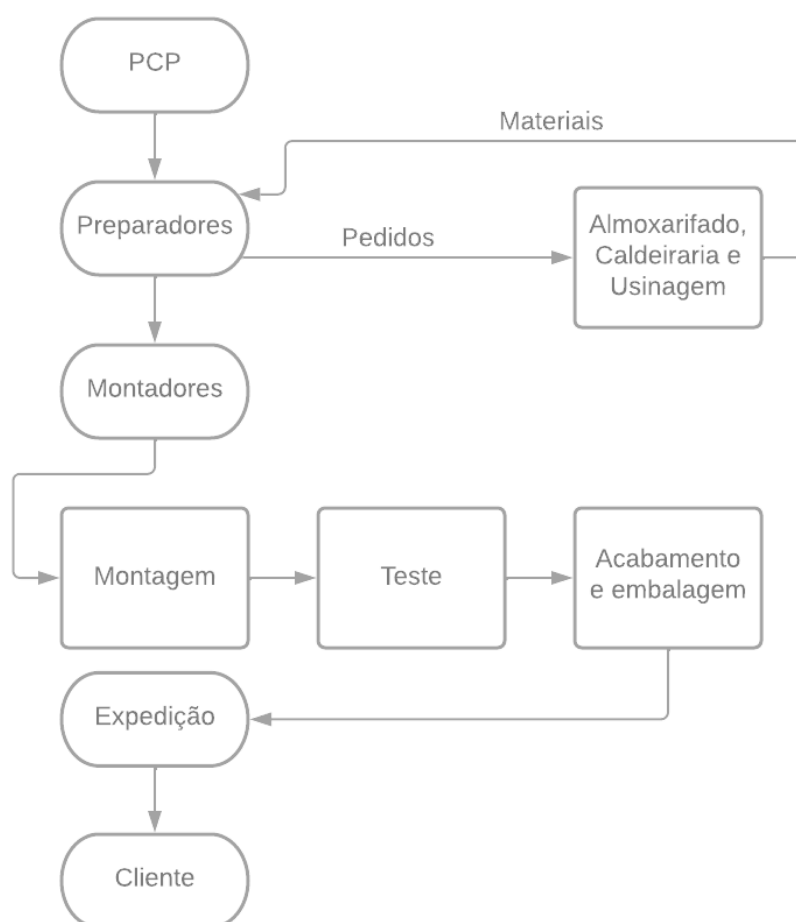
Com os materiais em mãos, cabe aos montadores efetuar a montagem, teste, acabamento e embalagem dos produtos, solicitando os materiais aos preparadores sempre que necessário. Após a finalização dos procedimentos, os produtos ficam no posto até a chegada do caminhão que os transportará diretamente para o cliente, a menos que haja necessidade de os realocar pela seção devido a necessidades de espaço físico. Cabe aos funcionários da expedição realizar o planejamento de carga, transporte e descarga no local especificado. As figuras 14 e 15 detalham o *layout* da seção e o fluxo de produção da seção em questão.

Figura 14: Layout seção estudada



Fonte: Autor (2022)

Figura 15: Fluxo de produção na seção de montagem de turbinas



Fonte: Autor (2022)

3.2.1 Processo de montagem de uma turbina Francis

Quanto ao processo de montagem da turbina Francis, que é o foco do estudo, ele inicia com o recebimento da caixa espiral no posto de trabalho, esta deve ser preparada e colocada em posição adequada para montagem dentro do posto especificado conforme figura 16.

Figura 16: Caixa espiral posicionada no posto para montagem



Fonte: Autor (2022)

Em seguida, as tampas do distribuidor, que chegam por meio de pallets, devem ser posicionadas dentro do posto de maneira que possibilite a montagem dos próximos componentes, conforme figura 17.

Figura 17: Tampas posicionadas para a montagem



Fonte: Autor (2022)

O próximo passo é preparar alguns componentes que serão montados nas tampas antes de fixá-las na caixa espiral. Buchas de bronze são prensadas dentro dos mancais, e estes serão fixados nas tampas. É dentro desse conjunto que será colocado o cabo da palheta diretriz e onde ele irá girar. Após essa pré-montagem são montadas vedações o-ring nesses componentes e então, são fixados nas tampas por meio de parafusos. As imagens 18 e 19 mostram os componentes e operações citadas.

Figura 18: Mancal



Fonte: Autor (2022)

Figura 19: Prensagem da bucha no mancal



Fonte: Autor (2022)

Com os mancais fixados nas tampas, a tampa do lado oposto ao anel de

regulagem é tombada e nela são montadas as palhetas diretrizes. Com as palhetas montadas na tampa, começa-se então o processo de ajuste da folga entre palheta e tampa. Esse ajuste é feito através da montagem de um calço de bronze na base da palheta, mostrado na figura 20. Este calço é produzido com material sobressalente, de maneira que sua espessura deve ser medida em fábrica de acordo com a necessidade de cada palheta diretriz. Após a medição de suas espessuras, os calços são enviados para o posto de ajustes mecânicos, onde serão usinados nas medidas solicitadas e levados de volta para o operador. A interface de medição é mostrada na figura 21.

Figura 20: Calço de bronze



Fonte: Autor (2022)

Figura 21: interface de medição para ajuste dos bronzes

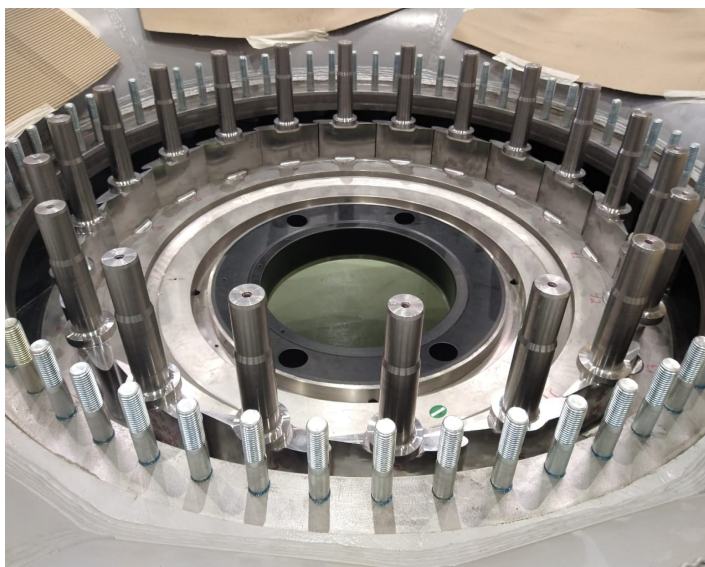


Fonte: Autor (2022)

Com as folgas ajustadas na tampa do lado oposto, são montados tirantes na parte inferior da tampa, que serão encaixados em alocações apropriadas na caixa

espiral. Da mesma maneira, são fixados tirantes na parte superior da caixa, onde será fixada a tampa do lado da regulagem. Após as vedações apropriadas serem montadas, é posicionada a tampa do lado oposto dentro da caixa espiral e então fixada por meio de porcas e arruelas nos tirantes que foram montados conforme figura 22.

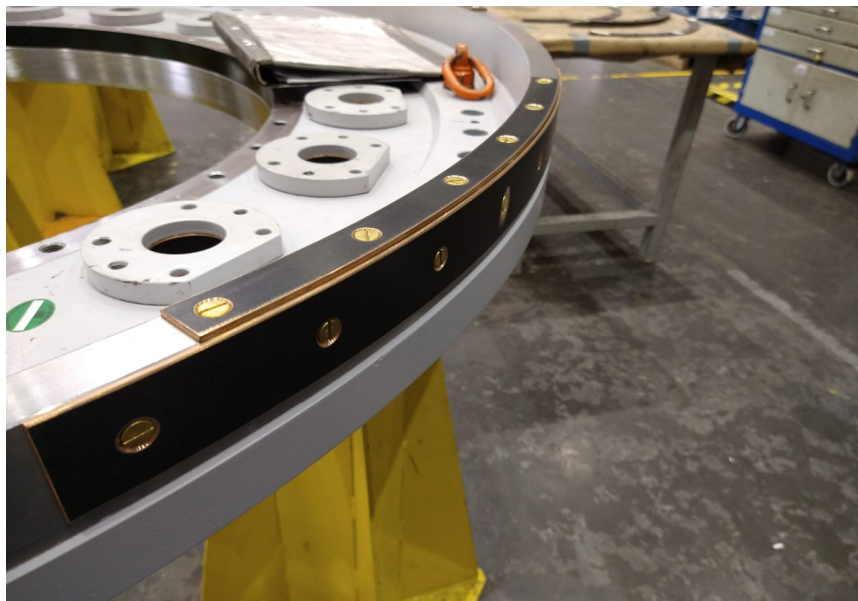
Figura 22: tampa do lado oposto à regulagem montada na caixa espiral



Fonte: Autor (2022)

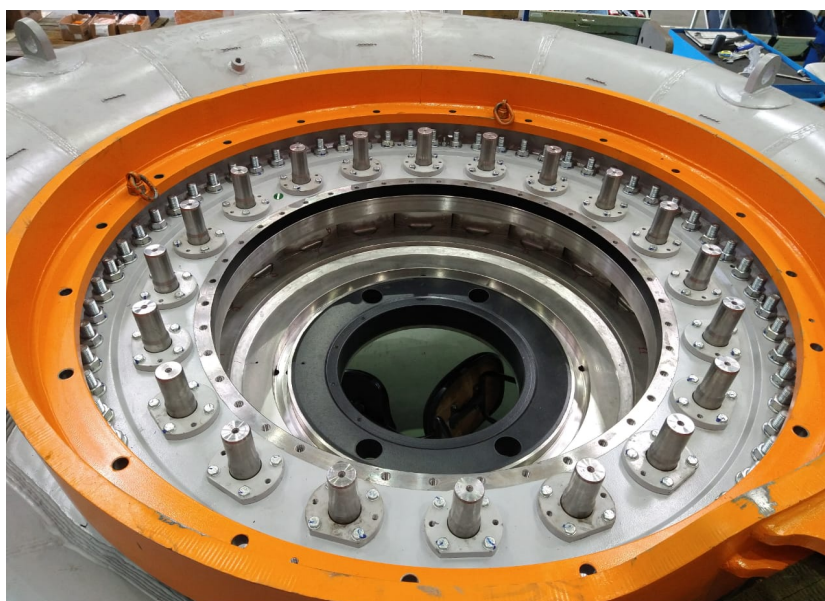
Antes da montagem da tampa do lado da regulagem, são pré-montadas nela sapatas de deslize, que são placas de bronze onde o anel de regulagem se assentará e deslizará sobre. Só então pode ser posicionada a tampa superior, da mesma forma da inferior conforme figuras 23 e 24.

Figura 23: Sapatas de deslize fixadas



Fonte: Autor (2022)

Figura 24: Tampa do lado da regulagem e anel de regulagem montados



Fonte: Autor (2022)

Após as duas tampas estarem devidamente fixadas, é novamente realizada a medição da folga entre palhetas e tampas, desta vez sendo verificada a folga a tampa do lado da regulagem também. Se as medidas ficarem fora do especificado deve-se realizar novamente o ajuste dos bronzes, ou até mesmo utilizar calços entre a tampa do lado oposto e a caixa espiral para alterar a distância entre as tampas.

Se as medidas estiverem dentro do especificado segue-se para a próxima

etapa, onde é verificada a concentricidade entre as tampas, isso é feito por um profissional terceirizado com o auxílio de um braço de medição tridimensional, mostrado na figura 25. As tampas devem ser movidas conforme solicitado.

Figura 25: Braço de medição tridimensional



Fonte: www.faro.com (2022)

Quando as tampas estiverem devidamente dentro da tolerância de concentricidade são feitas quatro furações em cada uma, que serão alargadas para inserção de pinos cônicos, que servem para garantir o posicionamento caso seja necessária uma desmontagem posterior, conforme figura 26.

Figura 26: Furação para pinagem da tampa



Fonte: Autor (2022)

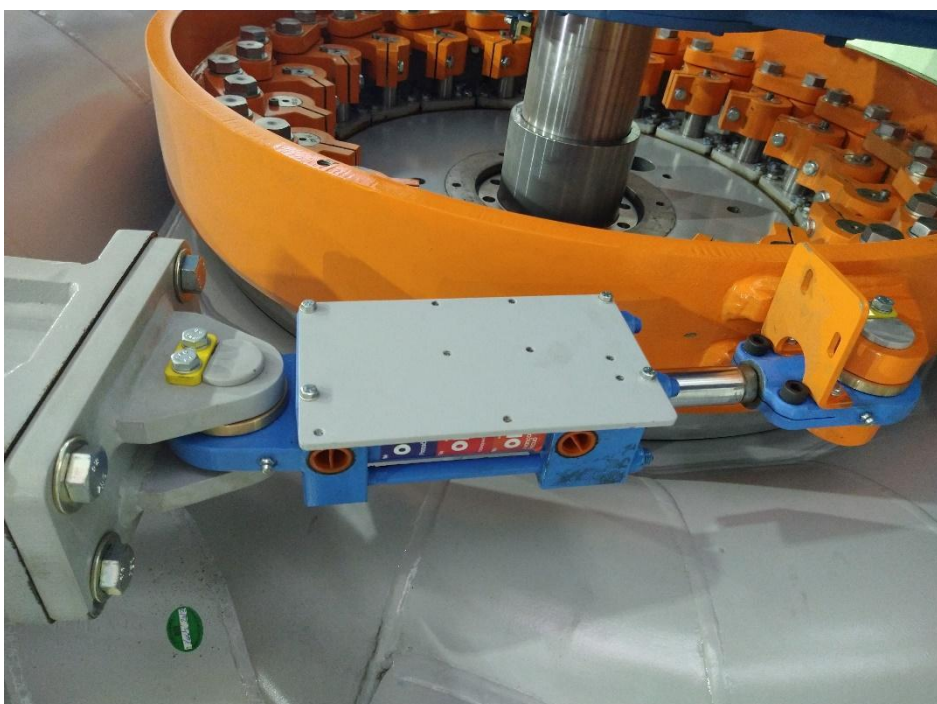
Feitos esses procedimentos, são torqueadas novamente todas as porcas de fixação das tampas com trava química. Após isso, pode ser montado o anel de regulagem sobre a tampa. No anel de regulagem, são montados conjuntos de bielas e alavancas responsáveis por transferir o movimento do mesmo para as palhetas diretrizes. As alavancas devem ser encaixadas nos cabos das palhetas, e as bielas as conectam no anel. Para realizar o movimento do anel de regulagem, é montado entre a caixa espiral e o anel, um cilindro hidráulico de dupla ação que é acionado por meio de uma unidade hidráulica. O conjunto de alavancas e bielas, assim como o cilindro hidráulico são apresentados nas figuras 27 e 28.

Figura 27: Conjunto de regulação da turbina



Fonte: Autor (2022)

Figura 28: Cilindro hidráulico acoplado no anel de regulação



Fonte: Autor (2022)

Com todos estes componentes devidamente montados e em funcionamento dá-se início ao procedimento de ajuste de fechamento das palhetas, onde o montador ajusta a vedação entre as palhetas diretrizes, desbastando com o auxílio de uma lima a face de contato de uma palheta com a outra, de maneira que, ao

acionar o cilindro hidráulico, todas as palhetas entrem em contato umas nas outras, não deixando folga maior do que 0,05mm entre elas.

Quando todas as palhetas se encostam umas nas outras sem existência de folga maior do que 0,05 mm, é realizado o processo de pinagem da posição entre elas e as alavancas. Para isso é feita uma furação na linha de centro entre a palheta e a alavanca onde será passado um alargador e então fixado o pino.

Após a pinagem, chama-se os colaboradores da área da qualidade para conferir as medidas necessárias. Depois da liberação da máquina são montados alguns sensores e componentes menores e é realizado o acabamento e embalagem.

3.3 Coleta e classificação dos dados

Durante a montagem do produto, foram identificadas 67 atividades que serão detalhadas na tabela 1. Estas atividades foram classificadas com relação ao seu subgrupo, se agregam ou não agregam valor ao produto (VAA ou NVAA respectivamente), pelo tempo utilizado, pela representatividade desse tempo no total da máquina, e pelo custo de hora/máquina efetivo.

Tabela 1: Todas as atividades realizadas na montagem do produto

Descrição da atividade	Subgrupo da atividade	Nvaa/Vaa	min	%	custo (R\$)
Organizar posto	Organização	NVAA	195	4,63%	120,25
Realizar ajuste de fechamento	Ajuste	NVAA	126	2,99%	77,70
Ajustar posição do cilindro	Ajuste	NVAA	25	0,59%	15,42
Avaliação de procedimento	Analisar	NVAA	25	0,59%	15,42
Aguardar análise da área de apoio	Espera	NVAA	110	2,61%	67,83
Aguardar profissional medir concentricidade	Espera	NVAA	51	1,21%	31,45
Numerar bronzes	Identificar	NVAA	6	0,14%	3,70
Anotar medidas de usinagem	Identificar	NVAA	5	0,12%	3,08
Limpar mancais	Limpeza	NVAA	60	1,43%	37,00

Limpar alavancas	Limpeza	NVAA	20	0,48%	12,33
Medir bronze de referência	Medir	NVAA	6	0,14%	3,70
Medir bronzes para usinagem	Medir	NVAA	95	2,26%	58,58
Medir folgas palheta/ tampa	Medir	NVAA	80	1,90%	49,33
Medição de concentricidade	Medir	NVAA	51	1,21%	31,45
Medir posicionamento para realizar ajuste de fechamento	Medir	NVAA	43	1,02%	26,52
Medir aberturas	Medir	NVAA	60	1,43%	37,00
Montar buchas nos mancais	Montar	VAA	330	7,84%	203,50
Montar mancais na tampa do lado oposto	Montar	VAA	47	1,12%	28,98
Montar gaxetas nas tampas	Montar	VAA	11	0,26%	6,78
Fazer e montar borrachas de vedação	Montar	VAA	20	0,48%	12,33
Montar mancais na tampa do lado acionado	Montar	VAA	44	1,05%	27,13
Montar bronzes	Montar	VAA	80	1,90%	49,33
Montar tirantes na tampa do lado oposto	Montar	VAA	60	1,43%	37,00
Montar tampa do lado oposto	Montar	VAA	20	0,48%	12,33
Montar porcas e arruelas	Montar	VAA	17	0,40%	10,48
Torquear porcas	Montar	VAA	17	0,40%	10,48
Montar tirantes na caixa espiral	Montar	VAA	60	1,43%	37,00
Montar buchas nas bielas	Montar	VAA	25	0,59%	15,42
Montar bielas nas alavancas	Montar	VAA	49	1,16%	30,22
Montar porcas no lado acionado	Montar	VAA	26	0,62%	16,03
Montar chapas de nivelamento	Montar	VAA	25	0,59%	15,42
Montar parafusos dos mancais	Montar	VAA	13	0,31%	8,02

Pré-montar parafusos nas alavancas	Montar	VAA	20	0,48%	12,33
Montar anel de regulagem	Montar	VAA	7	0,17%	4,32
Acoplar cilindro e anel de regulagem	Montar	VAA	30	0,71%	18,50
Montar alavancas nas palhetas	Montar	VAA	34	0,81%	20,97
Acoplar alavancas no anel	Montar	VAA	76	1,81%	46,87
Montar tampa de inspeção	Montar	VAA	30	0,71%	18,50
Montar tampa de extensão	Montar	VAA	45	1,07%	27,75
Montar batentes	Montar	VAA	20	0,48%	12,33
Montar palhetas na tampa do lado oposto	Montar	VAA	54	1,28%	33,30
Montar sapatas de deslize	Montar	VAA	80	1,90%	49,33
Montar cilindro hidráulico	Montar	VAA	43	1,02%	26,52
Tombar pré-distribuidor	Movimentação	NVAA	150	3,56%	92,50
Transporte de materiais	Movimentação	NVAA	7	0,17%	4,32
Reposicionar tampa	Movimentação	NVAA	5	0,12%	3,08
Tombar anel de regulagem	Movimentação	NVAA	15	0,36%	9,25
Posicionar pré-distribuidor	Posicionamento	NVAA	90	2,14%	55,50
Posicionar tampas	Posicionamento	NVAA	53	1,26%	32,68
Preparar materiais para montagem	Preparação	NVAA	208	4,94%	128,27
Preparação para medir concentricidade	Preparação	NVAA	15	0,36%	9,25
Conectar unidade hidráulica no cilindro	Preparação	NVAA	20	0,48%	12,33
Protocolar medidas	Protocolar	NVAA	20	0,48%	12,33
Realizar furações na tampa lado acionado	Usinagem	VAA	73	1,73%	45,02

Utilizar alargador nas furações	Usinagem	VAA	68	1,62%	41,93
Realizar furações na tampa lado oposto	Usinagem	VAA	99	2,35%	61,05
Fixar suportes no cilindro de dupla ação	Usinagem	VAA	45	1,07%	27,75
Usinar bronze de referência	Usinagem	VAA	20	0,48%	12,33
Usinagem dos bronzes	Usinagem	VAA	315	7,48%	194,25
Pinar alavancas	Usinagem	VAA	255	6,06%	157,25
Retirar rebarbas das palhetas	Retrabalho	NVAA	60	1,43%	37,00
Limpar rebarba dos bronzes	Retrabalho	NVAA	36	0,86%	22,20
Ajustar novamente bronze	Retrabalho	NVAA	48	1,14%	29,60
Remover tampas	Retrabalho	NVAA	43	1,02%	26,52
Remontar tampas	Retrabalho	NVAA	83	1,97%	51,18
Retorquear porcas e parafusos com trava química	Retrabalho	NVAA	136	3,23%	83,87
Acabamento	Retrabalho	NVAA	105	2,49%	64,75

Fonte: Autor (2022)

3.4 Construção a análise dos gráficos

Para a construção dos gráficos foram consideradas apenas as atividades que não agregam valor ao produto, visto que, o foco do estudo é identificar desperdícios. Tendo isso em vista, foi elaborada a seguinte tabela apresentada na tabela 2, que lista todas as atividades que não agregam diretamente valor ao produto, separando-as por subgrupo de atividades, NVAA/VAA (não agrega valor e agrega valor, respectivamente), representatividade, tempo de operação e custo no produto.

Tabela 2: Atividades que não agregam valor ao produto

Descrição da atividade	Subgrupo da atividade	Nvaa/vaa	min	%	custo (R\$)
------------------------	-----------------------	----------	-----	---	-------------

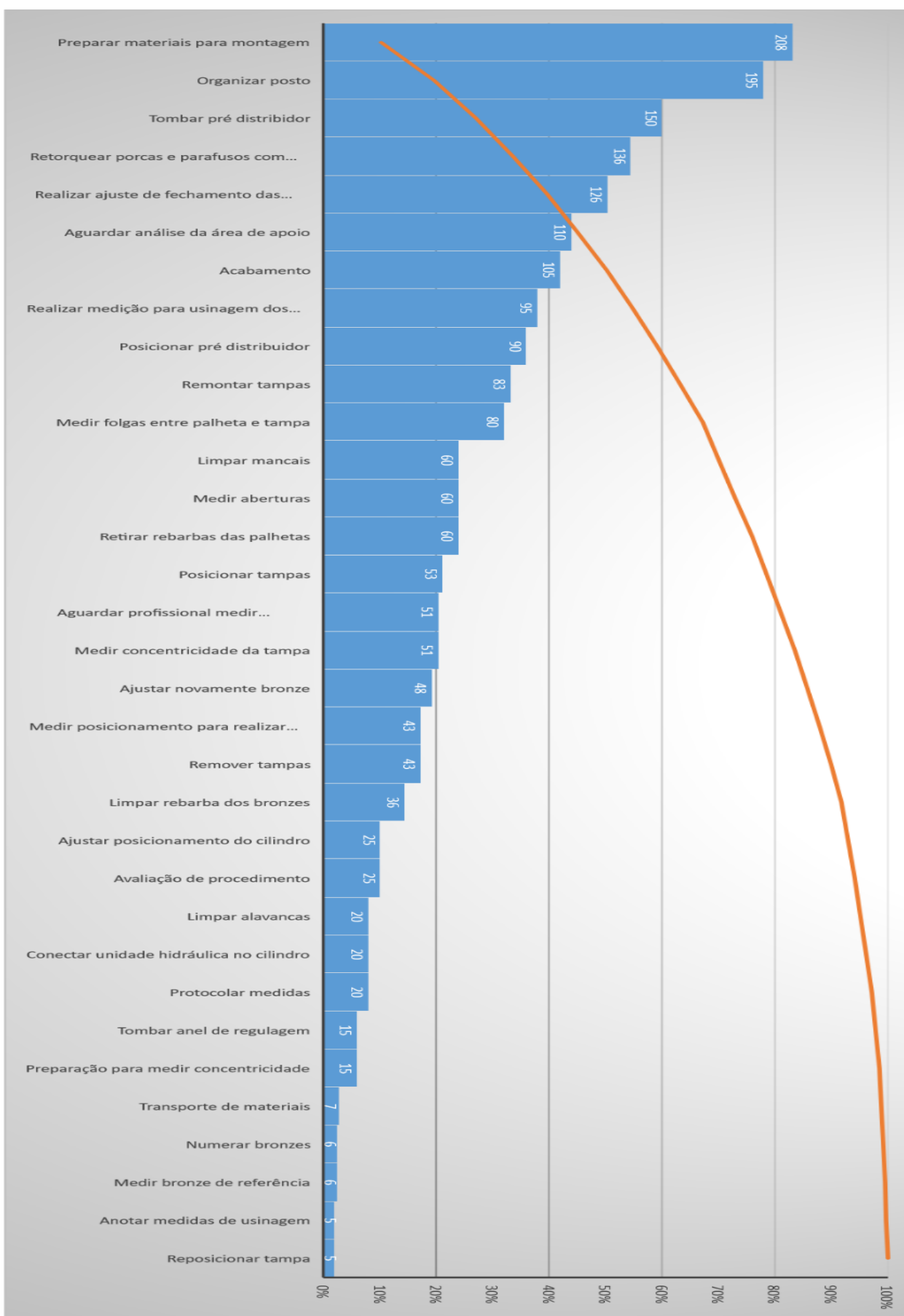
Organizar posto	Organização	NVAA	195	4,63%	120,25
Realizar ajuste de fechamento	Ajuste	NVAA	126	2,99%	77,70
Ajustar posicionamento do cilindro	Ajuste	NVAA	25	0,59%	15,42
Avaliação de procedimento	Analisar	NVAA	25	0,59%	15,42
Aguardar análise da área de apoio	Espera	NVAA	110	2,61%	67,83
Aguardar profissional medir concentricidade	Espera	NVAA	51	1,21%	31,45
Numerar bronzes	Identificar	NVAA	6	0,14%	3,70
Anotar medidas de usinagem	Identificar	NVAA	5	0,12%	3,08
Limpar mancais	Limpeza	NVAA	60	1,43%	37,00
Limpar alavancas	Limpeza	NVAA	20	0,48%	12,33
Medir bronze de referência	Medir	NVAA	6	0,14%	3,70
Realizar medição para usinagem dos bronzes	Medir	NVAA	95	2,26%	58,58
Medir folgas entre palheta e tampa	Medir	NVAA	80	1,90%	49,33
Medição da concentricidade	Medir	NVAA	51	1,21%	31,45
Medir posicionamento para realizar ajuste de fechamento	Medir	NVAA	43	1,02%	26,52
Medir aberturas	Medir	NVAA	60	1,43%	37,00
Tombar pré distribuidor	Movimentação	NVAA	150	3,56%	92,50
Transporte de materiais	Movimentação	NVAA	7	0,17%	4,32
Reposicionar tampa	Movimentação	NVAA	5	0,12%	3,08
Tombar anel de regulagem	Movimentação	NVAA	15	0,36%	9,25
Posicionar pré distribuidor	Posicionamento	NVAA	90	2,14%	55,50
Posicionar tampas	Posicionamento	NVAA	53	1,26%	32,68

Preparar materiais para montagem	Preparação	NVAA	208	4,94%	128,27
Preparação para medir concentricidade	Preparação	NVAA	15	0,36%	9,25
Conectar unidade hidráulica no cilindro	Preparação	NVAA	20	0,48%	12,33
Protocolar medidas	Protocolar	NVAA	20	0,48%	12,33
Retirar rebarbas das palhetas	Retrabalho	NVAA	60	1,43%	37,00
Limpar rebarba dos bronzes	Retrabalho	NVAA	36	0,86%	22,20
Ajustar novamente bronze	Retrabalho	NVAA	48	1,14%	29,60
Remover tampas	Retrabalho	NVAA	43	1,02%	26,52
Remontar tampas	Retrabalho	NVAA	83	1,97%	51,18
Retorquear porcas e parafusos com trava química	Retrabalho	NVAA	136	3,23%	83,87
Acabamento	Retrabalho	NVAA	105	2,49%	64,75

Fonte: Autor (2022)

A partir da tabela 2, as atividades foram dispostas em um gráfico de Pareto, de maneira a destacar quais estavam ocupando a maior parte do tempo não produtivo, conforme figura 16.

Figura 29: Análise de Pareto das atividades que não agregam valor



Fonte: Autor (2022)

Seguindo o princípio de Pareto, que diz que 80% dos efeitos é produzido por vinte por cento das causas, foram detalhadas as operações que somam 80% do tempo de produção na tabela 3.

Tabela 3: Análise de Pareto

Descrição da atividade	Subgrupo da atividade	Nvaa/vaa	min	%	custo (R\$)
Preparar materiais para montagem	Preparação	NVAA	208	4,94%	128,27
Organizar posto	Organização	NVAA	195	4,63%	120,25
Tombar pré-distribuidor	Movimentação	NVAA	150	3,56%	92,50
Retorquear porcas e parafusos com trava química	Retrabalho	NVAA	136	3,23%	83,87
Realizar ajuste de fechamento	Retrabalho	NVAA	126	2,99%	77,70
Aguardar área de apoio	Espera	NVAA	110	2,61%	67,83
Acabamento	Retrabalho	NVAA	105	2,49%	64,75
Posicionar pré-distribuidor	Movimentação	NVAA	90	2,14%	55,50
Remontar tampas	Retrabalho	NVAA	83	1,97%	51,18
Medir folgas entre palheta e tampa	Medir	NVAA	80	1,90%	49,33
Limpar mancais	Limpeza	NVAA	60	1,43%	37,00
Medir aberturas	Medir	NVAA	60	1,43%	37,00
Retirar rebarbas das palhetas	Retrabalho	NVAA	60	1,43%	37,00
Posicionar tampas	Movimentação	NVAA	53	1,26%	32,68
Aguardar profissional medir concentricidade	Espera	NVAA	51	1,21%	31,45
Medir concentricidade da tampa	Medir	NVAA	51	1,21%	31,45

Fonte: Autor (2022)

Pode-se observar dentre as atividades sem valor agregado a existência de três dos oito desperdícios de produção citados anteriormente, são eles: movimentos

desnecessários, retrabalho e espera. Porém destacam-se também outras atividades que não se enquadram nos desperdícios produtivos, porém são inerentes aos processos e não agregam valor diretamente ao produto, com destaque para preparação dos materiais para montagem e organização do posto de trabalho.

Com relação aos três desperdícios de produção encontrados as atividades ficaram agrupadas da seguinte maneira:

- Movimento desnecessário

Tombar pré-distribuidor: Refere-se à ação de deitar a caixa espiral a fim de deixá-la em posição adequada para montagem. Isso se faz necessário pois a caixa espiral vem na posição vertical da caldeiraria;

Posicionar pré-distribuidor: É a ação de deixar a caixa espiral em posição para montagem dentro do posto, nivelando a mesma para facilitar operações posteriores;

Posicionar tampas: É a atividade onde o colaborador deixa as tampas do distribuidor posicionadas sobre cavaletes para possibilitar a continuidade das operações;

- Retrabalho

Retorquear porcas e parafusos com trava química: Devido a ajustes relacionados à distância entre tampas, não é recomendado aplicar trava química nas porcas de fixação antes de conferir as medidas requisitadas, portanto, após o ajuste, faz-se necessário retirá-las para aplicar trava química e torqueá-las novamente. O mesmo ocorre com os parafusos de fixação dos calços de bronze.

Realizar ajuste de fechamento das palhetas: O projeto das palhetas diretrizes especifica as medidas necessárias para a usinagem garantir a vedação entre elas, portanto, qualquer ajuste posterior pode ser considerado um retrabalho.

Acabamento: Ocorre ao final da montagem da máquina, e seu objetivo é garantir a qualidade estética do produto. Esta operação é realizada pelo próprio montador e nela é feita a limpeza e retoques da pintura da turbina.

Remontar tampas: Ocorre quando é necessário o ajuste da distância entre as tampas, visto que, os calços de regulagem dessa medida são posicionados embaixo da tampa do lado oposto à regulagem.

Retirar rebarbas das palhetas: Devido ao processo de usinagem, as palhetas diretrizes vêm ao posto com algumas rebarbas nas faces onde será realizada a medição da distância entre palheta e tampa, portanto, faz-se necessário retirá-las manualmente.

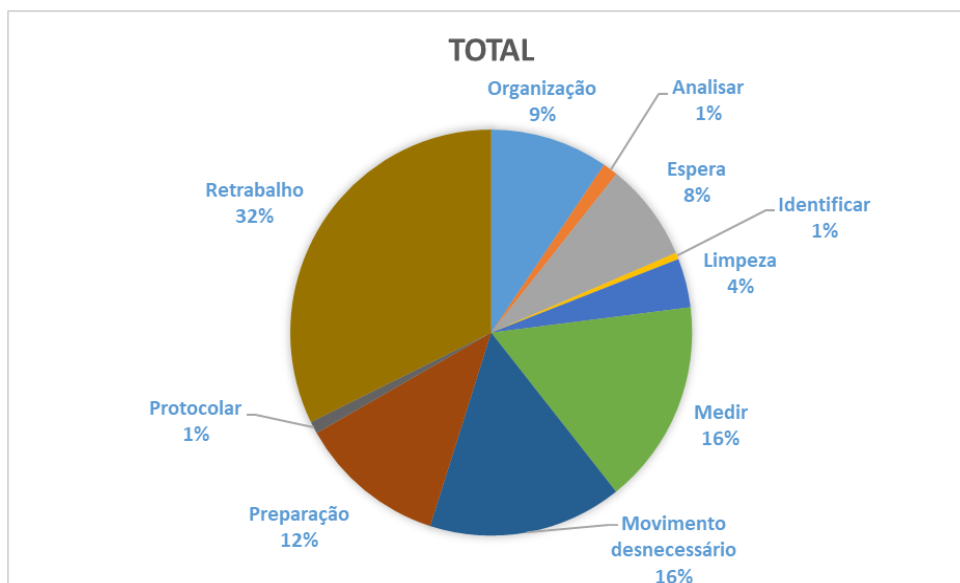
- Espera

Aguardar área de apoio: Quando ocorre algum evento indesejado, faz-se necessário algum documento, orientação, ferramenta ou dispositivo, o colaborador precisa requisitar isso à área de apoio e então esperar o atendimento.

Aguardar o profissional medir a concentricidade entre as tampas: Como os colaboradores não têm o treinamento para a operação de medição de concentricidade, faz-se necessário aguardar um profissional treinado para realizar isso.

Foi realizada também uma análise com relação aos subgrupos de atividades que não agregam valor, resultando no gráfico apresentado na figura 30.

Figura 30: Subgrupos de atividades que não agregam valor

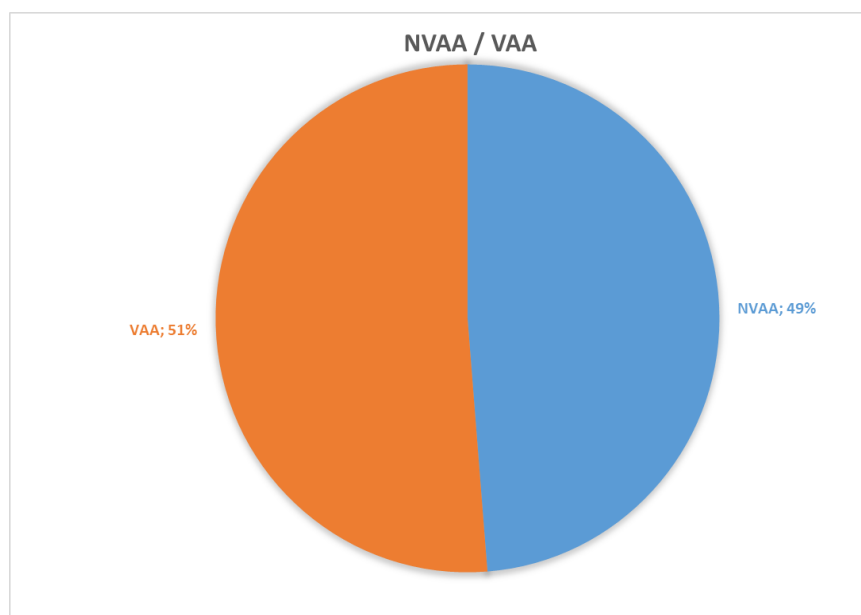


Fonte: Autor (2022)

Com base neste gráfico pode-se observar a proporção dos desperdícios produtivos em relação às outras atividades que não agregam valor ao produto somando 56% do total, com ênfase para o desperdício de retrabalho com 32%.

Com relação ao total de atividades que não agregam valor com o total de atividades do produto, construiu-se um gráfico que apresenta essa proporção, mostrado na figura 31.

Figura 31: Proporção de atividades que não agregam valor



Fonte: Autor (2022)

Pode-se concluir, com base no gráfico apresentado, que praticamente metade das atividades realizadas para montar o produto escolhido não agregam valor ao mesmo. A proporção encontrada no produto em questão é 44% superior à proporção mencionada por Dennis (2011), porém cabe mencionar que as atividades que agregam valor não foram detalhadamente inspecionadas e analisadas em busca de desperdícios, portanto, se isso fosse realizado, a proporção de tempo sem agregação de valor pode ser ainda maior.

Foi-se comparado também o tempo total utilizado pelo montador para a montagem do produto, com o tempo que foi projetado pela engenharia para a realização de todas as operações. Com isso obtiveram-se os seguintes dados:

- Tempo especificado pela engenharia: 213,32 horas, estimando-se um total de 7.982,84 relacionado com o custo hora/máquina da seção e somando-se um custo anual de R\$ 55.249,88.
- Tempo efetivamente utilizado: 70,17 horas, totalizando um total de R\$ 2.596,17 relacionado à hora máquina e R\$ 18.173,17 anuais.

Portanto, averiguou-se a diferença de 143,15 horas, com uma redução de R\$ 5.296,67 por máquina e R\$ 37.076,71 por ano. A importância desse dado, deve-se ao fato de a empresa estar desperdiçando mão de obra ao prever uma capacidade produtiva menor do que realmente possui. Isso pode ser refletido também no preço final do produto para o cliente, visto que, a diferença pode ser abatida nos custos produtivos.

3.5 Mitigação dos desperdícios

Buscando eliminar, ou ao menos reduzir, os desperdícios produtivos e as atividades que não agregam valor ao produto, foi elaborado um plano de ação para cada um dos três desperdícios da produção que foram encontrados:

- Retrabalho: Utilizar calços na tampa lado acionado, ou seja, na tampa superior, de maneira a possibilitar a montagem dos calços somente com a desmontagem de uma tampa. Isso efetivaria uma redução de 0,97 horas, resultando em uma economia de 35,89 R\$ por máquina e 251,23 R\$ por ano.
- Movimento desnecessário: Caixa espiral chegar na montagem na

posição de montagem, com uma redução de 1,25 horas, resultando em uma economia de 46,25 R\$ por máquina e 323,75 R\$ por ano.

- Espera: Treinar os próprios colaboradores da seção para realizar a medição da concentricidade das tampas que causaria uma redução de 0,85 horas resultando em uma economia de R\$ 31,45 por máquina e R\$ 220,15 por ano.

As figuras 32, 33 e 34 apresentam esses planos de ação no formato 5W1H para melhor descrever os mesmos.

Figura 32: Plano de ação para utilização dos calços de nivelamento na tampa do lado da regulagem



Fonte: Autor (2022)

Figura 33: Plano de ação para chegada da caixa espiral em posição de montagem



Fonte: Autor (2022)

Figura 34: Plano de ação para chegada da caixa espiral em posição de montagem



Fonte: Autor (2022)

Com relação às outras atividades que não agregam valor às quais não puderam ser desenvolvidos planos de ação, foram realizadas pesquisas entre os colaboradores da seção para averiguar as causas raízes das mesmas e facilitar para futuras ações de mitigação. Serão abordadas somente as atividades mais comentadas pelos entrevistados, consideradas pelos colaboradores como mais impactantes. Os resultados serão apresentados a seguir.

3.5.1 Causas dos desperdícios relacionado à organização do posto de trabalho

- Excesso de ferramentas, dispositivos e equipamentos necessários para cada operação;
- Dificuldade em dispor as ferramentas de maneira organizada devido à sua quantidade e ao espaço disponível quando no interior da máquina. No exterior da máquina a disposição de ferramentas é prejudicada devido ao pouco espaço disponível no carrinho de ferramentas;
- Faz-se necessário a organização do posto múltiplas vezes quando a operação não pode ser finalizada no turno em que é iniciada ou é interrompida (mudança do operador de atividade, chegada do fim do turno, problemas relativos à montagem, múltiplas tarefas exercidas pelo operador, ...);
- Execução de múltiplas tarefas pelo operador;
- Utilização constante de equipamentos pneumáticos;
- Embalagens dos materiais a serem montados geram muitos resíduos a serem descartados;
- Procedimentos de desmontagem inerentes ao processo;

Possíveis ações amenizadoras:

- Bancada móvel multiuso e portátil para agrupar ferramentas;
- Aumentar utilização de ferramentas elétricas;
- Estudo para simplificação/alteração/eliminação de procedimentos;
- Aumentar padronização dos componentes dos distribuidores diminuindo necessidade da grande gama de ferramentas e dispositivos disponíveis na fábrica;
- Criação de kits de montagem com ferramentas pré-dispostas para cada operação com fácil acesso, para aumentar o espaço disponível nos

carrinhos;

3.5.2 Causas da necessidade de retorquear com trava química componentes de fixação

- Necessidade de retirada ou deslocamento das tampas devido à imprecisão de fatores como: concentricidade entre as tampas, quantidade e disposição de chapas de nivelamento na tampa do lado oposto, usinagem das tampas e ajuste de fechamento das palhetas.

Possíveis ações amenizadoras:

- Chaves de impacto pneumáticas ou elétricas com torque pré-definido

3.5.3 Causas da necessidade de ajuste no fechamento das palhetas

- Usinagem ruim do perfil das palhetas ocasionando em grandes retiradas de material durante o ajuste, tanto para realizar a vedação quanto para corrigir a variação na posição do ponto de contato entre as palhetas;
- Movimentação das palhetas mesmo após aperto no parafuso da alavanca;
- Proporções das turbinas não permitem uma posição de trabalho ergonômica prejudicando a produtividade;
- Movimentos repetitivos causam grande cansaço físico prejudicando a produtividade;
- Dificuldade de movimentação em alguns casos atrasa a operação e gera cansaço físico;
- Esporadicamente ocorrem travamento na movimentação de algumas das palhetas, necessitando de grandes esforços para destravá-las;
- Mudança no posicionamento das palhetas ao movimentar o sistema como um todo, necessitando-se de reajuste.
- Alta precisão requisitada para o procedimento manual demanda grande quantidade de tempo para realização;

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observou-se com este estudo de caso, a grande margem para melhoria que pode ser encontrada quando se realiza uma análise detalhada e minuciosa nas operações de produção. Com o acompanhamento da montagem da turbina Francis em questão pôde-se notar uma proporção significativa de atividades que não estavam agregando valor ao produto, tendo em vista que, 49% das operações realizadas durante a montagem da máquina não agregam valor algum para o cliente.

Notou-se, durante a análise gráfica, a existência de uma grande proporção de três dos oito desperdícios de produção citados na revisão bibliográfica, somando 56% de todos os desperdícios, sendo eles: Espera, movimentação desnecessária e retrabalho. Porém as atividades que mais utilizaram tempo de produção foram a de organização do posto e preparação dos materiais para a montagem, o que é um indício de um lapso nos sentidos do 5s, e também, uma oportunidade de melhoria nesse quesito, recomendando-se um estudo dedicado a esse aspecto. Outro desperdício observado, relacionando-se com o planejamento do processo como um todo, refere-se ao subdimensionamento da capacidade produtiva da seção, especificando um número de horas para a montagem do produto muito maior do que o tempo efetivamente utilizado pelo colaborador, uma diferença de cerca de 143,15 horas.

Retomando sobre os desperdícios de produção, foram desenvolvidos três planos de ação com o objetivo de eliminar ou reduzir os mesmos, sendo eles: Utilizar calços na tampa lado acionado, solicitar para a caixa espiral chegar na montagem na posição de montagem e treinar os próprios colaboradores da seção para realizar a medição da concentricidade das tampas. Se esses planos de ação puderem ser efetivamente implantados, estima-se que haveria uma redução de 3,07 horas de atividades sem valor agregado, totalizando 8,98% do total de desperdícios, somando no ano cerca de 21,49 horas, o que, em termos financeiros, significaria R\$113,59 por máquina e R\$ 795,15 por ano.

Com relação aos desperdícios aos quais não foram desenvolvidos planos de ação, foi efetuada uma pesquisa com os envolvidos na produção, a fim de verificar quais os principais problemas e ter uma visão do assunto de outro ângulo. A partir disso foram comentados em maior proporção os desperdícios com organização do

posto de trabalho, retorque de parafusos e ajuste de fechamento, obtendo também as possíveis causas raízes desses problemas. A importância desse tópico se dá na possibilidade de execução de estudos futuros específicos para cada caso, dando a base de dados necessária para eliminar tais desperdícios.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir com este estudo de caso a efetividade do sistema de manufatura enxuta no quesito de encontrar pontos de melhoria nos mais diversos processos. Isso pode ser afirmado pois, mesmo se situando dentro de uma conceituada empresa cujo foco é a melhoria contínua e eliminação de desperdícios, este estudo demonstrou que uma porcentagem significativa do processo não agrega valor ao cliente.

Todos os objetivos propostos foram devidamente concluídos, identificando diversos desperdícios encontrados dentro do processo de montagem do produto em questão e propiciando sua redução, definindo o setor e produto a ser estudado, mapeando todas as operações de montagem, construindo e analisando os gráficos e elaborando ações mitigadoras.

Tendo em vista todas as discussões apresentadas na análise dos resultados, a relevância deste estudo se dá, por explicitar a proporção de desperdícios dentro de um processo de montagem, além de identificar onde se encontram e o porquê ocorrem. Foi apresentada também além de possíveis soluções, uma base de dados que pode ser utilizada para futuros trabalhos no mesmo sentido, favorecendo o movimento de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

- DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2011
- FARIAS, Tamires Severo. **Eficiência operacional e os sete desperdícios do sistema Toyota: estudo de caso de uma indústria de embutidos**. 2018. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018. Disponível em: <http://repositorio.upf.br/handle/riupf/1455>. Acesso em: 02 maio de 2022.
- GIL, Antonio C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social, 7ª edição**. São Paulo: São Paulo : Editora Atlas, 2019.
- GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da Moderna Manufatura**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2017.
- Jr, Arlindo P.; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri: Editora Manole, 2016
- Monden, Yasuhiro. **Sistema Toyota de Produção**. Porto alegre: Editora Bookman, 2015
- NETO, Manuel Rangel B.; CARVALHO, Paulo César Marques D. **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.
- OLIVEIRA, Iberê Carneiro D.; OBADOWSKI, Vinícius N.; JÚNIOR, Ary P. B S.; et al. **Geração de Energia Elétrica**. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO S.A, 2021.
- REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica 3a ed**. Barueri: Editora Manole, 2017.
- SANTOS, Lucimar Becker dos. **Aplicação das técnicas do lean manufacturing na redução de desperdícios em uma empresa metal mecânica**. 2018. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2018. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/5602>. Acesso em: 07 de maio de 2022.
- SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996.
- SULZBACH, Alexandro Tiago. **Melhorias de produtividade, segurança e redução de desperdícios em uma linha de montagem de ferramentas agrícolas**. 2019. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/1246>. Acesso em: 06 de maio de 2022.
- TUBINO, Dalvio F. **Manufatura Enxuta como Estratégia de Produção: A Chave para a Produtividade Industrial**. São Paulo: Editora Atlas, 2015.

APÊNDICE A – Autorização de pesquisa



Solicitação de Autorização para Pesquisa

Jaraguá do Sul, 28 de março de 2022

Eu, **Matheus dos Santos**, responsável principal pelo projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) denominado preliminarmente de “**Análise de desperdícios no processo de montagem de uma turbina Francis**”, do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - RAU, venho pelo presente, solicitar autorização da [REDACTED] para a realização da coleta de dados em sua empresa no período de 07/2021 a 06/2022, com o objetivo de mapear os principais desperdícios no processo de montagem de turbinas Francis. Esta pesquisa está sendo orientada pelo Prof. Edson Sidnei Maciel Teixeira, pesquisador do IFSC.

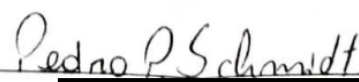
Para o desenvolvimento desta pesquisa, solicito autorização para a realizar a coleta de dados que consistirá de análise do processo de montagem do produto, análise do roteiro de produção, tempos de processo, pesquisas com os colaboradores e registros fotográficos. Saliento que as coletas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome de um funcionário e da empresa, em qualquer fase do estudo. As imagens serão divulgadas somente nesta pesquisa e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas, tomando o cuidado de não identificar pessoa, marca ou produto da empresa.

Contando com a autorização desta instituição, agradecemos e coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.



Matheus dos Santos - Pesquisador Principal
Mathewsantos42@gmail.com
(47) 99177-6904

Autorizo:



[REDACTED]