

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO DE
MANDÍBULAS POR MEIO DA REDUÇÃO DE SUCATEAMENTO.**

CAÍQUE TOMAZ MACIEL COSTA

São Luís

2019

CAÍQUE TOMAZ MACIEL COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO DE
MANDÍBULAS POR MEIO DA REDUÇÃO DE SUCATEAMENTO.**

Monografia apresentada junto ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção de grau em Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha

Co-orientador: Esp. Eng. Mec. Ronan Geraldo Moreira

São Luís

2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA**

Costa, Caíque Tomaz Maciel.

Análise comparativa entre parâmetros de fabricação de mandíbulas por meio da redução de sucateamento / Caíque Tomaz Maciel Costa. – São Luís, 2019.

... f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha.

1.Ferrovia. 2.Indústria 4.0. 3.Ciência dos materiais. I.Título

CDU: 625.1

CAIQUE TOMAZ MACIEL COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO DE
MANDÍBULAS POR MEIO DA REDUÇÃO DE SUCATEAMENTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha

Co-orientador: Esp. Eng. Mec. Ronan Geraldo Moreira

Qualificação aprovada em: 03 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Prof. Msc. Amadeu Santos Nunes Júnior
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Prof. Msc. Bruno Duarte
Instituto Federal do Maranhão - IFMA

AGRADECIMENTOS

Gratidão é algo que admiro muito e dou bastante valor. Não vou me alongar muito nesse momento, visto que acabarei esquecendo de alguém, então desde já agradeço a todos que somaram comigo em qualquer ponto, vocês foram imensamente importantes para o meu crescimento pessoal e profissional. O meu primeiro agradecimento especial vai para a minha mãe, a famosa Doutora Suzy, que sempre acreditou no menino Tomaz, sempre soube que ele ia “deitar” e mais uma vez “tamo aí e é ficha”. A senhora é o meu maior exemplo de perseverança e luta para vencer, uma verdadeira guerreira. Minha rainha, pode contar sempre comigo. Sem a senhora eu não teria nenhum dos meus valores pessoais. Sou muito privilegiado por tê-la como mãe e por isso devo agradecer diariamente. Muito obrigado por tudo. Te amo demais. Ao meu pai por ser esse homem sensacional. Muitos tem ídolos famosos que muitas vezes nem conhecem, já eu tenho a sorte de morar com o meu. Ele sempre me cobrou muito por saber do meu potencial quando muitas das vezes nem eu sabia. Ele sabe que ele é a minha inspiração diária. Se eu não sou um cara lerdo o mérito vai 100% pra ele. À minha irmã, Yaya, por sempre estar comigo e ser a melhor irmã do mundo, te amo, bebê. Ao meu tio Alysson Pestana, o qual tenho toda admiração e respeito, me inspiro muito nas atitudes dele, juro eu não seria metade do engenheiro que sou sem a ajuda dele. Se bem que metade de zero...

*“Success is my only option,
failure's not”.*

Eminem

RESUMO

As ferrovias existem no mundo há mais de um século e, desde então, vem se desenvolvendo com o passar do tempo. Começou com veículos de tração animal até a chegada de locomotivas autônomas, controladas apenas por robôs. Para se ter uma ferrovia com alto índice de confiabilidade, deve-se ter um estudo minucioso acerca de Ciência dos Materiais, visto que são transportadas muitas toneladas de carga, o que gerando grandes esforços, ou seja, nem todo tipo de material garante a eficiência operacional. O ramo ferroviário vem crescendo gradativamente com o passar do tempo. Aliado às diversas concessões do governo e aos investimentos bilionários de empresários, também se tem o avanço tecnológico que muda em um “pisar de olhos”. Estamos vivendo cada vez mais a era digital, passamos por várias revoluções industriais. A primeira, por exemplo, tem uma relação intrínseca com a ferrovia devido a criação do motor a vapor, o qual trouxe prosperidade para a população. Até, por fim, a chegada da Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0. Atualmente as empresas tem o desejo de produzir cada vez mais, despendendo menos recursos. O presente trabalho tem como objetivo alinhar esses três pilares: ferrovia, Ciência dos Materiais e Indústria 4.0, a fim de reduzir o sucateamento de um componente fundido ferroviário, por meio de um estudo minucioso de qualidade.

Palavras-chave: Ferrovia, Ciência dos Materiais, Indústria 4.0

ABSTRACT

Railroads have existed in the world for over a century and since then have been developing over time. It started with animal-powered vehicles until the arrival of autonomous locomotives, controlled only by robots. To have a railroad with a high reliability index, one must have a thorough study on Material's Science, since many tons of cargo are transported, which generates great efforts, ie not every type of material guarantees the efficiency. operational. The railway industry has been growing gradually over time. Coupled with various government concessions and billionaire investments by entrepreneurs, there is also the technological advance that changes in the blink of an eye. We are living the digital age more and more, we are going through several industrial revolutions. The first, for example, has an intrinsic relationship with the railroad due to the creation of the steam engine, which brought prosperity to the population. Until finally, the arrival of the Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0. Nowadays companies have the desire to produce more and spend less resources. The present work aims to align these three pillars: rail, Materials Science and Industry 4.0 in order to reduce scrapping of a cast rail component through a thorough quality study.

Key – words: Railroad, Materials Science, Industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Veículo sobre trilho com tração animal (ANTF, 2018)..... | 18 |
| Figura 2 - A primeira locomotiva do mundo. (MÖDERLER, 2011) | 19 |
| Figura 3 - Locomotiva "The Rocket" (SANTOS, 2018)..... | 19 |
| Figura 4 - Locomotiva Baronesa (BUZELIN, 2003) | 20 |
| Figura 5 - Comparativo Matrizes de Transporte de Carga (ANTF, 2018)..... | 23 |
| Figura 6 - Malha Ferroviária do Brasil (ANTF, 2018)..... | 24 |
| Figura 7 - Investimentos em ferrovias durante os anos (ANTF, 2018)..... | 25 |
| Figura 8 - Densidade das Malhas Ferroviárias (ANTF, 2018)..... | 26 |
| Figura 9 - Informações sobre o vagão tipo gôndola (Valer, 2008)..... | 26 |
| Figura 10 - Principais partes do CCT (MAXION, 2018)..... | 27 |
| Figura 11 - Aparelho de Choque e Tração (Autor) | 28 |
| Figura 12 - Engate com mandíbula (Autor)..... | 28 |
| Figura 13 - Esquemático sobre tração em Vagões (VALER, 2008) | 29 |
| Figura 14 - Mandíbula de Vagão (Autor)..... | 29 |
| Figura 15 - Mandíbula acoplada no Engate (Autor)..... | 30 |
| Figura 16 - Motor a vapor elevando a produção (BEZERRA, 2019)..... | 31 |
| Figura 17 - Processos automatizados e correias transportadoras na indústria (SOUSA, 2019)..... | 32 |
| Figura 18 - Linha de Produção (SOUSA, 2019) | 33 |
| Figura 19 - Estágios da Revolução Industrial (KAGERMANN et al., 2013) | 34 |
| Figura 20 - Pilares da Indústria 4.0 (GRILLETTI, 2017) | 35 |
| Figura 21 - O ciclo "PDCA" (PETERS, 1998)..... | 37 |
| Figura 22 - Relatório Interativo (MICROSOFT, 2019) | 38 |
| Figura 23 - Durômetro (Autor)..... | 40 |
| Figura 24 - Máquina de medição de tração (Autor) | 42 |
| Figura 25 - Teste Charpy (MASCARENHAS, 2016)..... | 43 |
| Figura 26 - Inspeção por partícula magnética (Autor) | 44 |
| Figura 27 - Investimento por área (Autor) | 45 |
| Figura 28 - Investimento em Mandíbulas (Autor)..... | 46 |
| Figura 29 - Formulários de Inspeção Antigos (Autor) | 47 |
| Figura 30 - Nova plataforma de formulário (Autor)..... | 49 |
| Figura 31 - Taxa de Sucateamento de Mandíbulas até as 12 semanas (Autor)..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 32 - Quantidade de Itens Liberados e Sucateados por semana (Autor) | 52 |
| Figura 33 - Quadro informativo de inspeção (Autor)..... | 52 |
| Figura 34 - Quantidade de mandíbulas liberadas e sucateadas após a mudança (Autor)..... | 53 |
| Figura 35 - Taxa de sucateamento de mandíbulas após a mudança (Autor) | 54 |
| Figura 36 - Comparativo entre os gastos com mandíbulas 2018 e 2019 (Autor)..... | 54 |
| Figura 37 - Média de vida útil de mandíbulas (Autor)..... | 55 |
| Figura 38 - Teste de dureza (Autor) | 57 |
| Figura 39 – Gráfico limite de escoamento (Autor)..... | 58 |
| Figura 40 - Gráfico do limite de resistência a tração (Autor)..... | 58 |
| Figura 41 - Gráfico da redução de área (Autor) | 59 |
| Figura 42 - Comparativo percentual alongamento (Autor) | 59 |
| Figura 43 - Teste de impacto (Autor) | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição Química Aço AAR M-201 Grau E (AAR, 2015)..... | 39 |
| Tabela 2 - Propriedades Mecânicas Aço AAR M-201 Grau E (AAR, 2015) | 39 |
| Tabela 3 - Plano de Ações "PDCA" (Autor) | 48 |
| Tabela 4 - Metodologia dos testes (Autor) | 56 |
| Tabela 5 - Análise química dos materiais (Autor)..... | 57 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A.C. – Antes de Cristo

ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

RFFSA - Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima

CNT - Confederação Nacional de Transporte

EFC – Estrada de Ferro Carajás

CCT - Conjunto de Choque e Tração

ACT - Aparelho de Choque e Tração

TCR – Tração Rotativa

TCFE - Tração Fixa

CNI - Confederação Nacional da Indústria

IdC - Internet das Coisas

IdS - Internet dos Serviços

CPS - *Cyber-Physical Systems*

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PDCA – *Plan, Do, Check and Act*

OMV - Oficina de manutenção de vagões

OMTT - Oficina de manutenção de truque e tração,

CG - Carga Geral

M01 – Plano de manutenção de 15 meses

M02 – Plano de manutenção de 6 anos

Cu - Cobre

AAR - *The Association of American Railroads*

J – Joule

C – Carbono

Si – Silício

Mn – Manganês

Ni – Níquel

Mo – Molibdênio

Cr – Cromo

P – Fosforo

S – Enxofre

Pb – Chumbo

Bi – Bismuto

Fe – Ferro

Ca – Cálcio

Al - Alumínio

HB - Dureza Brinell

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 – INTRODUÇÃO | 15 |
| 2- OBJETIVOS | 16 |
| a. Objetivo Geral..... | 16 |
| b. Objetivos Específicos..... | 16 |
| 3- JUSTIFICATIVA | 17 |
| 4 REVISÃO TEÓRICA | 18 |
| 4.1 FERROVIA | 18 |
| 4.1.1 História da Ferrovia | 18 |
| 4.1.2 Informações sobre o Sistema Ferroviário | 22 |
| 4.1.3 Vagões e o Conjunto de Choque e Tração | 26 |
| 4.1.3.1 Aparelho de Choque e Tração | 27 |
| 4.1.3.2 Engate | 28 |
| 4.1.3.3 Mandíbula | 29 |
| 4.2 INDÚSTRIA 4.0 | 30 |
| 4.2.1 História da Indústria 4.0 | 30 |
| 4.2.2 Pilares da Indústria 4.0 | 35 |
| 4.2.3 Planejamento e Análise de Dados | 36 |
| 4.3 CIÊNCIA DOS MATERIAIS | 38 |
| 4.3.1 Propriedades Químicas e Mecânicas da Mandíbula | 38 |
| 4.3.2 Efeito do Cobre | 39 |
| 4.3.3 Ensaio de Dureza Rockwell | 40 |
| 4.3.4 Ensaio de Tração | 41 |
| 4.3.5 Ensaio de Impacto | 42 |
| 4.3.6 Ensaio por Partícula Magnética | 43 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS | 45 |
| 5.1 PLANEJAMENTO (PLAN) | 45 |
| 5.2 EXECUÇÃO (DO) | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3 CHECAGEM (<i>CHECK</i>) | 50 |
| 5.4 AÇÃO (<i>ACTION</i>) | 52 |
| 6 RESULTADOS | 53 |
| 6.1 RESULTADO DO CICLO “PDCA” | 53 |
| 6.2 RESULTADO DOS TESTES DAS MANDÍBULAS | 55 |
| 6.2.1 Análise Química | 56 |
| 6.2.2 Análise de Dureza | 57 |
| 6.2.3 Ensaio de Tração | 58 |
| 6.2.4 Ensaio de Impacto | 60 |
| 7 CONCLUSÃO | 61 |
| REFERÊNCIAS | 62 |

1 – INTRODUÇÃO

O mundo de hoje está cada vez mais interativo, a cada dia que passa o fluxo de informação aumenta. Podemos citar diversos avanços tecnológicos que antes jamais imaginávamos existir e hoje fazem parte do nosso dia a dia. *Uber, Waze e Netflix* são exemplos claros de inovações que estão em nosso cotidiano. Todos eles recebem um fluxo exorbitante de dados diariamente, mas o que se fazer com essas informações?

Para que se tome qualquer decisão no âmbito da engenharia, esta deve partir de uma análise de prévia de alguma base de dados. Diversas ferramentas de qualidade têm como seu escopo principal o planejamento, estudo e reflexão.

No âmbito da indústria 4.0, pode-se citar dois pilares que englobam essa análise: BIG Data e Internet das Coisas. Ambas possuem uma atenção especial para a informação e de que maneira ela pode ser tratada. Tais alicerces têm ligação direta com o desenvolvimento do projeto, já que o início é pautado no planejamento e entendimento do problema.

A ferrovia, por exemplo, vem se desenvolvendo cada vez mais com o passar do tempo. Os investimentos cada vez mais comuns no meio sempre buscam o viés da inovação. Trabalhando sempre para diminuir os gastos e manter, ou até mesmo aumentar, a produtividade.

Dentro dessa temática pode-se introduzir o objeto de estudo do presente trabalho: a mandíbula, um componente fundido, utilizado em vagões de minério de ferro, que possui um elevado índice de sucateamento. Entretanto sem dados para poder analisar o histórico de descarte, nenhum direcionamento pode ser tomado e, dessa forma, nenhuma decisão será assertiva. Tal fato gerava um gasto de 5 milhões de reais anuais a empresa.

Diante disso criou-se uma rotina de inspeção do componente. E um plano de ação cada vez mais eficaz, a fim de entender cada vez mais acerca da raiz dos problemas. Tudo isso a partir da implantação dos pilares da Indústria 4.0 na companhia. Além disso, é muito importante o entendimento acerca de Ciência dos Materiais, por isso fez-se uma análise comparativa entre dois tipos de fabricantes de Mandíbulas, a fim de entender os seus respectivos diferenciais.

2- OBJETIVOS

a. Objetivo Geral

Reduzir o sucateamento anual de mandíbulas na companhia, diminuindo os gastos em compras de materiais, por meio de um estudo de campo.

b. Objetivos Específicos

- Identificar os principais gargalos do processo;
- Digitalizar as informações geradas pela oficina;
- Criar um histórico de inspeção de componentes;
- Analisar os dados gerados pelos colaboradores;
- Implementar os pilares da indústria 4.0 na oficina, a fim de gerar valor à mão de obra e ao produto;
- Comparar os parâmetros de fabricação de mandíbulas para vagões que transportam minério de ferro.

3- JUSTIFICATIVA

É mister perceber que a ferrovia mudou a história da humanidade de maneira jamais antes vista. Agora, a Indústria 4.0. faz uma revolução semelhante aliando a ciência de dados e tomadas de decisões com a indústria. Hoje em dia visa-se cada vez mais a eficiência nas operações gerando uma redução de gastos. Nenhum plano de ação é iniciado sem uma análise prévia da situação.

O projeto tem uma relevância primordial acerca desses pilares atuais de fábricas inteligentes. O mesmo consegue conciliar o atual cenário tecnológico da Indústria 4.0 com os conhecimentos já muito pesquisados sobre ciências dos materiais. O estudo de caso visa mostrar que é possível reduzir os gastos com investimentos em materiais e, ainda sim, melhorar os processos da oficina.

4 REVISÃO TEÓRICA

4.1 FERROVIA

4.1.1 História da Ferrovia

Segundo Silva (2019), em meados de 600 A.C., foi inventado o primeiro meio de transporte que recorre a um mecanismo que faz com que se movimente por trilhos, na Grécia Antiga. Naquela época, o percurso de aproximadamente 8 quilômetros auxiliou ao transporte de embarcações e outros reparos, a partir da força bruta de diversos escravos que faziam o papel da “locomotiva” na época.

No século XVI, na Alemanha, esse mecanismo se reinventou para um transporte a partir de trilhos de madeira que eram puxados por tração animal, como é mostrado na Figura 1. Por volta do ano de 1776, os trilhos de madeira começaram a ser trocados por trilhos de ferro, o que caracterizou a *railway* (linha férrea), termo que acabou sendo difundido mais tarde, no século XIX. (SILVA, 2019)

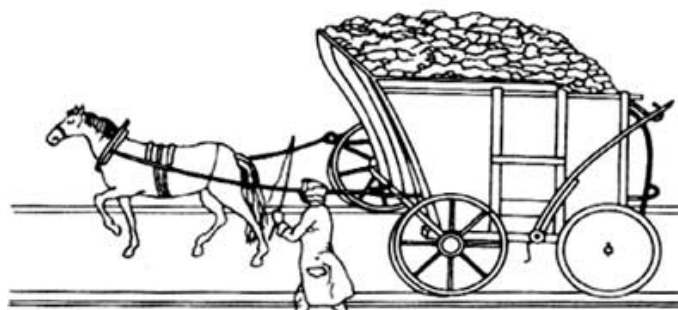


Figura 1 - Veículo sobre trilho com tração animal (ANTF, 2018)

Segundo a ANTF (2018), tais mecanismos foram sendo reinventados até que, em meados de 1800, Richard Trevithick (1771-1833), inventor britânico, testa o uso de uma máquina a vapor, mais tarde conhecida como locomotiva, a fim de substituir a tração animal no transporte ferroviário. O transporte, mostrado na Figura 2, conseguiu carregar cerca de 18 toneladas de ferro e 70 homens por 14 km. O projeto, porém, não obteve sucesso, devido ao fato de a máquina mostrar-se impossibilitada de subir pequenas rampas por falta de peso para produzir aderência da roda.

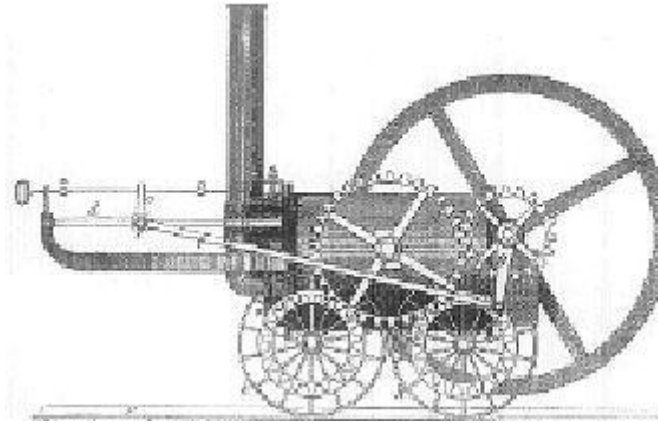


Figura 2 - A primeira locomotiva do mundo. (MÖDERLER, 2011)

Segundo Evaristo (2017), George Stephenson (1741-1848), em 1825, foi o responsável pela construção e inauguração da primeira ferrovia pública, nela ele colocou em prática seu projeto de locomotiva, a *locomotion*, a qual conseguiu percorrer a uma velocidade de 15 a 20 quilômetros por hora. A via cobria cerca de 32 quilômetros e ligava Stock a Darligton. De acordo com Matellart (1974), anos depois, em 1829, na Inglaterra, o mesmo George implantou o seu projeto de uma nova locomotiva, Figura 3, mais veloz que as antes feitas. Ela ficou conhecida com *The Rocket*.

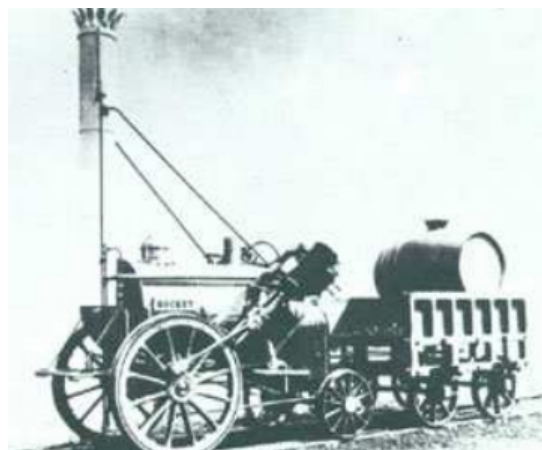


Figura 3 - Locomotiva "The Rocket" (SANTOS, 2018)

No Brasil, a ferrovia surgiu primeiro que em diversos lugares no mundo. Podemos falar até de um certo pioneirismo, visto que, segundo o DNIT (2018), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, existem registros documentais de políticas de incentivo para implantação do transporte ferroviário em 1828, apenas 3 anos depois de George Stephenson ter criado a primeira estrada de ferro. Com o intuito

de interligar diversas regiões do país, foi autorizada pelo Governo Imperial, construção de uma linha férrea.

Entretanto, mesmo com o incentivo, o projeto não foi para frente, visto que as empresas não conseguiram enxergar lucratividade no ramo. Segundo Brito (1961) àquela altura nem tudo aquilo não era visto como uma unanimidade, já que as chamadas *railway*, por enquanto, ainda eram novidade. No continente europeu, por exemplo, foi instalado com desconfiança, já que não atingiu os resultados esperados. Diante disso, Portugal não viu necessidade de fazer investimentos no Brasil colônia, visto que eles tinham como objetivo único e exclusivamente a exploração das terras.

Depois do fracasso, Diógenes (2002) conta que em 30 de abril de 1854, após o príncipe D. Pedro II dar uma concessão ao Irineu Evangelista de Sousa, vulgo Visconde de Mauá, foi inaugurada a primeira estrada de ferro construída no Brasil, ligando Petrópolis ao Rio de Janeiro. A ferrovia foi chamada de “Estrada de Ferro Mauá”.

Segundo Cabral (2009), a primeira locomotiva a puxar o primeiro trem a circular, foi chamada de Baronesa, mostrada na Figura 4, em homenagem a mulher do Barão. Ele também diz que, após a construção dessa, quatro mais foram desenvolvidas em sequência: Recife/São Francisco – 1858, Dom Pedro II – 1858, Bahia/São Francisco – 1860, Companhia Paulista – 1872, *The Donna Tereza Cristina* – 1884.



Figura 4 - Locomotiva Baronesa (BUZELIN, 2003)

Maia (2000) cita um dos maiores fatos acerca do desenvolvimento da ferrovia em solos tupiniquins: a união Rio/São Paulo, ligando as duas cidades mais importantes e desenvolvidas do país, isso se deu no momento em que se uniram os trilhos da Estrada de Ferro São Paulo com os da Estrada de Ferro Dom Pedro II. Segundo Cabral (2009), em São Paulo, a produção de café aumentou exponencialmente

a fim de conseguir suprir com rapidez a demanda de exportação para o porto do Rio de Janeiro.

Segundo Brito (1961), uma das grandes explicações para a enorme diversidade de bitolas, projetos de ferrovias com traços sinuosos e estradas de ferro localizadas de forma isolada e dispersa no país, se dá devido ao incentivo que o Governo Imperial adotou para a construção das mesmas. Quando D. Pedro II foi deposto, o Brasil contava com aproximadamente dez mil quilômetros de linhas férreas, as quais, em sua grande maioria, eram de custo desproporcional e mal construídas.

Em meados de 1940, Burlamaqui (1945) conseguiu identificar diversos problemas na malha férrea brasileira. Com os estudos em mãos, o mesmo tece as diretrizes essenciais que as melhorias no transporte ferroviário devem seguir. Visando unificar as 42 ferrovias existentes no Brasil, fazendo, assim, um sistema regional contendo 18 estradas férreas, no início da década de 1950, criou-se a Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA).

Silveira (2002) o declínio do sistema férreo brasileiro dá-se início na década de 1970, devido ao fato dele ser um concorrente direto do setor rodoviário. Para o segundo, era muito mais vantajoso em termos de investimento inicial: tem necessidade de menos tempo e menos dinheiro para ser implementada. Com a falta de investimento e o aumento da confiança em rodovias, em meados de 1995, dá-se início ao processo de desestatização de ferrovias federais e estaduais. No período, mais de oito mil quilômetros de extensões ferroviárias foram desativados.

A Associação Nacional dos Transportes Ferroviários (2018) conclui que o desenvolvimento ferroviário sempre esteve intimamente ligado às políticas de governo. A fim de organizar em ordem cronológica, a partir dos estudos do engenheiro José Eduardo Branco, a ANTF (2018) observa a seguinte sequência dos fatos:

Fase I (1835 – 1873): durante a Regência e o Segundo Reinado, sendo observado o início da implantação de ferrovias no Brasil e o desenvolvimento desse sistema de transporte de forma lenta, por intermédio de empresas essencialmente privadas.

Fase II (1873 – 1889): abrangendo o Segundo Reinado e caracterizada por uma expansão acelerada da malha ferroviária, por meio de empreendedores privados, estimulados pelo instituto da garantia de juros.

Fase III (1889 – 1930): englobando a República Velha, ainda sendo observada uma expansão acelerada da malha, porém com o estado sendo obrigado a assumir o controle de várias empresas em dificuldades financeiras.

Fase IV (1930 – 1960): compreendendo a era Vargas e o pós-guerra, com o ritmo de expansão diminuindo e um amplo controle estatal das empresas antes privadas.

Fase V (1960 – 1990): situada quase que inteiramente ao longo do período em que a nação foi governada por um regime militar, estando a malha consolidada em poucas empresas públicas, ocorrendo a erradicação de ramais antieconômicos e a implantação de projetos seletivos de caráter estratégico.

Fase VI (1990 – 2018): período da Nova República, marcado pela concessão de todo o sistema ferroviário nacional. A partir de 2016, faltando aproximadamente uma década para as concessões se encerrarem, inicia-se a discussão em torno de sua prorrogação.

4.1.2 Informações sobre o Sistema Ferroviário

É mister perceber que o transporte ferroviário é de suma importância para países de grandes extensões. Segundo Sakai (2005). no Brasil, o vasto território e a concentração industrial nos locais mais evoluídos, elevam os gastos com os transportes de cargas. Este quadro é agravado pela falta de opções fora do modal rodoviário.

A ferrovia é uma das saídas para esse entrave, um dos motivos para tal fato é que a capacidade de transporte de carga em um vagão é maior que a de um caminhão. Além disso, causa redução de conflitos urbanos, menos atropelamentos, acidentes e congestionamentos, tão habituais em grandes cidades. Segundo FIOCCA (2005), o Brasil, embora seja um lugar propício para a implantação de ferrovias, é uma nação majoritariamente rodoviária.

A divisão taxas de utilização de transportes de movimentação de cargas, situada na Figura 5, está dividida nos respectivos percentuais: 65% rodoviário, 15% ferroviário e o restante é de transporte aquaviário. O estudo ignora o transporte aéreo e dutoviário que, segundo Aurélio (2004), é o transporte que se efetiva através de dutos, tubulações, especialmente falando de gases, substâncias químicas ou outros compostos de mesma espécie, por não apresentarem participação considerável. Quando o alvo de estudo é o transporte de pessoas, o percentual de rodoviário cresce em mais de 30% e atinge a marca de incríveis 96%.

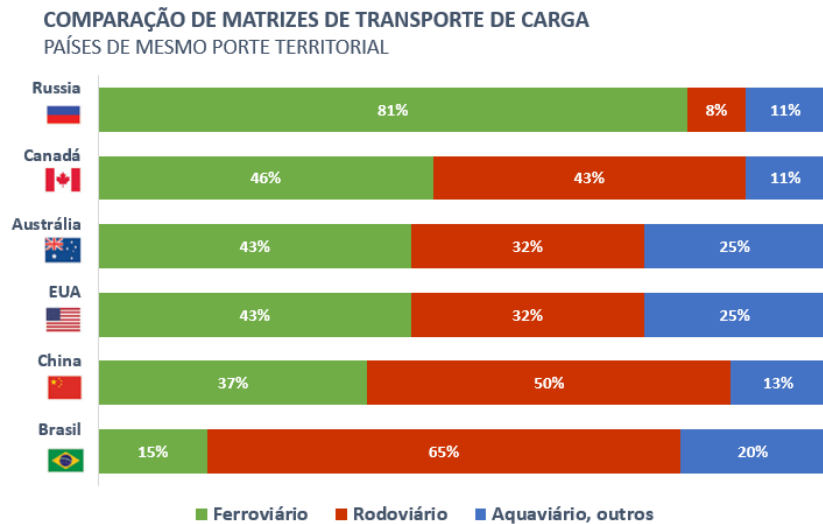


Figura 5 - Comparativo Matrizes de Transporte de Carga (ANTF, 2018)

No âmbito ambiental, o transporte ferroviário leva uma grande vantagem perante ao rodoviário. A queima de combustíveis fósseis é uma das grandes culpadas pelo crescimento do efeito estufa. Segundo a ANTF (2018), Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários, com a retirada de veículos de transporte de carga (caminhões) e reposicionando para locomotivas e vagões, teríamos uma redução considerável de emissão de poluentes, mediante ao fato de que um trem com 100 vagões equivale a cerca de 357 caminhões de estrada. Além disso, um vagão consegue carregar, em média, de 100 a 150 toneladas, cerca de aproximadamente 4 vezes a mais que a capacidade de um caminhão.

De acordo com a ANTF (2018), a capacidade do transporte ferroviário de transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias é uma das suas principais características. Apresenta, ainda, maior segurança, em relação ao modal rodoviário, com menor índice de acidentes e menor incidência de furtos e roubos.

Um ponto impactante a favor da ferrovia com relação a rodovia é o custo. Sabe-se que atualmente as empresas presam cada vez mais por economias, ainda que sejam mínimas. Segundo Ribeiro (2002), as companhias ferroviárias cobram um valor de frete cerca de 50% mais barato que as transportadoras rodoviárias. É uma relação clara de Tempo x Dinheiro, no caso de longas distâncias, o cliente teria um custo menor e com o tempo de entrega reduzido, já que não haveria conflitos, tais como: engarrafamento, pausas durante a viagem, dentre outras.

Segundo a ANTF (2018), as ferrovias pertencentes a empresas ligadas à própria ANTF somam mais de cerca de 27.700 quilômetros de estrada férrea, unem o Quadrilátero Ferrífero, no sul do estado de Minas Gerais, além dos maiores polos industriais e áreas agrícolas do país, aos mais expoentes portos do Brasil, entre todos, pode-se citar os de Itaqui, localizado no Maranhão, os de Santos/São Paulo e o de Vitória no Espírito Santo. A Figura 6 ilustra cada uma das malhas ferroviárias que estão em atuação atualmente:

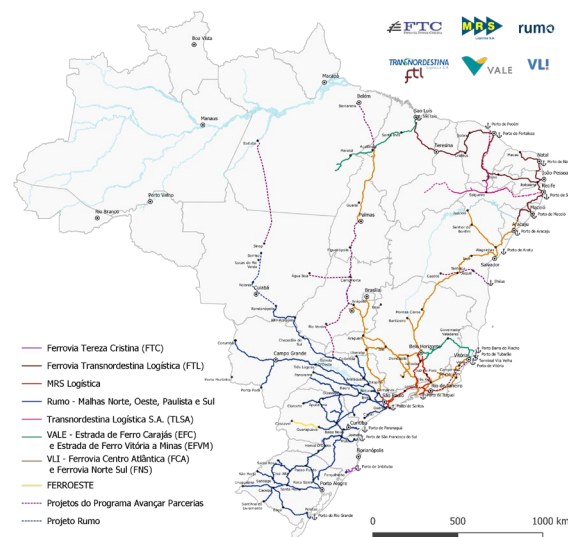


Figura 6 - Malha Ferroviária do Brasil (ANTF, 2018)

De acordo com a CNT (2013), Confederação Nacional de Transporte, como resultado dos diversos investimentos aplicados pela iniciativa privado no setor, o Brasil hoje apresenta diversos pontos positivos quando o assunto é sistema ferroviário. Conseguiu-se elevar o nível de segurança (comprovado com a redução do índice de acidentes), crescer a quantidade transportada de cargas, subir o investimento em manutenção das linhas.

A Associação Nacional de Transporte Ferroviário (2018) conta que as concessões começaram a ocorrer em meados de 1995 e, desde então, as linhas férreas já movimentaram mais de cerca de 70 bilhões de reais em investimentos, os quais tiveram como destino, em sua maioria, a manutenção e renovação da malha ferroviária, na qualificação e capacitação de funcionários, reformas de materiais rodante, entre outros.

Ainda de acordo com a ANTF (2018) somente no ano de 2018 foram aplicados mais de 4 bilhões de reais em ferrovias. Um comparativo entre os anos: em

1997 as ferrovias contavam com 1.154 locomotivas e unidades de vagões. Passados 21 anos, a quantidade de locomotivas passou representar cerca de 3.515 e o número de vagões subiu para incríveis 113.680. A Figura 7 ilustra acerca dos investimentos nas ferrovias brasileiras ao longo dos anos:



Figura 7 - Investimentos em ferrovias durante os anos (ANTF, 2018)

Ao comparar o Brasil com Canadá, China e Índia, países cujas dimensões são gigantescas, o mesmo apresenta uma baixa densidade de malha ferroviária. Ainda que comparado com países de menor escala como Argentina e México, o Brasil ainda sai perdendo. A importância das ferrovias é tamanha que cerca de mais de 95 % da atividade de mineração chegam aos portos por meio dos trilhos. E chega a corresponder por mais de 50% do açúcar exportado, com relação aos grãos agrícolas, corresponde a mais de 40% (ANTF, 2018). A Figura 8 ilustra um pouco do comparativo da densidade de malhas com relação ao Brasil.

DENSIDADE DAS MALHAS FERROVIÁRIAS


| | | Área (milhões km ²) | Ferrovias (mil km) | Ferrovias/Áreas (km/ 1.000 km ²) |
|---|---------------|------------------------------------|-----------------------|---|
|  | EUA | 9,83 | 293,56 | 29,8 |
|  | Índia | 3,29 | 68,53 | 20,8 |
|  | África do Sul | 1,22 | 20,99 | 17,2 |
|  | Argentina | 2,78 | 36,92 | 13,3 |
|  | China | 9,60 | 124,00 | 13,2 |
|  | México | 1,96 | 15,39 | 7,8 |
|  | Canadá | 9,98 | 77,93 | 7,8 |
|  | Rússia | 17,1 | 87,16 | 5,1 |
|  | Austrália | 7,74 | 36,97 | 4,8 |
|  | Brasil | 8,52 | 29,18 | 3,4 |

Figura 8 - Densidade das Malhas Ferroviárias (ANTF, 2018)

4.1.3 Vagões e o Conjunto de Choque e Tração

De acordo com Bergantini (2012), o conceito referente aos “carros” que quais são tracionados por locomotivas, mais conhecidos como vagões, nada mais é que veículos ferroviários providos de rodas que se movimentam sobre trilhos a fim de transportar cargas em geral.

Existem diversos tipos e classificações de vagões. O mais utilizado na Estrada de Ferro Carajás (EFC) é o vagão tipo gôndola, dentre eles pode-se citar o GDT e o GDU, a grande diferença entre ambos é com relação a capacidade de carga de cada um. A Figura 9 traz algumas informações sobre os vagões tipo gôndola.


| | | | |
|--|---|----|---|
|  <p>Gôndola (prefixo G)</p> | <p>Granéis sólidos e produtos diversos que podem ser expostos</p> | GD | Para descarga em giradores de vagão |
| | | GP | Com bordas fixas e portas laterais |
| | | GF | Com bordas fixas e fundo móvel (drop - bottom) |
| | | GM | Com bordas fixas e cobertura móvel |
| | | GT | Com bordas tombantes |
| | | GS | Com semi-bordas tombantes |
| | | GH | Com bordas Basculantes ou semi-tombantes com fundo em lombo de camelo |
| | | GC | Com bordas tombantes e cobertura móvel |
| | | GB | Basculante |
| | | GQ | Outros tipos |

Figura 9 - Informações sobre o vagão tipo gôndola (Valer, 2008)

Segundo Pimassoni (2010), o vagão tipo gôndola apresenta 4 tipos de sistemas. O primeiro é chamado de estrutura, que envolve a caixa, extremidade da viga e o estrado. Já o seguinte é chamado de conjunto de choque e tração, engloba toda a parte do elo de ligação entre vagões e locomotivas. A terceira é chamada de sistema de freio e é responsável pela frenagem dos veículos por meio de um conjunto pneumático. Por fim tem-se a parte da infraestrutura, também conhecida como truque. O alvo desse estudo estará exclusivamente pautado na análise do sistema de tração.

De acordo com Rosa, Sales e Sisdelli (2007) o Conjunto de Choque e Tração (CCT), Figura 10, tem como uma de suas funções principais a de transmitir esforços de compressão e tração de maneira reduzida para a corpo do carro. Ele é responsável pela união entre veículos ferroviários, nas ligações entre carros de mesma característica ou até mesmo ligações entre vagões e locomotivas.

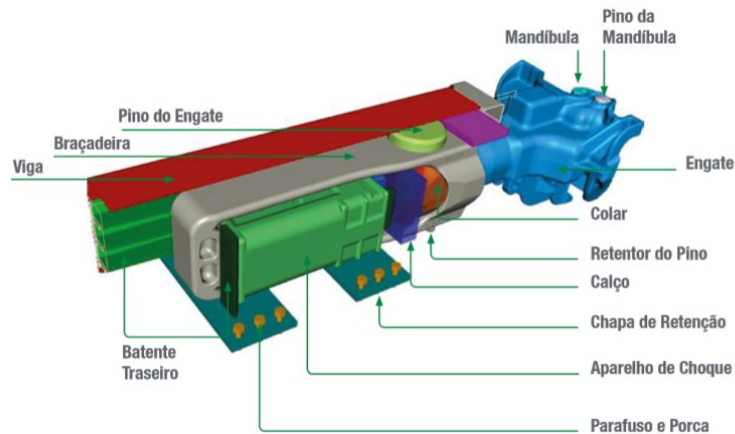


Figura 10 - Principais partes do CCT (MAXION, 2018)

4.1.3.1 Aparelho de Choque e Tração

De acordo com a Wabtec Corporation (2003), empresa que é reconhecida por fabricar diversos componentes ferroviário, o Aparelho de Choque e Tração (ACT) é conhecido como a peça chave de todo o conjunto de choque e tração, visto que ele tem como papel de absorver a energia mecânica (dentro dele existem diversas molas), além disso ainda age com uma força contrária, garantindo a folga entre os veículos.

Um Aparelho de Choque e Tração de Fricção, mostrado na Figura 11, tem por função garantir uma ligação flexível entre o conjunto do engate e o corpo do vagão, suavizando as partidas e paradas do trem, amortecendo impactos em marcha ou no acoplamento. A energia desses impactos deve ser dissipada para evitar que ocorram

danos ao vagão e a carga. Para tanto o aparelho de choque e tração deve estar em perfeitas condições de funcionamento. (MAXION, 2018)



Figura 11 - Aparelho de Choque e Tração (Autor)

4.1.3.2 Engate

Segundo a revista Acta Brazilian Science (2014), no que se diz respeito a composição física, o engate, mostrado na Figura 12, é composto de um corpo fundido, mandíbula e diversos sistemas que agem no travamento ou destravamento da mesma, fazendo com que os vagões se unam-se uns aos outros. Para vagão tipo GDT e GDU, são utilizados dois tipos de engates, o Fixo e o Rotativo devido à descarga de minério no Virador de Vagões (o vagão gira, despejando todo o seu carregamento).



Figura 12 - Engate com mandíbula (Autor)

De acordo com Valer (2008), os engates fixo e rotativo possuem uma série de características semelhantes, entretanto se diferenciando em alguns pontos: a cauda do engate rotativo é arredondada, em comparação ao fixo, com extremidade retangular. Os vagões andam germinados por meio de uma haste rígida. Em termos técnicos a trações são conhecidas por siglas. Os vagões com terminologia ímpar só apresentarão engates rotativos/tração rotativa (TCR), já os que utilizam a terminologia par, usarão o engate fixo/tração fixa (TCFE). Esse esquemático pode ser visto na Figura 13.

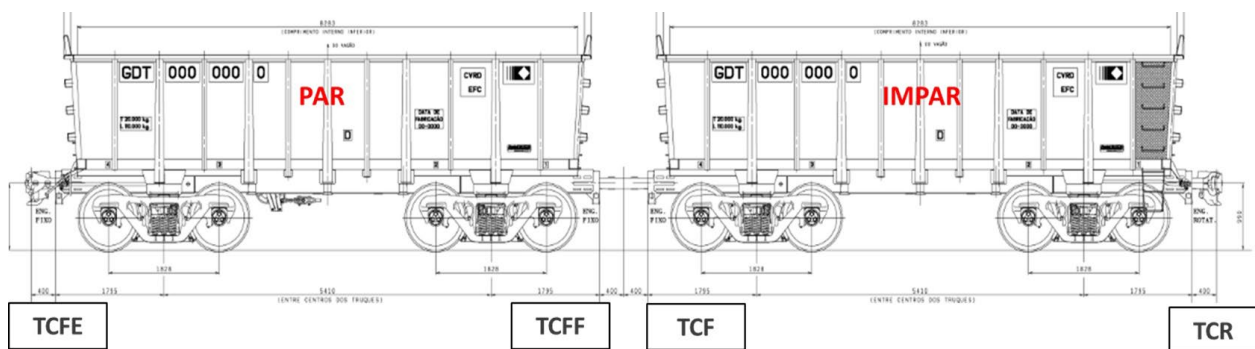


Figura 13 - Esquemático sobre tração em Vagões (VALER, 2008)

4.1.3.3 Mandíbula

Segundo a Valer (2008) a mandíbula, apresentada na Figura 14, é uma garra fixada ao corpo do engate e presa por um pino, tendo a função de acoplar os veículos. Esta peça sofre diretamente os impactos do acoplamento e dos ajustes de folgas dos engates. É o dispositivo que sofre todos os impactos durante as manobras e permite o travamento dos vagões entre si, durante o movimento. (MAXION, 2018)



Figura 14 - Mandíbula de Vagão (Autor)

Segundo a MRS (2007) as mandíbulas são os fusíveis do sistema de choque e tração, ou seja, caso algum ponto venha a romper durante as operações incorretas ou no limite, este ponto seria a mandíbula. O autor impõe um questionamento do porquê se deve ter um ponto fraco no sistema, em seguida explica: devido a segurança do sistema. Os engates, os quais possuem um custo mais elevado, devem ser preservados, enquanto as mandíbulas, conhecidas como peça de reposição, devem ser sacrificadas. A mandíbula acoplada ao engate pode ser vista na Figura 15.



Figura 15 - Mandíbula acoplada no Engate (Autor)

4.2 INDÚSTRIA 4.0

4.2.1 História da Indústria 4.0

Dombrowski (2014) conta que o conceito de revolução industrial passa por todo contexto de mudanças significativas ao longo dos anos, devido ao avanço das tecnologias emergentes, acarretando em consequências em diversos setores, seja social, político ou econômico.

De acordo com Schuh et al. (2015), no século XVIII deu-se início a fase primária da industrialização devido a diversos fatos. Um dos mais impactantes é o começo da utilização de energia a vapor. Além disso, tem-se a mecanização das linhas produtivas em série, a produção caseira que, aos poucos, se viu de lado perante ao

ambiente de fabricas de produções cada vez mais elevadas. O primeiro motor a vapor poder ser visto na Figura 16.



Figura 16 - Motor a vapor elevando a produção (BEZERRA, 2019)

Com o passar do tempo, em meados do século XIX, é dado início a chamada segunda revolução industrial. Ela se deu devido ao surgimento da produção em massa e divisão do trabalho bem definida. Além do enorme desenvolvimento de sistemas de produção, esses idealizados por Henry Ford e Frederick Taylor, esses métodos ficaram como sistema taylorista e fordista de produção. Outro grande fator foi o surgimento do uso da energia elétrica. Todos esses pilares foram vistos com pioneirismo pela indústria automobilística. (ALLEN, 2010).

Sousa (2019) conta que a nova forma de trabalho e a produção em massa que acabou gerando novas relações entre chefes e operadores, se deu devido a elevação do nível de desenvolvimento tecnológico. Diversos impactos puderam ser vistos devido a 2ª revolução industrial, o âmbito social e econômico, por exemplo, é onde pôde se notar as maiores consequências.

Sousa (2019) ainda cita que, naquele tempo, houve um aumento expressivo de poder na mão das grandes empresas, diante disso elas acabaram dominando o mercado praticamente sozinhas, concentrando renda e desvalorizando a mão de obra local. A imagem do exemplo da transição para o processo padronizado pode ser vista na Figura 17.



Figura 17 - Processos automatizados e correias transportadoras na indústria (SOUSA, 2019)

De acordo com Bezerra (2018), no século XX deu-se início a terceira revolução industrial. A partir de então houve um aumento expressivo em avanços científicos e tecnológicos. Nesse momento criou-se a internet, computadores, softwares cada vez mais sofisticados, robótica aplicada e dispositivos móveis.

Bezerra (2018) ainda conta que, no âmbito energético, começaram a surgir novas alternativas: energia atômica, a partir do uso de elementos radioativos. Além disso, alavancou-se o estudo de ciência dos materiais, com o desenvolvimento de ligas metálica, as quais vieram a proporcionar construção de aeronaves e naves espaciais proporcionando um avanço na área de transportes.

Sousa (2019) cita que diversas das inovações tecnológicas da época foram criadas a fim de suprir algumas demandas da Segunda Guerra Mundial, porém, além disso, também ocorreram melhorias em algumas invenções criadas anteriormente. Ligado intrinsecamente ao processo produtivo, cada vez se visava mais a eficiência. O exemplo da mudança pode ser visto na Figura 18.



Figura 18 - Linha de Produção (SOUSA, 2019)

Segundo Schwab (2016), atualmente nós estamos inseridos na quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0. Segundo Kagermann et al. (2013) esse termo teve sua primeira aparição em terras germânicas, mais precisamente no ano de 2011. Uma companhia de representantes do governo, organizações e academia deram o pontapé inicial para as diretrizes de um fortalecimento da competitividade da indústria de manufatura, colocando em prática a mais nova revolução industrial, com o objetivo de levar a Alemanha ao topo no quesito inovação tecnológica.

Segundo Schumpeter (1998) a inovação representa o ponto chave no desenvolvimento de um país. Qualquer inovação tecnológica, por si só, já um grande marco na história da humanidade, visto que qualquer uma cria rupturas no sistema econômico, devido ao fato de tirar a sociedade da inércia, multando os parâmetros de invenção, culminando em uma diferença cada vez mais notória entre empresas. A inovação representa o papel central no desenvolvimento econômico de um país.

O esquemático da Figura 19 traz uma explicação acerca das mudanças mediante as quatro revoluções industriais citadas. Faz uma relação tempo x complexidade, mostrando os estágios da revolução industrial, desde a primeira revolução até a chegada, por fim, das máquinas inteligentes, a aclamada Indústria 4.0.

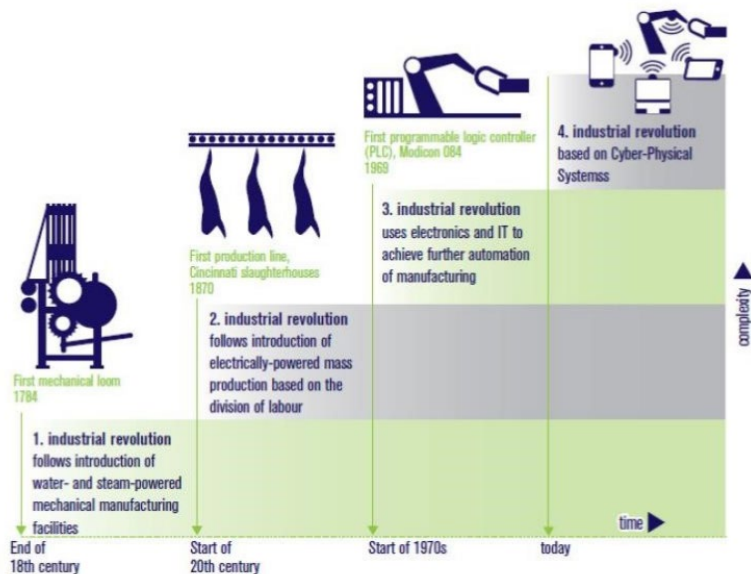


Figura 19 - Estágios da Revolução Industrial (KAGERMANN et al., 2013)

Hermann et. al. (2015) citam que o conceito de Indústria 4.0 pode ser elucidado como algo que agrega a tecnologia e valores a empresas. Trabalhar-se-á com uma nova abordagem de produção devido a fabricas cada vez mais inteligentes, com sistemas de armazenamento de dados interligados a um software de análise dos mesmos, tudo isso gerando informações em tempo real. O aspecto chave da fábrica inteligente é justamente esse.

Segundo a Confederação Nacional da Indústria, CNI, (2016), no Brasil a manufatura em níveis maiores e a tecnologia de digitalização é realidade somente para uma pequena parcela do país. Um dos principais motivos é a falta de conhecimento da evolução. Ainda de acordo com a CNI (2016) dados de uma pesquisa realizada pela com todas as indústrias brasileiras, mostram que somente 48% das mesmas aplicam pelo menos uma tecnologia no seu dia a dia. O percentual cai relativamente, cerca de 25%, para empresas de pequeno porte e sobe para 63% para grandes empreendimentos.

A CNI (2016) ainda analisa o porquê desses entraves no desenvolvimento tecnológico brasileiro. No âmbito externo as principais barreiras enfrentadas pelo mercado de trabalho é a falta de profissional e mão de obra qualificada para atender a demanda, infraestrutura de comunicações do país precária, e falta de fundo monetário para um possível financiamento. Já com relação aos fatores internos, citam-se os altos custos de implantação, falta de clareza no conhecimento sobre o retorno sobre o investimento aplicado e, por fim, a resistência cultural na estrutura das indústrias.

4.2.2 Pilares da Industria 4.0

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2015) atualmente existe uma nova compreensão acerca da produção industrial a qual tendencia para uma digitalização dos processos de produção ou manutenção, a elevada praticidade de introdução de objetos e serviços no mercado, geram uma redução expressiva de custos devido aos ganhos de produção em larga escala.

Segundo Schwab (2016) o termo “megatendências” é oriundo do produto de uma união de tecnologias aplicadas no ambiente produtivo por meio da Industria 4.0. Pode-se citar algumas delas, como por exemplo a Internet das Coisas (IdC), Internet dos Serviços (IdS), *Cyber-Physical Systems* (CPS), fábricas inteligentes, *Big Data*, *Machine Learning*, Inteligência Artificial, impressoras 3d, veículos autônomos. Os pilares da Industria 4.0 podem ser vistos na Figura 20.



Figura 20 - Pilares da Industria 4.0 (GRILLETTI, 2017)

Para o projeto, utilizou-se apenas 4 pilares: IdC, CPS, Computação em Nuvem e *Big Data*. De acordo com análises de Belluzo e Galípolo (2016) a Internet das Coisas tem como um dos seus propósitos iniciais a intercomunicação entre máquina e ser humano, devido ao seu grande potencial de promoção do processo de ensinamento das máquinas e equipamentos, com a geração de dados constante para que se possa compreender quais são os pontos críticos de cada componente.

Ainda segundo Belluzo et. al. (2016) o conceito do IdC está pautado na possibilidade de manipulação entre várias tecnologias em um meio produtivo com o uso

do *Cyber-Physical Systems* (CPS). O processo consiste em humanos e máquinas estarem diretamente conectados em tempo real, gerando informações que alimentarão uma base de dados, com o intuito de aumentar a produtividade da indústria por meio da aprendizagem diária. Ao vivo, simulam-se cenários, modelam-se coletas, tornando a tomada de decisão mais precisa e visual.

Santaella et. Al. (2013) contam que a fase que corresponde a atualidade da internet é tida como a IdC, na qual coisas se relacionam com coisas, pessoas e animais, os quais, a partir desse momento, começam a ser informações que portam dispositivos moveis que tem capacidade de se conectar e comunicar. Diante disso, objetos tenderam a controlar diversas ações diárias, feitas por humanos, sem a necessidade que eles existam por perto ou comandando-os.

Coelho (2016) cita que a elevada necessidade de um processamento rápido é dada a partir da integração de inúmeros dispositivos conectados à rede, coletando, armazenando e trocando grande fluxos de dados. Diante disso, o *Big Data* tem um papel especial em um planeta cada vez mais conectado. Esse pilar tem como objetivo ratificar uma variedade de dados, não só pela quantidade, mas também qualidade e rapidez na transformação de dados.

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, OCDE (2017), cita que existe uma outra tecnologia que pode se unir ao *Big Data*, chamada armazenamento em nuvem, a qual, por conseguinte, também estará conectada a Internet das Coisas (IdC), com o propósito de aumentar exponencialmente o nível de processamento de dados.

O armazenamento em nuvem alavanca a colaboração durante o processo de produção. Fora isso, consegue conduzir um acúmulo do efeito aprendido na unidade produtiva. Tal inovação surge como algo com imensa relevância devido a sua extrema habilidade de compartilhamento de dados via IdC aos diversos dispositivos. (OCDE, 2017)

4.2.3 Planejamento e Análise de Dados

Para todo início de trabalho, deve-se, a priori, ter um planejamento bem conciso para mapear todos os gargalos detalhadamente. Uma ferramenta de planejamento que se pode citar é o ciclo “PDCA”, mostrado na Figura 21. De acordo

com Werkema (1995), esse método é conceituado por ser gerencial, com o objetivo de tomar decisões precisas a fim de conseguir atingir as metas que farão a empresa sobreviver e progredir perante ao sistema.

Deming (1990), criador da metodologia, conta que esse método é um grande alicerce quando se diz respeito a controle de qualidade. Cada letra remete a uma etapa do projeto, com isso o método é compreendido por 4 fases. A primeira corresponde a letra P, do inglês *plan*, significa planejamento, consistindo na definição das metas que o projeto pretende atingir, além do plano para que se possa alcançar esse objetivo.

A segunda etapa é conhecida como “Do”, em português, fazer/executar. Campos (2001) diz que, após o estabelecimento das metas, é hora de executar as ações. Nessa etapa, as tarefas da anterior são postas em prática. A fase seguinte é o *Check*, checagem. Melo (2001) conta que consiste na verificação minuciosa das ações executadas na etapa dois. Conferir os dados e entender o que está de acordo ou não. Por fim, a ação. De acordo com Bandiru (1993), nessa fase ocorrem os direcionamentos a partir dos resultados obtidos anteriormente na etapa *check*, com o objetivo de padronização.

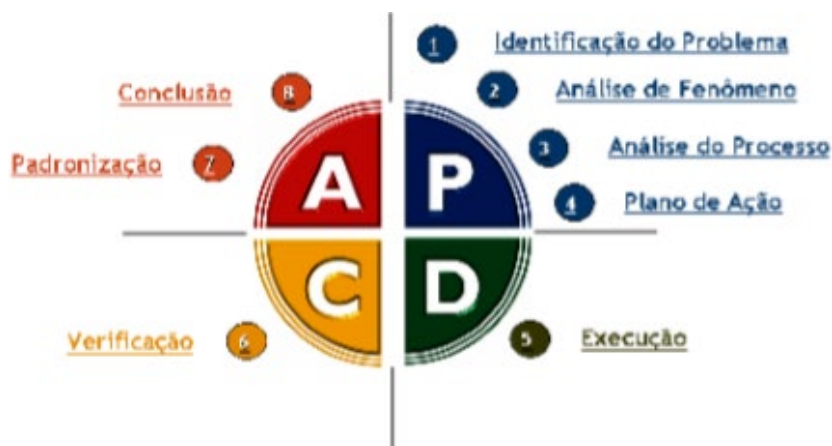


Figura 21 - O ciclo "PDCA" (PETERS, 1998)

Após o término da fase de adequação ao método e planejamento, deve-se dar início a etapa de análise de dados. Esta pode ser feita por diversos *softwares*, pode-se citar um dos mais famosos no ramo de *business intelligence*, o Power BI. Mas antes de entender como é feita a análise, deve-se entender primeiro do que se trata o BI e a sua real importância.

Chaudhuri et al. (2011) contam que Business Intelligence é uma coletânea de tecnologias de apoio à tomada de decisões que permite aos líderes de determinada

companhia, tomarem os melhores e mais rápidos rumos para a empresa de acordo com o histórico de informações armazenadas na plataforma. Chen et al. (2012) citam que cerca de 97% das empresas com faturamentos superiores a 100 milhões de dólares utilizam algum tipo de ferramenta para análise de negócios.

Segundo Gopalkrishnan et Al. (2012) a análise de negócios mostra-se na no encontro das vertentes da administração, ciência da computação e estatística. Ainda de acordo com eles, o índice de sucesso das empresas que realizam uma análise correta dos seus dados é grande, com isso esse estudo faz com que as mesmas tenham vantagem no mercado perante as outras, aumentando a importância e relevância que as companhias dão para os seus dados.

De acordo com a Microsoft (2019), a ferramenta *Power BI*, nada mais é que uma solução de análise de informações, dados ou negócios que permite visualizar seus dados e compartilhar informações em toda a organização conectada diretamente com seu aplicativo móvel ou site. Cetax (2019) conta que esse *software* é capaz de unificar todos os dados de uma companhia, estando na nuvem ou a nível local. Usando os *gateways*, se pode conectar aos bancos de dados *SQL Server*, modelos do *Analysis Services* entre outras. A Figura 22 faz alusão aos possíveis relatórios interativos da ferramenta.

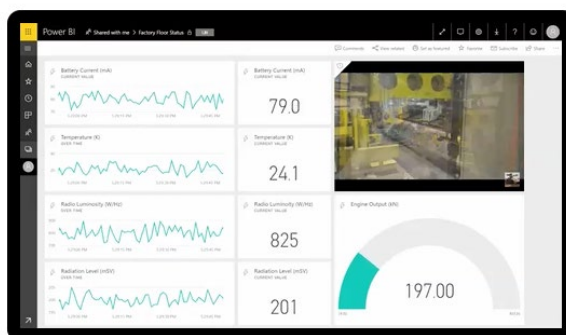


Figura 22 - Relatório Interativo (MICROSOFT, 2019)

4.3 CIÊNCIA DOS MATERIAIS

4.3.1 Propriedades Químicas e Mecânicas da Mandíbula

Segundo a AAR (2015) o aço fundido AAR M-201, classificado a partir da sua composição química pelos graus A, B, B+, C, D e E, é utilizado para fabricações de

diversos componentes da ferrovia, os quais estão estritamente conectados aos vagões. Um grande exemplo disso é a Mandíbula, a qual apresenta a variação de grau E. O grande ponto de diferenciação acerca dos graus do aço em questão é o percentual de manganês em cada um e o tratamento térmico após o resfriamento do material. Os percentuais máximos de cada elemento químico contido no aço de grau E estão sendo mostrados na tabela 1.

Tabela 1 - Composição Química Aço AAR M-201 Grau E (AAR, 2015)

| C | Mn | P | S | Si | Ce (máximo) |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------------|
| 0,32% | 1,85% | 0,04% | 0,04% | 1,50% | 0,88 |

Já a tabela 2, refere-se ao material quanto as propriedades mecânicas, estas após a fabricação, listadas pela AAR.

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas Aço AAR M-201 Grau E (AAR, 2015)

| Propriedades | Valor mínimo |
|--------------------------------|---------------------|
| Limite de Resistência a tração | 661 MPa |
| Limite de escoamento | 551 MPa |
| Faixa de Dureza | 241 - 311 HB |
| Alongamento | 14 % |
| Redução de Área | 30 % |

4.3.2 Efeito do Cobre

Cada elemento da química possui uma particularidade diferente, com os elementos de liga não poderia ser diferente. Eles têm atributos característicos e efeitos distintos em cada propriedade do aço em questão. Essa correlação de impactos dos elementos de liga, aliado às impurezas contidas, definem qual é a classe na qual este estará inserido.

Segundo Leffler (2008) o elemento de liga representado pela sigla Cu, mais conhecido como Cobre, tem como uma das suas características a de elevar a estabilidade da fase austenita e aumentar, também, a resistência à corrosão em certos

tipos de aços. Nos aços endurecíveis por precipitação, atua na formação de compostos intermetálicos que aumentam sua resistência mecânica.

4.3.3 Ensaio de Dureza Rockwell

Zolin (2011) conta que o parâmetro de dureza, como propriedade física, é muito utilizado para a comparação de materiais. Devido a ela, pode-se identificar a resistência à ruptura de um material, bem como a capacidade de deformar-se ao agir uma carga tracionando, comprimindo ou de qualquer outro tipo de esforço.

Segundo Souza (1974) o ensaio de dureza Rockwell é o mais utilizado no mundo inteiro por causa da sua praticidade de execução, rapidez, facilidade em detectar diferenças mínimas de durezas e pequeno tamanho de impressão. Song et. Al. (1995) contam que nesse tipo de ensaio, a carga é aplicada em etapas. Primeiramente se aplica uma pré-carga, a fim de garantir um contato firme entre a máquina e o material, em seguida aplica-se a carga real do ensaio. A figura 23 mostra um durômetro, instrumento que é utilizado para medir a dureza de materiais.



Figura 23 - Durômetro (Autor)

4.3.4 Ensaio de Tração

De acordo com Dalcin (2010) o ensaio de tração é um tipo de análise difundida em vasta escala na indústria de componentes mecânicos, devido ao fato de fornecer dados quantitativos e relevantes com relação às propriedades mecânicas dos materiais.

Segundo Zolin (2011) o processo de análise de tração por meio de um ensaio pode ser conceituado por uma aplicação de força sobre a superfície de um corpo sólido, provocando uma deformação na mesma direção do esforço, com isso produz-se uma pressão. Nos casos em que essa força tendencia ao alongamento, esse fenômeno é chamado de tensão de tração. Existe uma correlação entre a tensão aplicada na superfície do material e a deformação resultante.

Zolin (2011) ainda conta que a máquina que é utilizada para a realização dos ensaios de tração gera os dados necessários para a construção do gráfico tensão-deformação. Esta deve seguir uma série de pré-requisitos para poder efetuar o teste de maneira eficaz, com isso deve possuir as ferramentas a seguir: carga para aplicar uma força, algum instrumento para verificar a deformação (extensômetro) e garras para prender o corpo de prova. A figura 24 mostra uma máquina de medição de tração.

Segundo Callister (2012) a resistência à tração, é indicada pelo ponto máximo de uma curva de tensão-deformação e indica quando o empescoçamento irá ocorrer. O conceito dessa pode ser tido como a máxima tensão que um material pode suportar ao ser tracionado antes de falhar.

Ainda de acordo com Callister (2012) o conceito de limite de escoamento é diferente. Pode-se dizer que é o ponto onde se inicia o fenômeno escoamento, situado logo acima do limite elástico, a partir do qual só se recuperará a parte de sua deformação correspondente à deformação elástica.



Figura 24 - Máquina de medição de tração (Autor)

4.3.5 Ensaio de Impacto

Segundo Callister (2012) os ensaios de Charpy e de Izod são uns dos mais antigos já existentes na história. Entretanto, hoje em dia existem vários ensaios de impacto para a maior infinidade de objetivos e situações, isto vai desde impactos que requerem uma menor velocidade até velocidades hipersônicas.

Ainda de acordo com Callister (2012), dois ensaios são padronizados: as técnicas de Charpy e Izod, os quais foram concebidos e são ainda utilizados para medir a energia de impacto-algumas vezes também chamada de tenacidade ao entalhe. A técnica de Charpy do entalhe em “V” é a mais comumente usada. Este ensaio relativamente simples consiste na colisão de um martelo pendular com um corpo de prova de seção transversal quadrada, entalhado no centro e duplamente apoiado horizontalmente na máquina de ensaio. A figura 25 mostra como é feito o teste de Charpy.



Figura 25 - Teste Charpy (MASCARENHAS, 2016)

4.3.6 Ensaio por Partícula Magnética

Andreucci et Al. (2014) citam que o Ensaio por Partículas Magnéticas é um tipo de análise que consiste no material metálico e o condutor serem magnetizados, podendo ser por meio de uma bobina em equipamento estacionário, através de algum equipamento portátil, como o Yoke, por exemplo, ou equipamentos fixos que apresentam pontas de Cu (Cobre), com a denominação de Prods, na qual se pode utilizar corrente contínua ou alternada.

Zolin (2011) cita que nesse tipo de análise é possível identificar a probabilidade de determinadas falhas e, por conseguinte, características dos materiais. Tudo isso se deve ao fato da observação do comportamento das partículas no campo magnético dos materiais. Através deste princípio é possível detectar discontinuidades superficiais e subsuperficiais de até aproximadamente 3 mm. Quando existe uma falha, ocorre uma repulsão das linhas de fluxo que é chamada campo de fuga. Nesse ponto de repulsão, ocorre a atração da limalha de ferro, o que mostra a discontinuidade. A figura 26 mostra o operador aplicando o ensaio de partícula magnética com Yoke.



Figura 26 - Inspeção por partícula magnética (Autor)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 PLANEJAMENTO (PLAN)

A gerência de manutenção de vagões, no início do ano de 2019, estava com objetivo de redução de custeio. Esta já chegara a gastar mais de cerca de 15 milhões de reais, em 2018, somente com compra de novos componentes. Por esse motivo, deu-se início a um estudo minucioso por cada área da gerência, a fim de encontrar o ponto focal para objeto do estudo.

A gerência é dividida em quatro oficinas: Oficina de manutenção de vagões (OMV), Oficina de manutenção de truque e tração (OMTT), Inspeção e Carga Geral (CG). Com auxílio da célula de materiais, responsável pela geração de dados de custeio, pôde-se conseguir os dados necessários para execução dos gráficos por meio do software *Power BI*. A partir disso, fez-se uma análise dos gastos nos últimos 3 anos, de 2016 a 2018, por oficina. A figura 27 mostra os gráficos de investimentos por área entre os anos de 2016 e 2018.

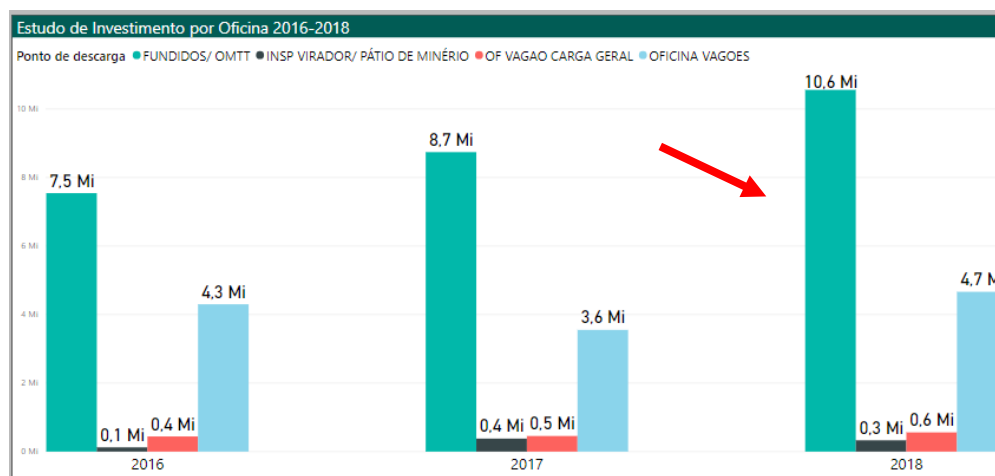


Figura 27 - Investimento por área (Autor)

A Oficina de Manutenção de Truques e Tração aparece em primeiro lugar na avaliação do investimento em componentes por três anos seguidos. Um fato que chama atenção é que, no ano de 2018, a oficina é vista com mais do que o dobro do investimento da segunda colocada, Oficina de Manutenção de Vagões.

Diante disso, sabendo qual oficina se deve priorizar, fez-se uma análise acerca da OMTT com o objetivo de descobrir qual era o componente que representa a maior parte dos gastos. A partir dessa análise, pôde-se perceber que o principal alvo era um componente denominado Mandíbula.

O componente apresentava um crescimento linear durante os três anos, com um aumento de mais de 17% entre os anos de 2016 e 2018. A mandíbula, por si só, representava cerca de 49% dos gastos da OMTT no ano de 2018. Diante disso, percebeu-se que esse componente é um ponto focal, devido ao seu elevado nível de investimento durante os anos. A figura 28 ilustra acerca desse elevado investimento.

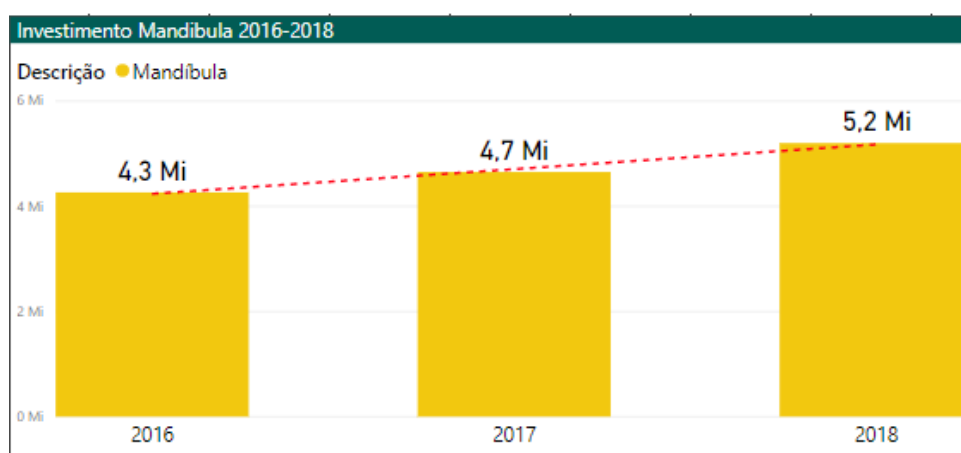


Figura 28 - Investimento em Mandíbulas (Autor)

Em seguida, deu-se início à análise do processo de inspeção de mandíbula. O ciclo da manutenção de vagões é dividido entre M01, Corretiva e M02. Todos são executados pela OMV. O primeiro é executado a cada 15 meses, ajustando alguns componentes que vierem danificados ou aplicação de novos itens obrigatórios. A Corretiva, como o próprio nome sugere, é executada a fim de corrigir algum problema que venha aparecer no vagão. Já o M02 ocorre a cada 6 anos, no qual é efetuado a troca de todos os componentes do ativo.

Em todos os três tipos de manutenção é obrigatório a retirada de mandíbula do vagão para que a mesma possa ser analisada na Oficina de Manutenção de Truques e Tração. A partir do momento da retirada é reposta uma outra mandíbula que se encontra no estoque. Na OMTT, os componentes são distribuídos em dois postos de trabalho diferentes. A mandíbula é submetida a teste de partícula magnética, que tem como objetivo identificar possíveis trincas no componente.

O fluxograma sempre segue a sequência: mandíbula sai do vagão e é transportada para a OMTT. Nos postos de trabalhos faz-se o processo de inspeção de trincas por partícula magnética. Se houver trinca nas regiões críticas, a mandíbula deve automaticamente ser descartada, caso não haja, ela deve ir diretamente para o estoque de mandíbulas, localizado na Oficina de Manutenção de Vagões, para voltar, *a posteriori*, a circulação.

Todos os dados, até aquele momento, eram tabulados em cadernos que se perdiam com muita facilidade. Os mesmos não eram repassados para o computador e apresentavam diversas inconsistências, falta de preenchimento ou até mesmo dados que nunca existiram.

Com essa situação de ausência de dados concisos, era praticamente impossível criar qualquer tipo de estudo que não fosse empírico. Segundo relato dos próprios colaboradores, a cada 3 meses, os cadernos eram descartados, devido ao fato de ocuparem muito espaço. A figura 29 mostra como eram feitos os formulários.

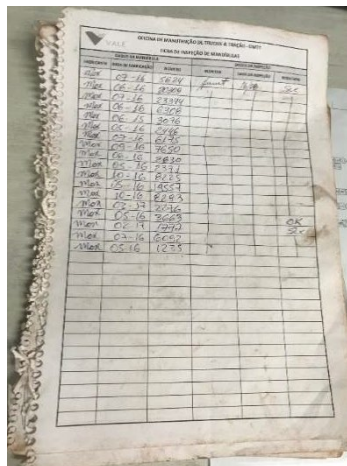


Figura 29 - Formulários de Inspeção Antigos (Autor)

Terminada a etapa de análise do processo e entendimento do problema, parte-se para a fase seguinte, planos de ação. Na qual dá-se início ao processo de estudo de metas e objetivos a serem alcançados. O objetivo ficou definido como redução da taxa de sucateamento de mandíbulas na Oficina de Manutenção de Truques e Tração. Diante do exposto, começaram a fazer planos de ações para que se possa atingir essa meta.

Primeiramente, percebeu-se no processo duas grandes fragilidades: tabulação dos dados e confiabilidade da informação. Sem dados eficazes e precisos, não seria possível feito um estudo preciso. O caderno, já obsoleto, não conseguia suprir as demandas.

Aliado aos pilares da Indústria 4.0, a empresa já apresentava um software de inovação que habilitava uma espécie de preenchimento de formulários online, o qual seria essencial no processo. Mas, para isso, necessitaria da aquisição de dois *smartphones* (um para cada posto de trabalho).

Além disso, treinar os operadores sobre como utilizar a ferramenta e conscientizá-los acerca da importância da mudança para uma plataforma digital seria de suma importância. Outro ponto importante seria a criação do formulário online padronizado, com todas as informações necessárias para o início do estudo. Essa plataforma teria ligação direta com uma ferramenta de análise de dados em tempo real, chamada *Power BI*.

O cenário, a partir dessas mudanças, seria: o operador recebe a mandíbula, inicia o processo de inspeção da mesma, em seguida preenche e envia o formulário via sistema de formulários online. O formulário é diretamente ligado à plataforma, por meio da nuvem, que geraria gráficos ao vivo, no *Power BI*. Aliando o processo de inspeção a um dos pilares da indústria 4.0, o pilar IdC (Internet das Coisas).

Definido os objetivos e as metas, é hora de determinar os responsáveis de cada ação, como uma espécie de dono do produto. Além disso, é preciso apontar as datas e prazos para que o projeto possa ser eficaz e fluir com mais rapidez. A tabela 3 mostra como ficaram as tarefas.

Tabela 3 - Plano de Ações "PDCA" (Autor)

| Ação | Responsável | Prazo |
|--|--------------|--------|
| Compra de Smartphones | Materiais | 15/fev |
| Criação de formulários online | Caíque Tomaz | 18/fev |
| Treinamento dos funcionários na plataforma | Caíque Tomaz | 21/fev |

5.2 EXECUÇÃO (DO)

Aliado aos pilares da Indústria 4.0, em especial o pilar Internet das Coisas (IdC), continua-se o projeto. Como já dito, o IdC visa aumentar a conexão entre operador e objeto, gerando diversos dados que serão analisados posteriormente. Além disso, essa digitalização teve ligação direta com a sustentabilidade. Antes eram feitos 1 caderno por mês, cada um com 31 folhas. Diante desse avanço tecnológico, mudou-se drasticamente a cultura de geração de dados da supervisão.

Com apoio do corpo de engenheiros, pôde-se efetuar a compra de 2 *smartphones*. Após essa fase, é o momento de verificar se as informações que contem nos formulários atuais suprem a necessidade do estudo.

Reúne-se uma cúpula de engenheiros, analistas e mecânicos a fim de definir quais serão os novos parâmetros imputados no checklist de inspeção de mandíbula. Com isso, chega-se a um novo tipo de formulário, o qual já seria cadastrado na plataforma online imediatamente. A figura 30 ilustra acerca da nova plataforma de preenchimento de formulários.

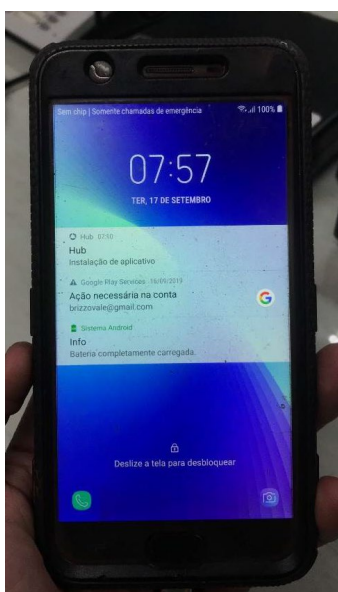


Figura 30 - Nova plataforma de formulário (Autor)

Diante disso, começa-se a mostrar aos operadores o valor da mudança. Elencam-se todos os lados positivos e começa-se o debate a fim de todos chegarem a um mínimo múltiplo comum, algo que todos concordassem. Foi debatido acerca dos

alicerces natureza, tecnologia e engenharia. Com todos os funcionários alinhados acerca da necessidade da ferramenta, pôde-se iniciar a fase de treinamentos para os mesmos.

Após o término do treinamento dos operadores na plataforma, se inicia a implantação do projeto digital na inspeção de mandíbula. Por meio de um acompanhamento preciso, melhorando a qualidade do apontamento e confiabilidade dos dados. Foi feita uma gestão de mudança, devido a complicação da transição do tradicional para o digital de forma repentina.

De início houve uma certa resistência por parte dos operadores, mas, ao longo do projeto, pôde-se ver um aumento no índice de satisfação do uso da ferramenta. Cada vez mais eles se viam imersos no projeto, como uma espécie de extensão da ferramenta. Após esse acompanhamento inicial, deixou-se o projeto implantado por cerca de 12 semanas, até que fosse feito primeiro *check*.

5.3 CHECAGEM (*CHECK*)

Na etapa de checagem, deu-se início a análise dos dados e debates com operadores para descobrir possíveis melhorias. Ao longo das 12 semanas, aproximadamente 3 meses, foram tabuladas mais de 1000 mandíbulas, as quais, no passado, teriam seus dados perdidos por terem sido preenchidos em papéis. Essa era a visualização que o relatório automático dava até o momento, com relação a taxa de sucateamento, como é mostrado na figura 31.

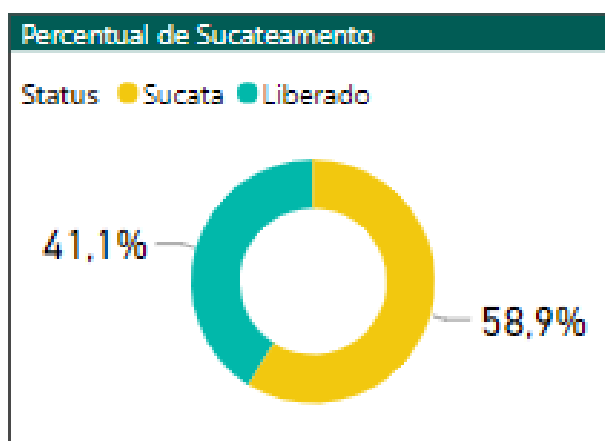


Figura 31 - Taxa de Sucateamento de Mandíbulas até as 12 semanas (Autor)

Após uma análise minuciosa dos dados, notou-se que a taxa de sucateamento de mandíbulas apresentava uma média de 58,6 %. Com isso voltou-se a etapa de conversas com os operadores, a fim de entender o porquê de um percentual tão elevado. Trazendo para exemplos mais práticos: a cada 10 mandíbulas que passavam, 6 eram descartadas e somente 4 eram aproveitadas.

Diante disso, analisou-se cada um dos dois postos de inspeção de mandíbula. No primeiro posto, após uma longa conversa acerca da implantação dos smartphones na área, o mesmo disse que estava tudo dentro do padrão, mas dizia que a taxa de 60% não condizia com a realidade. Disse que não entendia o que estava acontecendo.

No segundo posto já foi bem de diferente, de cara já foi possível identificar o problema a partir da fala do operador. Anteriormente, havíamos padronizado os nomes das regiões da mandíbula de acordo com a norma, com isso o mecânico via-se de mãos atadas por não saber o nome das regiões por termos técnicos, apenas, como disse ele, por “apelidos”.

Além disso, com tínhamos determinado apenas 6 regiões como críticas e que deviam ser inspecionadas, ainda ouvimos dele que ele costumava inspecionar bem mais que somente este número de regiões, ou seja, muito provavelmente estava descartando porque encontrava trincas em regiões que era aceitáveis. Identificamos uma grande falha de planejamento naquele ponto.

Era necessário a correção imediata. Até aquele momento o cenário da inspeção, ao longo das 12 semanas, era bastante crítico, como é mostrado na figura 32. Percebe-se claramente que a linha de tendência da quantidade de componentes sucateados é bem maior que a de mandíbulas liberadas. Somente em duas das dozes semanas o índice de liberação foi maior que o de sucata.

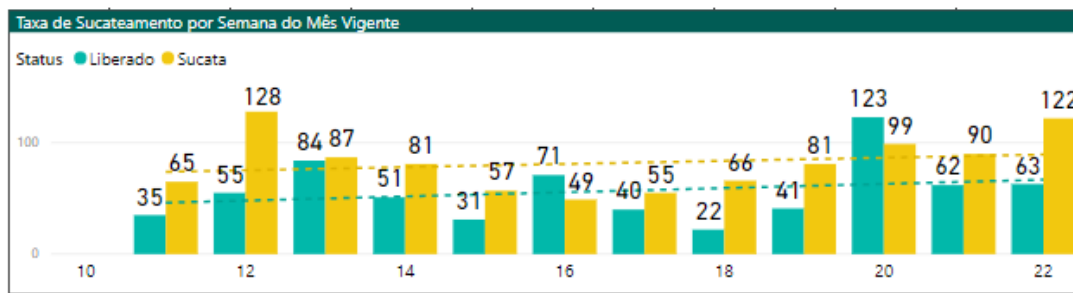


Figura 32 - Quantidade de Itens Liberados e Sucateados por semana (Autor)

5.4 AÇÃO (ACTION)

Nessa etapa visa-se corrigir os erros encontrados anteriormente. O ponto focal encontrado àquela altura era falta de padrão de informação das regiões da informação entre os mecânicos. Após reunião entre o grupo de engenharia, percebeu-se que esta poderia ser dividida em duas ações: criação de um quadro visual contendo todas as 6 regiões e treinamento da mão de obra.

Com isso, foi-se direto a primeira missão: quadro visual das regiões críticas da mandíbula que devem inspecionadas. Logo de início tabularam-se as regiões e, com a ajuda de um desenho do componente, pôde ser feito um painel com todas as informações, com seis setas, cada uma apontando para uma parte do desenho e remetendo ao nome da região. A figura 33 mostra como ficou o quadro informativo das partes críticas.



Figura 33 - Quadro informativo de inspeção (Autor)

6 RESULTADOS

6.1 RESULTADO DO CICLO “PDCA”

Depois da etapa de ação e padronização, é chegada a hora de verificar os resultados. Passaram-se cerca de 20 semanas desde a semana 12, última análise prévia. Primeiro de tudo debateu-se com os mecânicos acerca das últimas mudanças, todos falaram que foram ações muito consistentes. Desde já, percebe-se uma mudança de clima, não havia mais resistência. Já havia virado rotina.

Após isso, analisou-se o relatório do Power BI da inspeção de mandíbulas. Com os dados lançados foi possível analisar, principalmente, tais parâmetros: taxa de sucateamento acumulada, inspeção de mandíbulas por semanas, número de trincas por região e vida útil do componente por fabricante. O cenário a partir da semana 23 seguiu como mostra a figura 34.

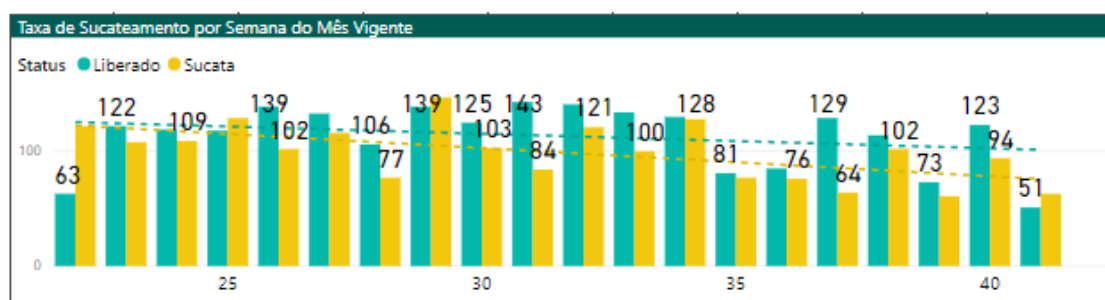


Figura 34 - Quantidade de mandíbulas liberadas e sucateadas após a mudança (Autor)

Primeiramente, pode-se perceber uma grande mudança com relação a figura 32. A linha de tendência das mandíbulas liberadas aumentou gradativamente e cada vez mais se distanciou da linha de tendência de sucateamento. O que mostra que as medidas tomadas foram eficazes. A figura 35 mostra a taxa de sucateamento de mandíbulas a partir da semana 23.

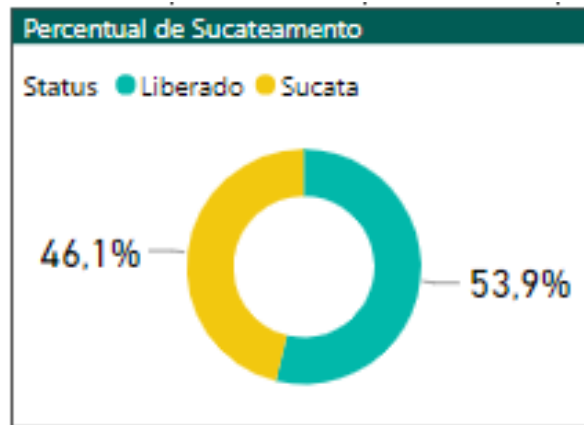


Figura 35 - Taxa de sucateamento de mandíbulas após a mudança (Autor)

Nota-se uma redução considerável na taxa de sucateamento. Antes da semana 23, a taxa de sucateamento superava a barreira dos 58%. Após as ações de treinamento da mão de obra e criação do painel visual, o percentual teve uma queda de 20%, chegando à marca de 46% de sucateamento. A redução foi significativa tendo em vista que o custo do projeto não foi tão acentuado.

Em números, de janeiro a novembro de 2018, mais de 8 mil mandíbulas haviam sido sucateadas. Já com relação ao mesmo período de 2019, o número de mandíbulas sucateadas reduziu para cerca de 6 mil. A companhia conseguiu economizar cerca de um milhão de reais, como mostra a figura 36.

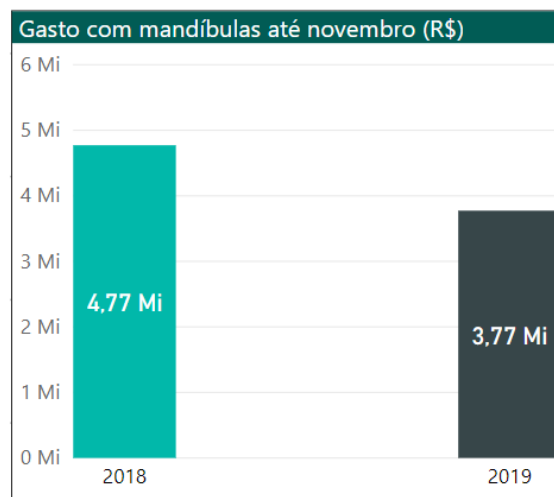


Figura 36 - Comparativo entre os gastos com mandíbulas 2018 e 2019 (Autor)

Além disso, com base na análise de dados dos resultados do ciclo PDCA, foi possível analisar outros parâmetros. Dentre os diversos, um chamou a atenção: vida útil

de mandíbulas por fabricante. A companhia possuía três fabricantes para esse componente e, até aquele momento, achava-se que todos os três tipos de mandíbulas eram completamente iguais nos aspectos de fabricação.

Elas foram divididas entre Fabricante 1, Fabricante 2 e Fabricante 3. A companhia só comprava da Fabricante 1. As demais já não eram mais catalogadas ou itens de contrato. Um gráfico comparativo entre as vidas úteis de cada uma das mandíbulas chamou a atenção: enquanto o componente comprado atualmente estava com uma vida útil de dois anos, o item do Fabricante 1 apresentava uma de aproximadamente 7 anos, mais do que o triplo da fabricante homologada. Como mostra a figura 37.

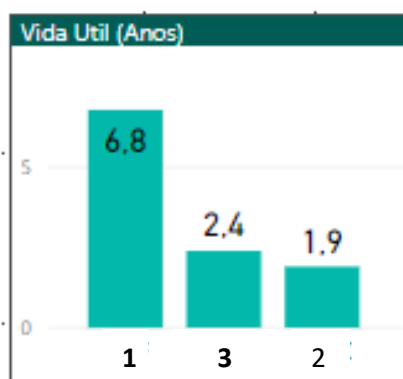


Figura 37 - Média de vida útil de mandíbulas (Autor)

Com isso percebeu-se a necessidade de uma análise mais profunda acerca do componente. A geometria de ambos era igual, então decidiu-se por fazer a análise comparativa dos materiais de fabricação. Foram retiradas da frota 2 mandíbulas, uma de cada fabricante e, em seguida, enviadas para análise em laboratório. Ambas passaram pelos mesmos testes.

6.2 RESULTADO DOS TESTES DAS MANDÍBULAS

Os componentes foram enviados para laboratório a fim de gerar um relatório acerca das propriedades químicas e mecânicas dos materiais. Os testes executados na análise foram: análise química via espectrometria de emissão óptica por centelhamento, dureza Rockwell, ensaio de tração e ensaio de impacto. Os parâmetros (metodologia) de cada teste são mostrados na tabela 4.

Tabela 4 - Metodologia dos testes (Autor)

| Análise | Descrição |
|----------------|---|
| Química | Via espectrometria de emissão óptica por centelhamento |
| Dureza | Rockwell C, ASTM E18-19. |
| Tração | Máquina Instron 2382 (100 kN capacidade), controle de deslocamento, 0,5 mm/min até o escoamento, 8,0 mm/min até a fratura, $L_0=4D=24$ mm, geometria e dimensões dos CPs de acordo com norma ASTM E8/E8M-16a. |
| Impacto | Máquina Time JB300, martelo de 300 J, Charpy, tipo A, 23°C, ASTM E23-16. |

6.2.1 Análise Química

A tabela 05 mostra o resultado dos testes de análise química. Em ordem tem-se a fabricante 2, fabricante 1 e, por fim, a norma AAR M201-E para se ter um comparativo. A maioria dos elementos ficaram semelhantes à norma, com exceção do índice de Cobre do Fabricante 1 que ficou 7 vezes mais alto que o do Fabricante 2.

O Cobre (Cu) interfere diretamente na corrosão. O mesmo age a fim de aumentar o índice de resistência a corrosão. Para componentes que circulam na Estrada de Ferro Carajás (EFC) esse índice é excelente, porque a corrosão costuma ser maior em ambientes litorâneos. Esse é grande diferencial entre os fabricantes no quesito de componentes químicos.

Entretanto o Fabricante 2 apresentou um valor de carbono equivalente maior do que o Fabricante 1. Isso se deve ao fato dele apresentar um elevado índice de manganês, silício e molibdênio, embora esta apresente menor índice de carbono do que a sua concorrente.

Tabela 5 - Análise química dos materiais (Autor)

| Amostra | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | V | Ti | Cu | Al | CE |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------------|
| Fabricante 2 | 0,23 | 0,50 | 1,44 | 0,017 | 0,033 | 0,39 | 0,04 | 0,26 | 0,006 | 0019 | 0,03 | 0,03 | 0,69 |
| Fabricante 1 | 0,25 | 0,41 | 1,25 | 0,012 | 0,024 | 0,37 | 0,08 | 0,19 | 0,001 | 0,005 | 0,21 | 0,05 | 0,66 |
| Especificado AAR M201- E | 0,32 Max | 1,50 Max | 1,85 Max | 0,04 Max | 0,04 Max | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | 0,88 Max |

6.2.2 Análise de Dureza

A imagem 38 mostra o resultado dos testes de dureza. Como é mostrado, ambos apresentaram durezas dentro do intervalo pré-estabelecido pela norma AAR M201-E, variando entre 241 e 311, porém o material do Fabricante 1 apresentou uma dureza mais elevado que o 2, cerca de 3,5%. A dureza interfere diretamente na resistência do material. Quanto maior o índice de dureza, maior será a resistência do componente.

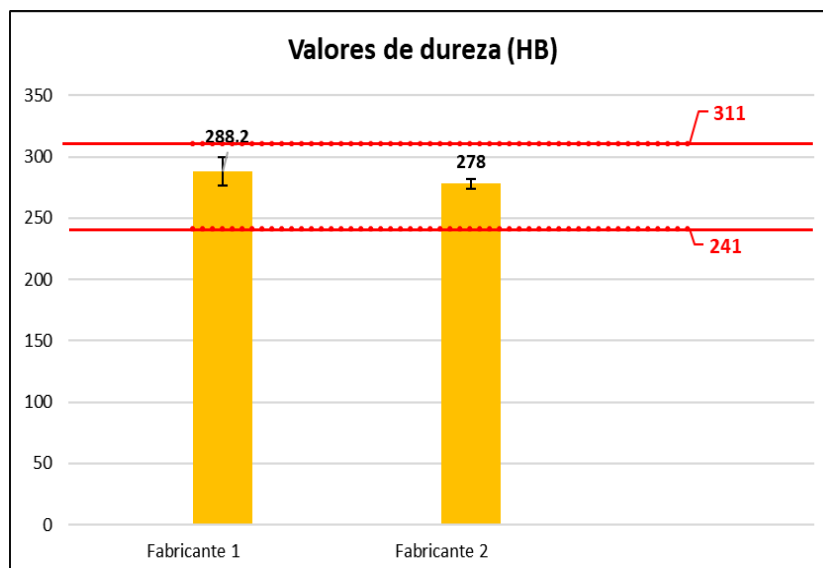


Figura 38 - Teste de dureza (Autor)

6.2.3 Ensaio de Tração

As figuras 39, 40, 41 e 42 mostram os resultados dos ensaios de tração. Como se pode ver, foram selecionados dois parâmetros: limite de escoamento e limite de resistência a tração. Em ambos os casos o fabricante 1 apareceu acima do 2. O limite de escoamento interfere diretamente nas propriedades do material, visto que é a camada limite entre a deformação elástica e a deformação plástica, apareceu em uma elevação de cerca de 9,5%. Já o limite de resistência a tração é a máxima tensão que um material pode suportar ao ser tracionado antes de falhar ou quebrar, no qual o fabricante 1 aparece com 20% a mais que o fabricante 2.

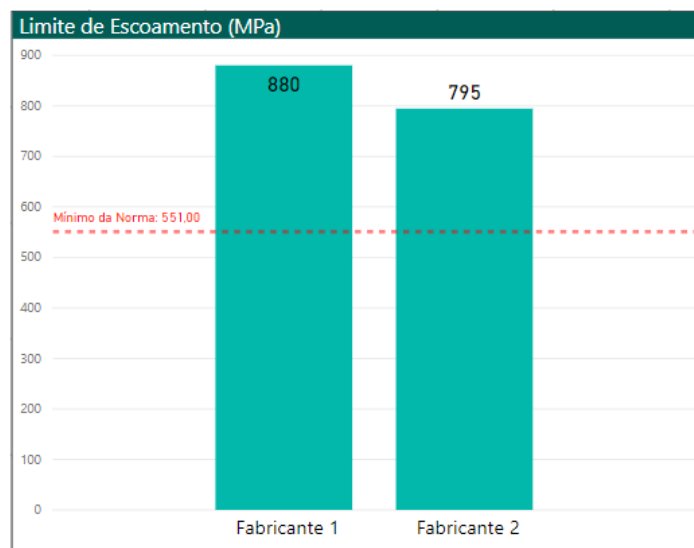


Figura 39 – Gráfico limite de escoamento (Autor)

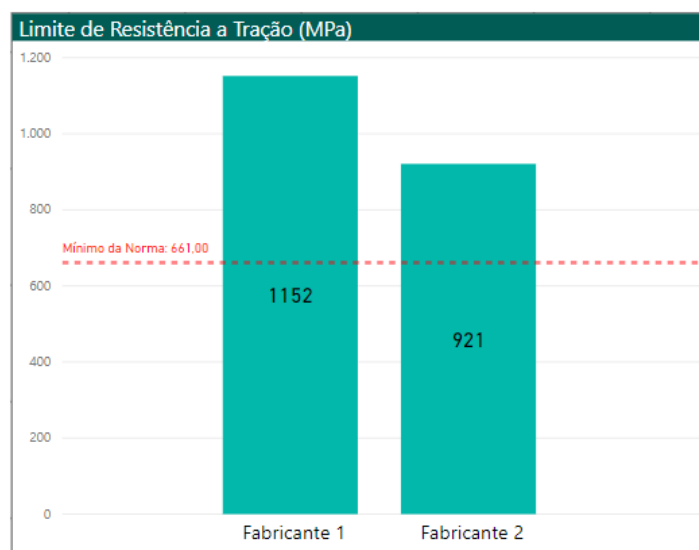


Figura 40 - Gráfico do limite de resistência a tração (Autor)

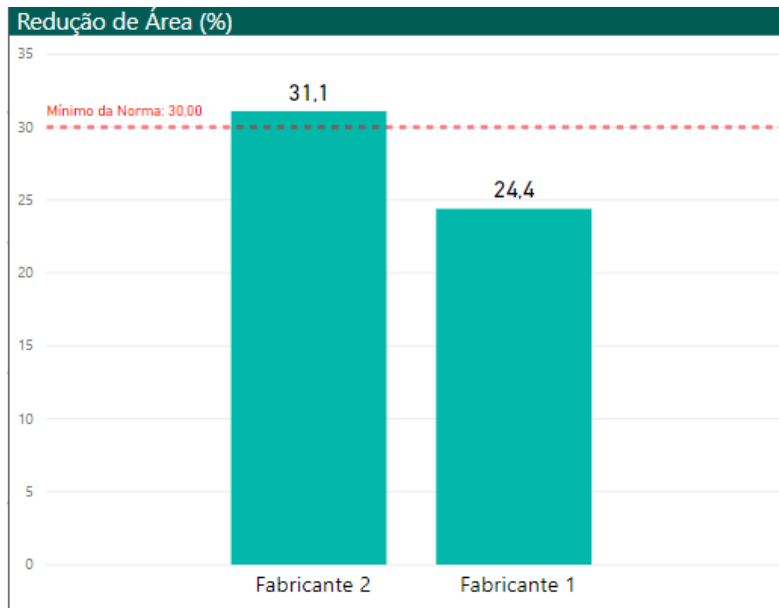


Figura 41 - Gráfico da redução de área (Autor)

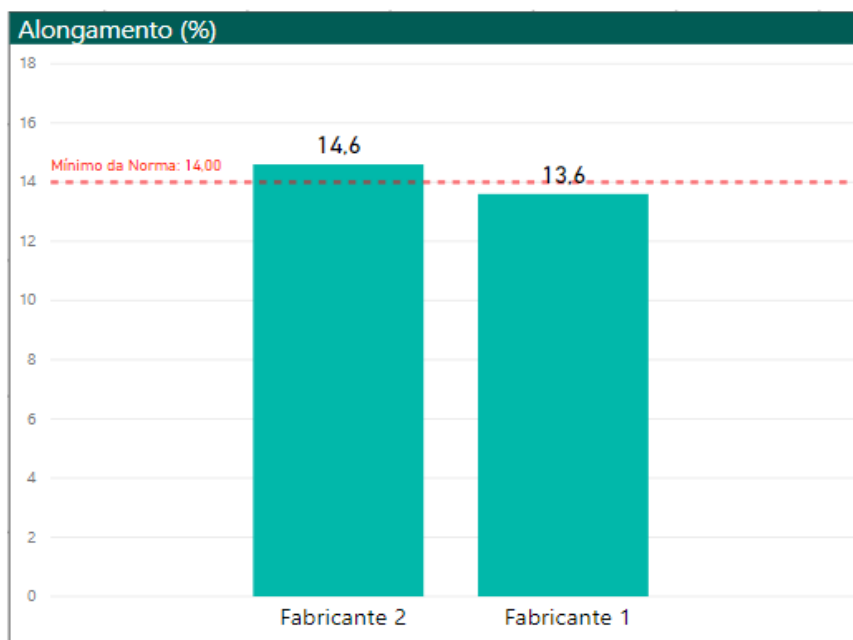


Figura 42 - Comparativo percentual alongamento (Autor)

6.2.4 Ensaio de Impacto

A figura 43 mostra os resultados dos ensaios de impacto. Todos os valores estão em Joule (J). O teste, como é mostrado na tabela 4, foi realizado à temperatura ambiente de 25 °C. A norma AAR, no entanto, tem como definição padrão de temperatura -40°C para realização dos testes, nessa temperatura a norma diz que limite máximo, em Joule, é 27.

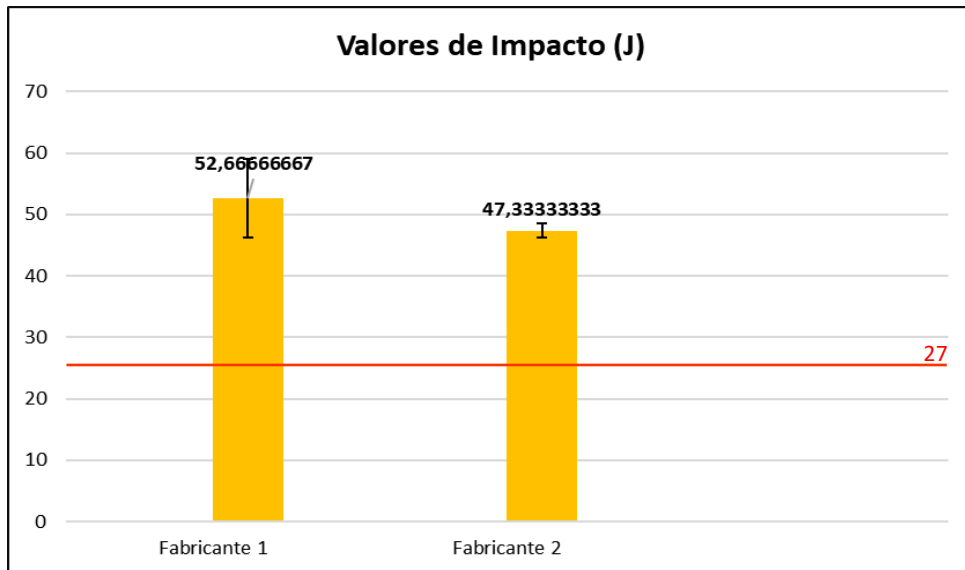


Figura 43 - Teste de impacto (Autor)

7 CONCLUSÃO

O referido trabalho de conclusão de curso buscou alinhar três pilares: ciências dos materiais, indústria 4.0 e ferrovia. Falando acerca da análise comparativa entre parâmetros de fabricação de mandíbulas por meio da redução de sucateamento, a partir de um estudo minucioso de campo e de qualidade.

Em uma grande companhia ferroviária, o índice de sucateamento de mandíbulas estava muito elevado. Gastavam-se milhões de reais anualmente com o componente e não se tinha noção do porquê disso. Então, a partir desse gargalo, pôde-se dar início ao projeto de melhoria, visando a redução de sucateamento.

Ao longo do estudo de campo, percebeu-se a real necessidade da Indústria 4.0 para processos de manutenção em geral. Antes não se tinham informações necessárias para o entendimento do problema. Sem a ciência dos dados jamais o projeto poderia ter sido efetuado. É importante frisar a relação entre qualquer projeto com o planejamento inicial, tal fato dará as diretrizes para uma execução bem-feita.

Entendendo os gargalos, organizando os planos de ações e efetuando os mesmos, conseguiu-se chegar à causa raiz. Os operadores desconheciam acerca das regiões críticas para se fazer os testes de partícula magnética. Para isso foi feito um treinamento adequado para os mecânicos e criou-se, também, um painel visual para identificação das devidas regiões.

Após a execução das mudanças, pôde-se perceber as diferenças no índice de sucateamento. A taxa reduziu de 58,6% para 46,1%, ou seja, cerca de 20% de redução. O que resultou em uma economia de aproximadamente um milhão de reais para os cofres da companhia. Além disso, ao analisar os dados, descobriu-se que havia um fabricante que chegava a ter uma vida útil 3 vezes maior do que a fabricante homologada.

Com isso, enviou-se um componente de cada fabricante para um laboratório, a fim de entender acerca das propriedades do material. O fabricante 1, o qual apresentou a maior vida útil, após a análise de materiais, mostrou um limite de escoamento mais elevado que o fabricante 2, bem como o limite de resistência a tração. Além de apresentar um maior índice de dureza. Com isso, o trabalho conseguiu alinhar os 3 pilares que tinha como objetivo.

REFERÊNCIAS

- AAR. “Castings, Steels”, **AAR MSRP Casting Details**, M-201. Association of American Railroads, 2015.
- ABS, Acta Brazilian Science. **Composição Componentes Ferroviários**. São Luiz: Ed. Centro de Ensino Atenas Maranhense. 2014. Ano 1. Vol. 1, 4 trimestre. Disponível em <<http://www.actabrazilianscience.com.br/arquivos/revista4especial.pdf>> Acesso em 13/06/2019.
- ALLEN, Robert. **The British Industrial Revolution in Global Perspective**: 2010 Disponível em:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8508/1/PG_COAUT_2017_2_02.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019
- ANDREUCCI, M. **Ensaio de Partículas Magnéticas**. São Paulo: ABENDE, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11691:2015: Vagão ferroviário - Classificação, identificação e marcação**. Rio de Janeiro, 2015
- ANTF. **Mapa Ferroviário. 2018**. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/mapa-ferroviario/>>. Acesso em: 16 jun. 2019
- ANTF, Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. **Cronologia Histórica Ferroviária. 2018** Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php/informacoes-do-setor/cronologia-historicaferroviaria>>. Acesso em: 10 jun. 2019
- ANTF. **Informações gerais**. 2018 Disponível em: <<https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 16 jun. 2019
- BADIRU, A. B. AYENI, B. J. **Practitioner’s guide to quality and process improvement**. London: Chapman & Hall, 1993. 353p.
- BELLUZZO, L. G.; GALÍPOLO, G. **A nova revolução industrial**. Jornal Valor Econômico, Brasília, nov. 2016.
- BERGANTINI, Mauro, **Apostila do Curso de pós-graduação em engenharia ferroviária**, São Luís, Vale, 2012.
- BEZERRA, Juliana. **Fases da Revolução Industrial**. 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/fases-da-revolucao-industrial/>>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- BEZERRA, Juliana. **Revolução Industrial**. 2019. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/revolucao-industrial/>>. Acesso em: 23 out. 2019.
- BRITO, Jose do Nascimento. (1961) **Meio século de estradas de ferro**. Rio de janeiro, Brasil. Livraria São José. 213 p.
- BURLAMAQUI, Jorge Leal. (1945) **Evolução necessária das vias férreas brasileiras**. Rio de janeiro, Brasil. Revista do Clube de Engenharia – Abril, Maio e Junho. 76 p.

BUZELIN, José E. C. H. **A história nos trilhos**. ANPT. Disponível em: http://www.anpf.com.br/histnostrilhos/historianostrilhos05_setembro2003.htm. Acesso em 19 set. 2019.

CABRAL, Vinicius. **O início das ferrovias no Brasil**. Históriazine, 2 jul. 2009. Disponível em: <http://www.historiazine.com/2009/07/o-inicio-das-ferrovias-no-brasil.html>. Acesso em 18 set. 2019.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach**. John Wiley & Sons, 2012.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001

CETAX. Power BI - **Conheça o Software de BI da Microsoft**. 2019. Disponível em: <<https://www.cetax.com.br/blog/power-bi/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CHAUDHURI, S., DAYAL, U., e NARASAYYA, V. **An overview of business intelligence technology**. Communications of ACM, v. 54 n. 8, p. 88–98, 2011.

CHEN, H., CHIANG, R. H. L., STOREY, V. C. **Business intelligence and analytics: From big data to big impact**. MIS Quarterly, v. 36, n. 4, p. 1165–1188, 2012.

COELHO, P. N. M. **Rumo à Indústria 4.0**. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e gestão Industrial pela Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 1-65. 2016.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br>> Acesso em: 27 de maio de 2019.

CNT. **O sistema ferroviário brasileiro. 2013**. Disponível em: http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Transporte_e_economia__o_sistema_ferrovuario_brasileiro_.pdf. Acesso em 20 set. 2019.

DALCIN, G.B. **Ensaios dos materiais**. Santo Ângelo: URI - Laboratório de ensaios mecânicos e materiais, 2010.

DEMING, William Edward. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

DIÓGENES, G. S. (2002) **Uma Contribuição ao Estudo dos Indicadores de Desempenho Operacional de Ferrovias de Carga: O Caso da Companhia Ferroviária do Nordeste – CFN**. Tese de Dissertação COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <<<http://www.ufc.det.br/petran/teses/tese29.pdf>>> Acesso em 01 nov. 2019.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE - TRANSPORTES. **Ferrovias pelo Mundo**. 2019. Disponível em: www.dnit.gov.br. Acesso em 15 jun. 2019

DOMBROWSKI, U., Wagner, T., 2014. **Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution**. In: Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP 17, 100-105.

EVARISTO. **História da Ferrovia.** 2017. Disponível em: <<https://www.brasilferroviario.com.br/historia-da-ferrovia/>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa.** In: Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. 2004.

FIOCCA, Demian (2005) **BNDES: Infra-estrutura e Desenvolvimento. Fórum Nacional em maio/2005. BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.** Disponível em: <<www.bndes.gov.br>> Acesso em 15 agosto 2019.

GOPALKRISHNAN, V., STEIER, D., Lewis, H., GUSZCZA, J. **Big data, big business: Bridging the gap. Preceedings of the International Workshop on Big Data, Streams and Heterogeneous Source Mining: Algorithms, Systems, Programming Models and Applications,** p. 7–11, 2012.

GRILLETI, Laís. **Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso.** 2017. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/tecnologia/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso/>>. Acesso em: 09 nov. 2019.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review.** 2015. Artigo de trabalho-Universidade Técnica de Dortmund (Technische Universität Dortmund), 2015.

KAGERMANN, H.; WAHÇSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.** April, p 4-7, 2013.

LEFFLER, B. **Stainless -Stainless steel and their properties - 2008.**

MASCARENHAS, Rafael. **Conheça o teste de Charpy e suas vantagens.** 2016. Disponível em: <<https://www.cursosguru.com.br/conheca-o-teste-de-charpy-e-suas-vantagens/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

MAIA, Humberto Celso Habbema de (2000) **Explicação sobre Ferrovias. Ministério dos Transportes, Secretaria de Transportes Terrestres. Seminário Interno “500 anos de transporte”.** TV Cultura, em 04 de janeiro de 2000, São Paulo.

MATELLART, Armand. 1974 **Mapping world communication: war, progress, culture .** Minneapolis: University of Minnesota Press.

MAXION, Greenbrier. **Manual de Operação e Manutenção Choque e Tração GDU:** Jardim São Camilo - Hortolândia – SP, 2018

MELO, C. P. CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura - versão 2.0.** Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001

MICROSOFT. **O que é Power BI?** 2019. Disponível em: <<https://powerbi.microsoft.com/pt-br/what-is-power-bi/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

MÖDERLER, Catrin. **1804: Viagem inaugural da primeira locomotiva do mundo.** 2011. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/1804-viagem-inaugural-da-primeira-locomotiva-do-mundo/a-302636>>. Acesso em: 18 out. 2019.

MRS. **Engates: Principais Tipos e Componentes**. Belo Horizonte: Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, 2008. 24 slides, color.

MRS. **Curso: Sistema de Choque e Tração**. Rio de Janeiro, 2007

OCDE. **The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business**. OCED Publishing. Paris, p. 1-442. 2017 a. (978-92-64-27103-6)

PETERS, T. **O círculo da inovação**. São Paulo: Harbra, 1998.

PIMASSONI, Sebastião. **APOSTILA: Manutenção de Vagões e Carro de Passageiros**. São Luís: Vale, 2010.

RIBEIRO, P. C. C., Ferreira, K. A., 2002, “**Logística e Transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro**”, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, PR, 23 a 25 de outubro

ROSA, Paulo Maurício Costa Furtado; SALES, Cezar; SISDELLI, Armando. **Sistema de Choque-Tração**: Juíz de Fora: MRS, 2007. 91 slides, P&B.

SAKAI, Jurandir. **A importância da logística para a competitividade das empresas: estudo de caso na indústria de polo de Camaçari**. Disponível em: www.adm.ufba.br/sites/default/files/.../sasaki_dissertacao_final.pdf. Acesso em 23 set 2019

SANTAELLA, L.; A. Gala, C. Policarpo, R. Gazoni, “**Desvelando a Internet das Coisas**” Revista Geminis Ano 4 - Número 2 - Volume 1, 2013

SANTOS, Sílvio dos. **História da locomotiva a vapor**. 2018. Disponível em: <<https://portogente.com.br/artigos/9833-a-locomotiva-a-vapor>>. Acesso em: 18 out. 2019.

SCHUH, G.; C. Reuter; A. Hauptvogel, C. Dölle, “**Hypotheses for a Theory of Production in the Context of Industrie 4.0**”, Springer, 2015.

SCHUMPETER, J.A. **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. Genebra: World Economic Forum, 2016.

SILVA, Júlio César Lázaro da. “**Breve História das Ferrovias**”; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/ferrovias.htm>. Acesso em 17 de outubro de 2019.

SILVEIRA, Marcio Rogério. **Transportes e logísticas: as ferrovias no Brasil**. Florianópolis: Geosul, v.17 n.34 2002

SONG, J.F. et al. **Microform Calibrations in Surface Metrology**. In J Mach Tools Manufact, v. 35, n. 2, p 301-10, 1995.

SOUSA, Rafaela. “**Segunda Revolução Industrial**”, 2019; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>. Acesso em 23 de outubro de 2019.

SOUSA, Rafaela. "**Terceira Revolução Industrial**", 2019 ; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrial.htm>. Acesso em 04 de novembro de 2019.

SOUZA, S.A. **Ensaio Mecânico de Materiais Metálicos**. Edgard Blucher LTDA, 3ª ed, 1974.

VALER. **Sistema de Vagões**. Belo Horizonte: Id Projetos Educacionais, 2008.

WABTEC CORPORATION. **Freight Car Draft Arrangements**. Wilmerding: Wabtec Corporation, 2003. 21 p.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. v. 2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

ZOLIN, Ivan. **Ensaio Mecânico e Análises de Falhas**. Santa Maria: E-tec Brasil, 2011.