

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MAIARA MENON

**ESTUDO DE ENSAIOS MECÂNICOS LABORATORIAIS PARA A
DETERMINAÇÃO DE PLANOS DE AÇÕES PARA O CONTROLE DE QUALIDADE**

FRANCISCO BELTRÃO

2020

MAIARA MENON

**ESTUDO DE ENSAIOS MECÂNICOS LABORATORIAIS PARA A
DETERMINAÇÃO DE PLANOS DE AÇÕES PARA O CONTROLE DE QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Produção da UTFPR-Universidade Tecnológica Federal do Paraná em exigência para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me Wagner da Silveira

FRANCISCO BELTRÃO

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização

ESTUDO DE ENSAIOS MECÂNICOS LABORATORIAIS PARA A DETERMINAÇÃO DE PLANOS DE AÇÕES PARA O CONTROLE DE QUALIDADE

por

MAIARA MENON

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado às 16 horas e 00 min. do dia 19 de fevereiro de 2020, como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Francisco Beltrão. A candidata foi arguida pela Banca Avaliadora composta pelos professores que abaixo assinam este Termo. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho Aprovado.

Wagner da Silveira

Professor Orientador

Vilmar Steffen

Membro da Banca

Saionara Sartor

Membro da Banca

Prof. Maiquiel Schmidt de Oliveira

Responsável pela Coordenação do CEEP
Curso de Especialização em Engenharia de Produção

**A FOLHA DE APROVAÇÃO ORIGINAL (ASSINADA) ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.**

**Aos meus pais, pela compreensão e apoio dedicado
a mim, em toda e qualquer jornada minha.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e a minha família que em todas as fases da minha vida me apoiaram incondicionalmente. Permaneceram incessantemente pacientes e compreensivos com todos os problemas apresentados e enfrentados e sempre transmitindo carinho.

Aos amigos, que compartilharam comigo os dias de aula, e que permaneceram incentivando até o fim. Ao John, que resignadamente esteve ao meu lado, apoiando em todas as dificuldades encontradas no caminho.

A empresa, que gentilmente abriu as portas, incentivou e proveu todas as informações que me eram necessárias, por muitas vezes acompanhadas de explicações e explanações sobre o assunto e experiências por eles vividas.

Ao Curso de Especialização em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que me proporcionou novos conhecimentos, abrindo oportunidades para outras áreas. Ao professor Wagner, pela orientação e compartilhamento do seu grande conhecimento.

RESUMO

A busca por um aumento da qualidade e alta competitividade no mercado, faz com que a necessidade de um controle de qualidade nas indústrias seja cada vez mais explorado, entretanto essa busca não deve se limitar apenas à conferência do produto final, e sim todo o processo precisa ser analisado para resultar no aumento da qualidade. Tendo isso em vista, este trabalho apresenta um estudo de ensaios mecânicos laboratoriais de peças de aços de uma empresa de geradores e ponte rolante do sudoeste do Paraná. As peças selecionadas foram o eixo do gerador, as chapas da roda polar, a chaveta do eixo e o tambor da ponte rolante. Para a realização da análise, fez-se a catalogação dos certificados de qualidade das peças selecionadas que a empresa possuía arquivada, realizando um comparativo dos valores determinados nos certificados obtidos dos fornecedores com os valores médios estipulados em normas. Desta maneira, verificou-se que a maioria dos valores obtidos nos certificados estavam dentro dos estabelecidos em normas, entretanto há também a percepção de valores discrepantes. A partir desse levantamento de dados, percebe-se a necessidade que a empresa possui de uma melhoria no setor de gestão de qualidade, desta forma elegeu-se duas ferramentas de qualidade para serem inicialmente sugeridos no processo de produção, o Fluxograma e o 5W2H, onde estariam presentes desde a obtenção dos materiais até a sua forma final. Após a esquematização da elaboração das duas ferramentas de qualidade, propõe-se também a obtenção da norma NBR ISO 9001, a qual aumentaria a confiabilidade dos clientes em relação a empresa, elevando a gestão de qualidade dos produtos e assim agregando valor ao mesmo.

Palavras-Chave: Certificado, Controle, Ferramentas, Qualidade.

ABSTRACT

The endless search for a quality increase and high competitiveness in the industry made the need for quality control be more explored, on the other side, this search must not be limited to the conference of a final product, but the entire process needs be analyzed for a quality increase. With this in mind, this work introduces a study of mechanical laboratory tests of steel parts of a generator an overhead crane company, from southwest of Paraná. These pieces selected were the generator shaft, polar wheel plates, shaft key and the crane drum. To execute this analysis, was made the cataloguing of the quality certificates from the selected pieces, that the company has archived, accomplishing a comparative of the values determined by the certifies obtained from the suppliers, and the values from the standards and literature. In this way, was verified that the biggest amount of the obtained values on the certifies is according to the standards. Thus, it was found that most of the values obtained in the certificates were within those established in standards, however there is also the perception of outliers. From this data survey, there is a need for the company to improve the quality management sector, in this way, were selected two quality tools to implant in the first moment, in the manufacturing process. These tools are the flowchart and the 5W2H, that would be present from the materials acquisition to the final product. After the layout and elaboration of these two quality tools, is propose the obtention of NBR ISO 9001, that increases the reliability of the customers with the company, raising the quality management of the products, and adding value to them.

Key words: Certified, Control, Tools, Quality.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo das definições e fatores para definição do conceito de qualidade.	24
Tabela 2 - Análise química do aço SAE-1045 do eixo do gerador.	38
Tabela 3 - Ensaio mecânico de tração do aço SAE-1045 do eixo do gerador.	38
Tabela 4 - Análise química das chapas 2mm de aço A36.	39
Tabela 5 - Ensaio mecânico de tração das chapas de aço A36 da roda polar de 2 mm.	39
Tabela 6 - Análise química das chapas de 2 mm de aço A36 da chaveta do eixo.	40
Tabela 7 - Ensaio mecânico de tração das chapas de 2 mm de aço A36 da chaveta do eixo.	40
Tabela 8 - Composição química do aço ASTM A36.	41
Tabela 9 - Propriedades mecânicas do aço ASTM A36.	41
Tabela 10 - Tabela comparativa das propriedades mecânicas das chapas de 2 mm de aço A36.	42
Tabela 11 - Tabela comparativa da composição química das chapas de 2 mm de aço A36.	43
Tabela 12 - Composição química do aço SAE-1045.	43
Tabela 13 - Propriedades mecânicas do aço SAE-1045.	43
Tabela 14 - Tabela comparativa das propriedades mecânicas do aço SAE 1045 dos eixos dos geradores.	44
Tabela 15 - Tabela comparativa da composição química do aço SAE 1045 dos eixos dos geradores	44
Tabela 16 - Dimensões do corpo de prova.	47
Tabela 17 - Ferramenta 5W2H aplicada ao controle de qualidade na produção.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagramas de tensão-deformação convencional e real para um material dúctil (aço) - Imagem sem escala.....	17
Figura 2 - Influência de diferentes elementos químicos em ligas de aços.	23
Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Pareto por itens defeituosos.	26
Figura 4 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 5 - Exemplo de histograma.	28
Figura 6 - Exemplos de diagramas de dispersão com correlações distintas.....	29
Figura 7 - Exemplo de simbologia de fluxograma.	30
Figura 8 - Modelo da ferramenta 5W2H.	32
Figura 9 - Eixo do gerador.....	34
Figura 10 - Rotor, composto pelo eixo, núcleo magnético e barras condutoras.....	35
Figura 11 - Chapa da roda polar.	35
Figura 12 - Chavetas do eixo.	36
Figura 13 - Exemplo de ponte rolante.	37
Figura 14 – (a) Material do tambor; (b) Tambor depois de usinado; (c) Fase final do tambor da Ponte Rolante.	37
Figura 15 - Corpos de prova usinados de seção retangular.....	46
Figura 16 - Máquina de ensaios.	47
Figura 17 - Exemplo de gráfico gerado com resultados da máquina de ensaios.	48
Figura 18 - Fluxograma do controle de qualidade.....	49
Figura 19 - Modelo de Ciclo PDCA.	52

LISTAS DE ABREVIATURAS

C	Carbono
Al	Alumínio
B	Boro
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
ED	Ensaio Destrutivo
END	Ensaio Não Destrutivo
LE	Limite de Escoamento
LR	Limite de Resistência
M	Mega
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Nb	Nióbio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
S	Enxofre
Si	Silício
Ti	Titânio
V	Vanádio
W	Tungstênio
Zr	Zircônio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1.	OBJETIVOS.....	13
1.1.1.	Objetivos gerais	13
1.1.2.	Objetivos específicos.....	13
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1.	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	14
2.2.	ENSAIOS DESTRUTIVOS (ED)	15
2.3.	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)	15
2.4.	ENSAIO DE TRAÇÃO	16
2.5.	ENSAIO DE COMPRESSÃO	19
2.6.	ENSAIO DE DUREZA.....	20
2.7.	ANÁLISE QUÍMICA	20
2.8.	CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS	21
2.8.1.	Aço-carbono	21
2.8.2.	Ligas de aço	22
2.9.	CONTROLE DE QUALIDADE.....	23
2.9.1.	Diagrama de Pareto.....	25
2.9.2.	Diagrama de Ishikawa	26
2.9.3.	Histograma	27
2.9.4.	Diagrama de Dispersão.....	29
2.9.5.	Fluxograma	29
2.9.6.	<i>Brainstorming</i>	31
2.9.7.	5W2H.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1.	PEÇAS ANALISADAS	33
3.2.	CERTIFICADOS DE QUALIDADE	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5	CONCLUSÕES	53
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Para a implementação de centrais geradoras hidrelétricas, é necessária a utilização de máquinas e equipamentos altamente confiáveis, e desta forma, matérias primas com qualidades e características mecânicas específicas são necessárias.

Na atualidade, as empresas necessitam de melhores condições para conseguir se manterem no mercado, o qual se encontra altamente competitivo, assim é necessário que ela reformule os processos de qualidade, em prol de uma satisfação total do cliente. Desta maneira, faz com que o departamento da gestão do sistema de qualidade ganhe um significativo valor no desenvolvimento de uma instituição, pois é o responsável pelo aprimoramento dos produtos (Daniel; Murback, 2014).

A qualidade dos resultados dos processos é tido como meta a ser continuamente mantida e melhorada, e que de acordo com Ishikawa (1990), constituem em quatro dimensões, a qualidade, o custo, a entrega e os serviços, sendo que, desta maneira, gerenciar estes processos é determinar que os resultados sejam no mínimo compatíveis com o esperado (Bastos et al., 2003).

Para o projeto de componentes de equipamentos, é fundamental o conhecimento do comportamento do material com o qual é trabalhado, isto inclui suas propriedades mecânicas em várias condições de uso, podendo ser estas, temperatura, tipos de cargas, desgastes, deformabilidade (Morais, 2016).

Na seção a seguir serão apresentados os objetivos que este trabalho apresenta, gerais e específicos, bem como os motivos que levaram o desenvolvimento do mesmo.

Na seção 2 (dois) é apresentado o referencial teórico que embasa toda a elaboração deste trabalho. É apresentada uma breve descrição dos tipos de ensaios que possam ser realizados em peças metálicas e os significados das análises que foram feitas dos materiais. Apresenta-se também um breve resumo sobre controle de qualidade e algumas das ferramentas mais comumente utilizadas.

Na seção 3 (três) é apresentado as peças escolhidas para a realização das análises e as tabelas realizadas a partir da catalogação dos certificados de qualidade.

Na seção 4 (quatro), apresentam-se os resultados obtidos, bem como a análise sobre os valores encontrados, a fim de avaliar a qualidade dos materiais escolhidos. Por fim, explanasse sobre as possibilidades de implantação de planos de ações de controle de qualidade na empresa e seus benefícios.

1.1. OBJETIVOS

Nesta seção secundária, serão apresentados os objetivos gerais e específicos, os quais norteiam o desenvolvimento deste trabalho.

1.1.1. Objetivos gerais

Analisar peças de aços a fim de conhecer as propriedades mecânicas dos materiais que os compõe, para certificar a qualidade necessária para os mesmos, a fim de compor registros e determinar planos de ações para um controle de qualidade.

1.1.2. Objetivos específicos

- Catalogar os certificados de qualidade do material das peças de aços;
- Analisar e comparar os resultados dos certificados de qualidade das peças;
- Elaborar planos de ação e metodologias para o controle de qualidade que possam ser empregados na empresa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas dos materiais são analisadas através da execução de experimentos de laboratórios, cuidadosamente programados, reproduzindo o mais fielmente possível as condições de serviço, considerando fatores como a natureza da carga aplicada, a duração da aplicação e as condições ambientais (Callister Junior, 2011).

A importância dada ao controle de qualidade dos componentes mecânicos é tal que é tido como o fator fundamental para se obter sucesso em qualquer processo da manufatura. Para Biasibetti et al. (2019), dentro os diversos métodos para avaliar a integridade de uma superfície, a rugosidade é a mais largamente aplicada.

Em processos lineares e de produção em massa é possível realizar um controle estatístico utilizando as ferramentas tradicionais da Engenharia de Qualidade. Entretanto, quando o produto final é produzido através de uma série de processos independentes, não há como se prever um padrão sob o qual poderia ser realizado algum tipo de controle de qualidade (Duarte, 2010).

As propriedades mecânicas constituem apenas uma das características a serem satisfeitas por um produto, dentro dessas características pode-se destacar a qualidade superficial, planicidade, e ausência de tensões residuais, onde para atender todos esses requisitos de qualidade, os quais nem sempre serão compatíveis entre si, requer equipamentos modernos, domínio da tecnologia metalúrgica e automação plena (Viana Júnior et al., 2017).

Para realizar projetos de engenharia é necessário um vasto conhecimento das propriedades, características e do comportamento dos materiais que irão ser utilizados. Assim, os critérios de especificação dos materiais impõem realizar ensaios, através de métodos normalizados, com o objetivo de levantar as propriedades mecânicas dos mesmos e o comportamento sob determinados esforços (Machado, 2012).

Os ensaios podem ocorrer a partir de protótipos, no produto final ou em corpos de provas, seguindo procedimentos padronizados, os quais podem

compreender testes, cálculos de engenharia, processos de fabricação, gráficos e consultas a tabelas. Os ensaios consistem basicamente em submeter um objeto ou material a condições de esforços simulados em relação às condições reais de uso, podendo atingir limites extremos de solicitação (Zolin et al., 2011).

2.2. ENSAIOS DESTRUTIVOS (ED)

São considerados ensaios destrutíveis aqueles que necessitam de procedimentos que inutilizam os materiais ou os corpos de prova, mesmo apresentando um dano pequeno, pois as marcas deixadas por alguns ensaios, como por exemplo, o ensaio de dureza, serão pontos de concentração de tensão e fonte de possíveis falhas (Zolin et al., 2011).

Os ensaios destrutivos são mais utilizados quando se deseja determinar as propriedades dos materiais, sendo adequados para medir a capacidade de suportar esforços (Zolin et al., 2011).

Como exemplo de ensaio destrutivo, Callister Junior (2011) apresenta o ensaio de tração, o qual é um dos métodos mais comuns, utilizado para determinar o módulo de Young de um material, para isto, o corpo de prova é submetido a uma tração, que pode alongá-lo ou estica-lo até que ocorra a fratura.

2.3. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)

Possuem como característica principal a análise dos materiais sem que esses sofram interferências em sua integridade, não alterando a forma permanente das propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, causando um dano imperceptível ou praticamente nulo (Morais, 2016).

Conforme o Instituto Britânico de Ensaio Não Destrutivos (BINDT), os ensaios são utilizados para detectar e avaliar falhas nos materiais, geralmente caracterizados por trincas, inclusões de materiais ou variações nas propriedades estruturais, ocasionando a perda da resistência e posterior falha do material (Zolin, 2010).

Atualmente, os ensaios não destrutíveis são amplamente utilizados na indústria moderna, principalmente para a caracterização de materiais, avaliação da qualidade e detecção de descontinuidades. Uma característica interessante dos END é que geralmente eles medem indiretamente a propriedade de interesse, onde o valor é obtido a partir de sua correção com outra grandeza que é medida durante a realização do teste (Moreira, 2014).

2.4. ENSAIO DE TRAÇÃO

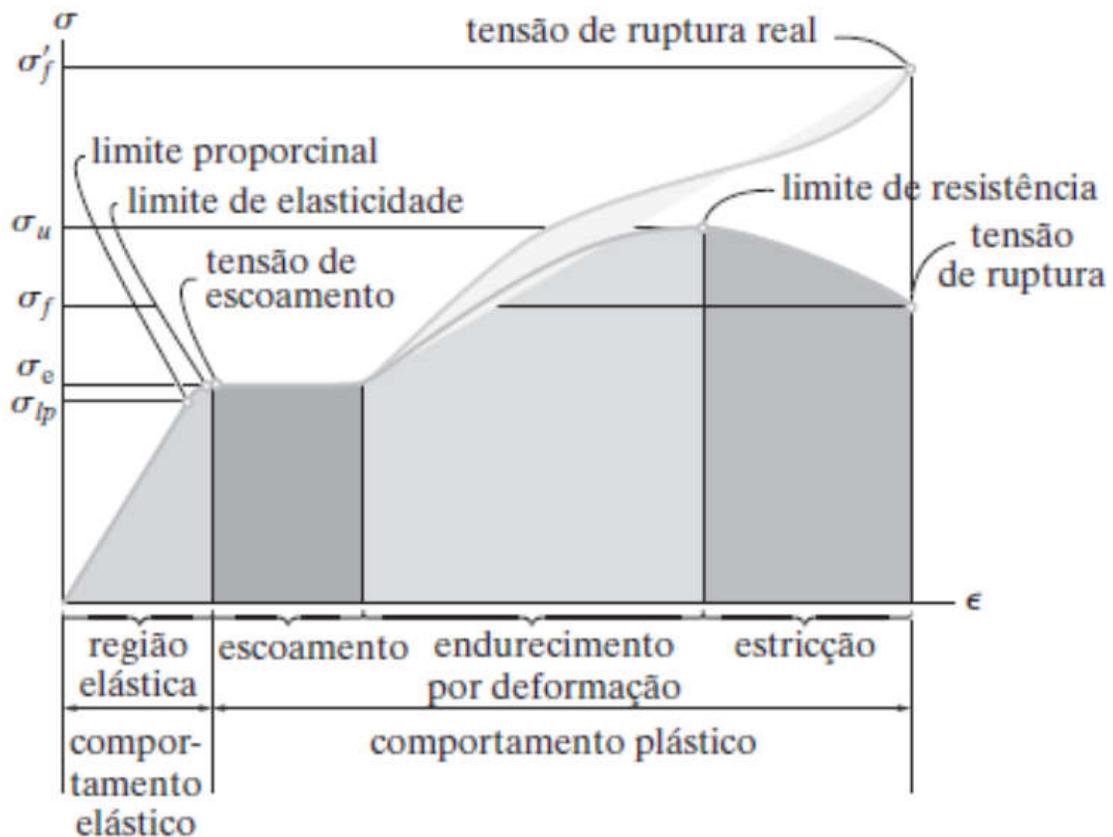
O ensaio de tração normalmente é realizado na máquina universal. Para realizar o ensaio, o corpo de prova é fixado na máquina por suas extremidades, numa posição que permite ao equipamento aplicar-lhe uma força axial para fora, aumentando o seu comprimento. A máquina de tração é hidráulica, e é ligada a um dinamômetro, que mede a força aplicada ao corpo de prova (Tecnol et al., 2018).

Em um teste de tração, um corpo de prova é submetido a uma força trativa uniaxial continuamente crescente, enquanto são realizadas observações simultâneas de alongação do corpo de prova, desta maneira, uma curva tensão-deformação é construída a partir de medidas da carga e da alongação (Dieter, 1982).

A partir do método descrito pode-se obter a curva tensão-deformação característico referente ao aço, mostrada na Figura 1, onde identifica-se quatro modos diferentes do comportamento do material, dependendo do grau de deformação nesse induzido (Hibbeler, 2010).

A curva é representada pela tensão nominal (σ) pela deformação nominal (ϵ). A tensão nominal é determinada pela divisão da carga aplicada pela área original da seção transversal de prova, enquanto que a deformação nominal é determinada pela divisão da variação, no comprimento de referência do corpo de prova, pelo comprimento de referência original do corpo de prova.

Figura 1 - Diagramas de tensão-deformação convencional e real para um material dúctil (aço) - Imagem sem escala.



Fonte: Retirado de Hibbeler (2010).

Na região elástica da curva, a tensão é linearmente proporcional à deformação, quando a carga ultrapassa o valor correspondente ao limite de escoamento, o corpo de prova sofre deformação plástica generalizada e a partir desse ponto ele está permanentemente deformado se a carga é reduzida a zero (Dieter, 1982).

Um pequeno aumento na tensão acima do limite de elasticidade resultará no colapso do material e fará com que ele se deforme permanentemente, esse comportamento é denominado escoamento, indicado pela segunda região da curva (Hibbeler, 2010).

É necessário que se conheça o nível de tensão onde a deformação plástica se inicia, conhecido como fenômeno do escoamento, pois a maioria das estruturas é

projetada para assegurar que apenas uma deformação elástica ocorrerá, quando uma tensão é aplicada (Lopes, 2014).

O limite de escoamento é tido como o a tensão que faz com que o material comece a ser deformado de maneira permanentemente (Morais, 2016). A magnitude do limite de escoamento é a medida da resistência de um material à deformação plástica, podendo variar entre 35 MPa, para uma liga de alumínio de baixa resistência até 1400 MPa, para um aço de alta resistência (Callister Junior, 2011).

Quando o escoamento termina, pode-se aplicar uma carga adicional ao corpo de prova, o que resulta em uma curva que cresce continuamente, mas torna-se mais achatada até atingir uma tensão máxima, chamada de limite de resistência (LR). O crescimento da curva desta maneira chama-se endurecimento por deformação, o qual é representado na Figura 1 pela terceira região da curva (Hibbeler, 2010).

A resistência do material permite que ele seja capaz de resistir a ação de determinados tipos de esforços, como a tração e a compressão. Em relação a resistência mecânica, o termo é referido às forças internas de atração existentes entre as partículas que compõem o material, por exemplo, quando as ligações metálicas unem um grande número de átomos, a dureza do material é grande (Lopes, 2014).

Para ensaios convencionais, tem-se que o LR à tração é a tensão no ponto máximo da curva tensão-deformação, este ponto corresponde à tensão máxima que pode ser suportada por uma estrutura sob tração, se essa tensão for aplicada e mantida ocorrerá uma fratura no material (Fredel et al., 2008).

Os limites de resistência de tração podem variar desde 50 MPa para um alumínio até 3000 MPa para aços de elevada resistência (Callister Junior, 2011).

Quando atingido o limite de resistência, a área da seção transversal começa a diminuir em uma região localizada do corpo de prova, em vez de em todo o seu comprimento, como resultado, tende a formar-se uma estrição, gradativa nessa região, à medida que o corpo de prova se alonga cada vez mais. Como a seção transversal nessa região vai diminuindo continuamente, a área só pode suportar uma carga decrescente, assim o diagrama tende a curvar-se para baixo até o corpo de prova quebrar, atingindo a tensão de ruptura, indicada pela quarta região da curva (Hibbeler, 2010).

A ductibilidade do material representa uma medida do grau de deformação plástica que foi suportado quando da fratura. A ductibilidade pode ser expressa quantitativamente tanto como alongamento percentual, como redução de área percentual, também denominada como coeficiente percentual de estrição. (Callister Junior, 2011).

A partir desse ensaio é possível definir o tipo de processo de produção a que um determinado material pode ser submetido, como por exemplo, extrusão, laminação, estamparia profunda, entre outros. Quanto maior o alongamento maior a facilidade de deformar o material (Franceschi et al., 2017).

2.5. ENSAIO DE COMPRESSÃO

Um ensaio de tensão-deformação de compressão é conduzido de maneira similar ao ensaio de tração, exceto pelo fato de que a força é compressiva e o corpo de prova se contrai ao longo da direção da tensão (Callister Junior, 2011).

A compressão física é um resultado de uma aplicação de uma força de compressão a um material resultando em uma redução de uma de suas dimensões, axial com a atuação da força e um aumento da seção transversal a este mesmo eixo, quando a deformação da peça nesta direção é permitida, pois, teoricamente, seu volume mantém-se constante (Morais, 2016).

O ensaio de compressão pode ser executado na máquina universal de ensaios, do mesmo modo que o ensaio de tração, com a adaptação de duas placas lisas (uma fixa e outra móvel), onde o corpo de prova é mantido firme entre elas durante a compressão. As relações que valem para o ensaio de tração, são os mesmos para o ensaio de compressão, ou seja, quando um corpo é submetido a compressão, ele também irá sofrer deformação elástica e a seguir uma deformação plástica (Castro, 2015).

Para os metais o ensaio de compressão não é tão usual, pois a determinação das propriedades mecânicas com este tipo de ensaio se torna difícil devido a existência de atrito entre o corpo de prova e as placas compressivas da máquina, a possibilidade de flambagem do corpo durante o ensaio e a dificuldade de medida dos valores numéricos do ensaio (Lopes, 2014).

2.6. ENSAIO DE DUREZA

Dureza, em ciência dos materiais é a propriedade característica de um material sólido, que expressa sua resistência a deformações permanentes e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos (Morais, 2016).

Em testes mecânicos, dureza significa a resistência à penetração de um material duro em outro, representando uma quantidade específica facilmente medida e que fornece informações sobre a resistência de um metal ou o seu tratamento térmico. A dureza pode ser medida de acordo com o teste em que é realizado: dureza ao risco, dureza à penetração e dureza dinâmica, sendo que para os metais, o ensaio principal é o de dureza à penetração (Dieter, 1982).

O ensaio de dureza consiste na impressão de uma pequena marca na superfície da peça, pela aplicação de pressão com uma ponta de penetração. A área da marca superficial formada ou a sua profundidade são medidas e correlacionadas com um valor numérico que representa a dureza desse material (Lopes, 2014).

De acordo com Moraes (2016), existem diferentes tipos de ensaios de dureza por penetração: Rockwell, Brinell, Vickers, Meyers, Knoop, Shore, Barcol e IRHD, onde os três mais difundidos são os três primeiros.

2.7. ANÁLISE QUÍMICA

A análise química em metais possui como principal objetivo a identificação da composição química ou mais propriamente do balanceamento entre elemento de liga que promovem a formação da peça (Tavares, 2008). Basicamente, a análise química é utilizada quando se deseja determinar a função do teor de cada elemento químico que compõe o material.

Existe uma grande e diversificada variedade de aços que se diferenciam pela sua composição química. A composição química dos aços pode ser alterada conforme a função do interesse da aplicação final, obtendo através da adição de determinados elementos químicos, aços com diferentes graus de resistência mecânica, soldabilidade, ductibilidade, resistência à corrosão, entre outros (Imianowsky; Walendowsky, 2007).

Como as características são tão distintas entre as ligas metálicas, as análises apropriadas para a determinação da composição química das mesmas se mostram de suma importância para a indústria, pois será a partir destes valores que poderá determinar as propriedades do material, como por exemplo, a determinação do molibdênio, níquel ou, principalmente cromo em aços, dado que os seus elementos proporcionam uma maior resistência à corrosão dos aços (Da-Col, 2014).

2.8. CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

Os aços podem ser classificados entre carbonos comuns e os aços-liga, sendo que o aço-carbono é uma liga de ferro-carbono contendo geralmente entre 0,008% até 2,11% de carbono. Enquanto que o aço-liga é o aço carbono que contém outros elementos de liga ou elementos residuais em teores acima dos considerados normais (Imianowsky; Walendowsky, 2007).

Conforme Oliveira (2007), os aços podem ser classificados conforme a porcentagem de carbono, onde aços com menos de 0,76% carbono são chamados de hiponeutóides, e aços que contêm mais de 0,76% de carbono, hipereutóides.

2.8.1. Aço-carbono

O carbono é considerado como o principal elemento de liga dos aços, pois a resistência depende do tamanho e da distribuição das partículas de carbonetos. Tem-se que para muitas e importantes aplicações, o aço é empregado sem qualquer tratamento térmico, ou seja, simplesmente no estado laminado a quente ou a frio (Chiaverini, 1955).

O aço-carbono é um aço sem adição de outros elementos, possuindo apenas o carbono e os quatro elementos residuais encontrados nos aços que permanecem em sua composição durante o processo de fabricação, ou seja, o manganês, silício, fósforo e enxofre (Oliveira, 2007).

Conforme Pannoni (2005) os aços-carbono podem ser divididos em:

- Aços de baixo teor carbono, com $C < 0,3\%$, possuem grande ductibilidade, bons para o trabalho mecânico e soldagem, não sendo temperáveis;
- Aços de médio carbono, com $0,3\% < C < 0,7\%$ são aços utilizados em engrenagens, bielas, etc. Quando temperados e revenidos podem atingir boa tenacidade e resistência;
- Aços de alto teor de carbono, com $C > 0,7\%$, possuem elevada dureza e resistência após a tempera, sendo comumente utilizados em molas, engrenagens, etc.

Quanto maior o teor de carbono, maior será a dureza do aço e dessa forma, maiores serão os limites de resistência e de escoamento e o material será mais frágil (Oliveira, 2007).

2.8.2. Ligas de aço

Aços- liga são aqueles que contém na liga ferro-carbono outros elementos, como por exemplo níquel (Ni), cromo (Cr), manganês (Mn), molibdênio (Mo), tungstênio (W), vanádio (V), silício (Si), cobalto (Co), alumínio (Al), titânio (Ti), cobre (Cu), nióbio (Nb), zircônio (Zr), boro (B), chumbo (Pb), etc. A influência destes elementos se dá pela alteração da microestrutura (Oliveira, 2007).

Os aços-liga são subdivididos em dois grupos (Pannoni, 2005):

- Aços de baixo teor de ligas, com menos de 8% de elementos de liga;
- Aços de alto teor de ligas, com elementos de liga acima de 8%.

Os principais fatores que afetam os valores medidos das propriedades mecânicas são a composição química, o histórico termomecânico do material, a geometria, temperatura, estado de tensões e velocidade de deformação da estrutura (Pannoni, 2005).

Na Figura 2 é apresentado a influência que alguns elementos químicos, que são comumente encontrados em ligas de aços.

Figura 2 - Influência de diferentes elementos químicos em ligas de aços.

ELEMENTO	SOLUÇÃO SÓLIDA	FORMANDO CARBONETOS	TAMANHO DE GRÃO	TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO A ₁	TENACIDADE	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	RESISTÊNCIA À CORROSÃO	SOLDABILIDADE
Si	SIM	NÃO	↗	↗	↗	↗	↗	↘
Mn	SIM	NÃO	↗	↘	↗	↗	---	↘
Cr	PARTE	PARTE	↗	↗	↗	↗	↗	↘
Ni	SIM	NÃO	REFINA	↘	↗	↗	↗	↘
Cu	SIM	NÃO	REFINA	↘	↘	↗	↗	↘
V	NÃO	SIM	REFINA	↗	↗	---	---	---
W	NÃO	SIM	REFINA	↗	↗	---	---	---
Co	SIM	NÃO	IMPEDE AUMENTO	---	---	---	---	---
Mo	NÃO	SIM	IMPEDE AUMENTO	↗	↘	↗	↗	↗

Fonte: Retirado de Pannoni (2005).

A introdução de outros elementos de liga nos aços-carbono é realizada quando se deseja aumentar a resistência mecânica, diminuir o peso, apresentar resistência à corrosão, aumentar a resistência ao calor, ao desgaste, a capacidade de corte, melhorar as propriedades elétricas e magnéticas, entre outros (Chiaverini, 1955).

2.9. CONTROLE DE QUALIDADE

Qualidade primeiramente se associou a definição de conformidade às especificações, ou seja, a adequação ao padrão, e assim, passando para uma visão de atendimento as necessidades do cliente, onde os fatores avaliados foram ampliados além das especificações, para atingir a satisfação do cliente (Daniel; Murback, 2014).

Para Cardoso (1995), as definições de qualidade diferem entre os considerados notáveis sob os aspectos de implicações dos fatores de qualidade para uma empresa. Desta maneira, na Tabela 1 apresenta-se os enfoques de alguns autores sobre a abordagem da qualidade.

Tabela 1 - Comparativo das definições e fatores para definição do conceito de qualidade.

FATORES	QUALIDADE	RECURSOS HUMANOS
Abordagem	Definição	Fatores
Deming	Perseguição às necessidades dos clientes e homogeneidade do processo de serviços com baixa variabilidade (previsibilidade)	Promovendo comprometimento, conscientização e motivação pela integração de objetivos do desenvolvimento individual através do desenvolvimento da empresa.
Crosby	Cumprimento das especificações estabelecidas para satisfazer aos clientes de modo econômico.	Estabelecendo comprometimento, conscientização, comunicação e motivação através de recompensas.
Feigenbaum	Exigência dos clientes concretizadas através de especificações em todas as fases de produção, com qualidade de processos compatível com tais especificações.	Desenvolvendo a conscientização em torno da contribuição de cada um para com a função qualidade.
Juran	Adequação ao uso através de percepção das necessidades dos clientes e aperfeiçoamentos introduzidos a partir de níveis de serviços já alcançados.	Mostrando compreensão da qualidade como uma das principais responsabilidades gerenciais, comprometimento da organização com a qualidade objetiva em todos os níveis, conscientização e consequente envolvimento de todos com projetos de melhoria
Ishikawa	Rápida percepção e satisfação das necessidades do mercado, adequação ao uso dos produtos/serviços e homogeneidade dos resultados dos processos (baixa variabilidade)	Compreendendo a qualidade como inerente ao trabalho, fazendo parte e sendo resultado do trabalho, com construção da qualidade de vida de cada um e da sociedade.

Fonte: Adaptado de Cardoso (1995).

As ferramentas de qualidade servem para potencializar as habilidades e competências da equipe através de métodos e técnicas para identificação das possíveis causas e a descoberta de soluções para o problema, buscando sempre a otimização dos processos operacionais da empresa (Daniel; Murback, 2014).

Para Duarte (2010), nos últimos 20 anos houve uma crescente quantidade de novas técnicas, ferramentas e ideias ligadas à metodologia da qualidade.

Alguns pensadores foram ganhando destaque, ao longo da história, com ideias inovadoras e teorias sobre a qualidade e a importância da gestão da qualidade nas organizações, na luta constante pela sobrevivência em um mercado cada vez mais competitivo (Martinelli, 2009).

Segundo Daniel; Murback (2014) as principais ferramentas utilizados no controle de qualidade estão o Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito ou de Ishikawa, Histograma, Diagrama de Dispersão, Fluxograma, *Brainstorming* e 5W2H.

De acordo com Seleme; Satdler (2012), as ferramentas de qualidade para a gestão de ideias pressupõem o estímulo à criatividade, sendo muito utilizadas nos processos de inovação e desenvolvimento de novos produtos, assim como na resolução de problemas por meio de novas ideias.

2.9.1. Diagrama de Pareto

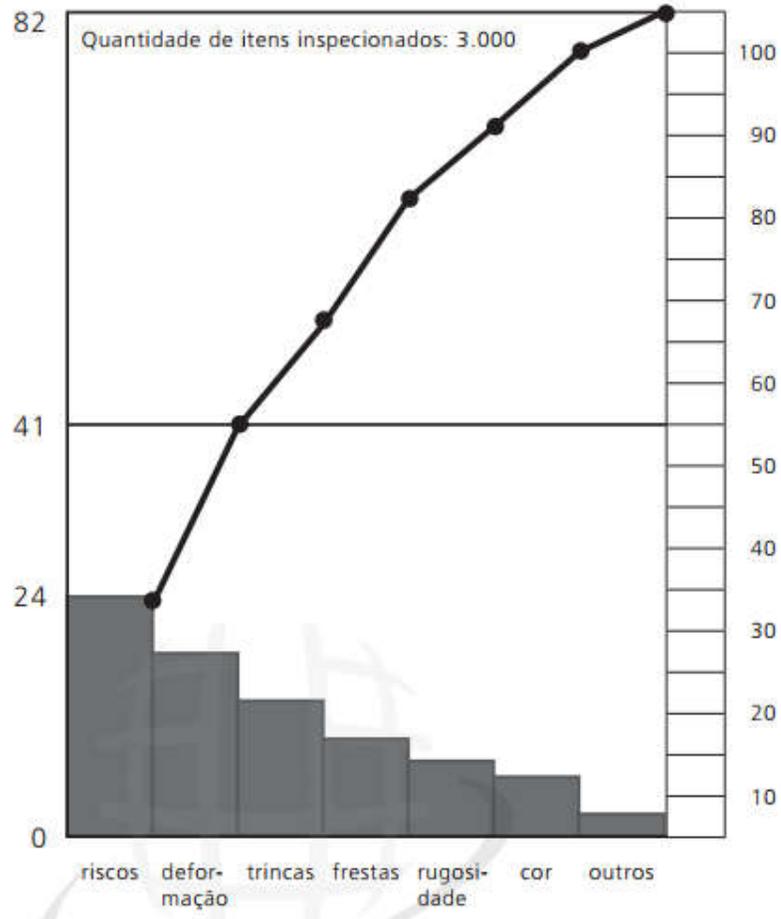
É um diagrama que apresenta os itens e a classe na ordem dos números de ocorrências, apresentando a soma total acumulada, desta forma é possível observar os problemas e determinar suas prioridades (Daniel; Murback, 2014);

De acordo com o princípio de Pareto, há uma relação de 20/80, onde classifica os problemas de qualidade, dividindo-os em “poucos vitais e muitos triviais”, ou seja, a maior quantidade dos defeitos se refere a poucas causas. Assim, o gráfico idealizado permite que sejam identificados e classificados aqueles problemas de maior importância e que devem ser corrigidos primeiramente (Seleme; Satdler, 2012).

O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que classifica e ordena os dados por frequência de ocorrência. Uma curva pode ser inserida no gráfico com a soma acumulada dos valores em porcentagem, tendo como objetivo identificar os problemas que deverão ser tratados primeiro (Martinelli, 2009).

Na Figura 3 é apresentado um gráfico para exemplificar o diagrama de Pareto, onde percebe-se que o item “riscos” é o maior causador de defeitos e que se solucionado, o maior número de defeitos apresentados será reduzido. Assim, percebe-se que, diagrama de Pareto permite analisar e traz um gráfico em formato simplificado, o que torna possível transmiti-los aos funcionários com facilidade (Seleme; Satdler, 2012).

Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Pareto por itens defeituosos.



Fonte: Retirado de Seleme; Satdler (2012).

A ferramenta diagrama de Pareto é tida como importante, pois indica as ações prioritárias, para que não seja gastado energia com coisas pequenas, deixando as mais importantes em segundo plano (Martinelli, 2009).

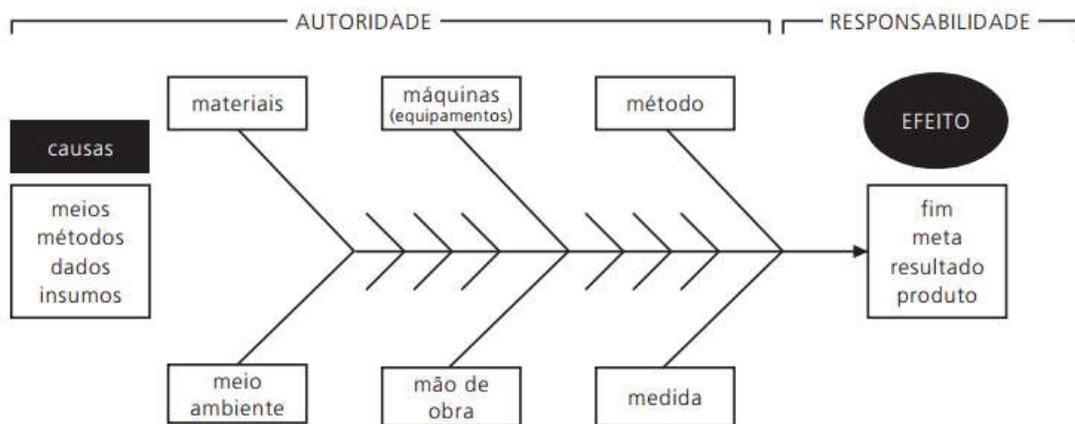
2.9.2. Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa também é conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe. Esse diagrama foi criado por Kaoru Ishiwaka, considerado pai do *Total Quality Control* japonês (Martinelli, 2009).

Ishikawa em 1953 consolidou estudos realizados em uma fábrica na forma de um diagrama de causa-efeito, onde a representação gráfica permite estabelecer quais são as causas que fazem com que o efeito ocorra (Seleme; Satdler, 2012).

É uma ferramenta utilizada para expor a relação existente entre o resultado de um processo e as causas que tecnicamente possam afetar o resultado, considerado útil para identificação de possíveis causas de um problema (Carla et al., 2009);

Figura 4 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Retirado de Seleme; Satdler (2012).

Com o diagrama de Ishikawa consegue-se analisar os *inputs* que afetam a qualidade e identificam as principais causas de problemas, assim como auxiliar a identificação da causa fundamental do problema e a determinação de ações que deverão ser adotadas, para atuar nos problemas identificados. Entretanto, o diagrama não difere uma causa da outra e não prioriza quais causas que devem ser corrigidas primeiro (Martinelli, 2009).

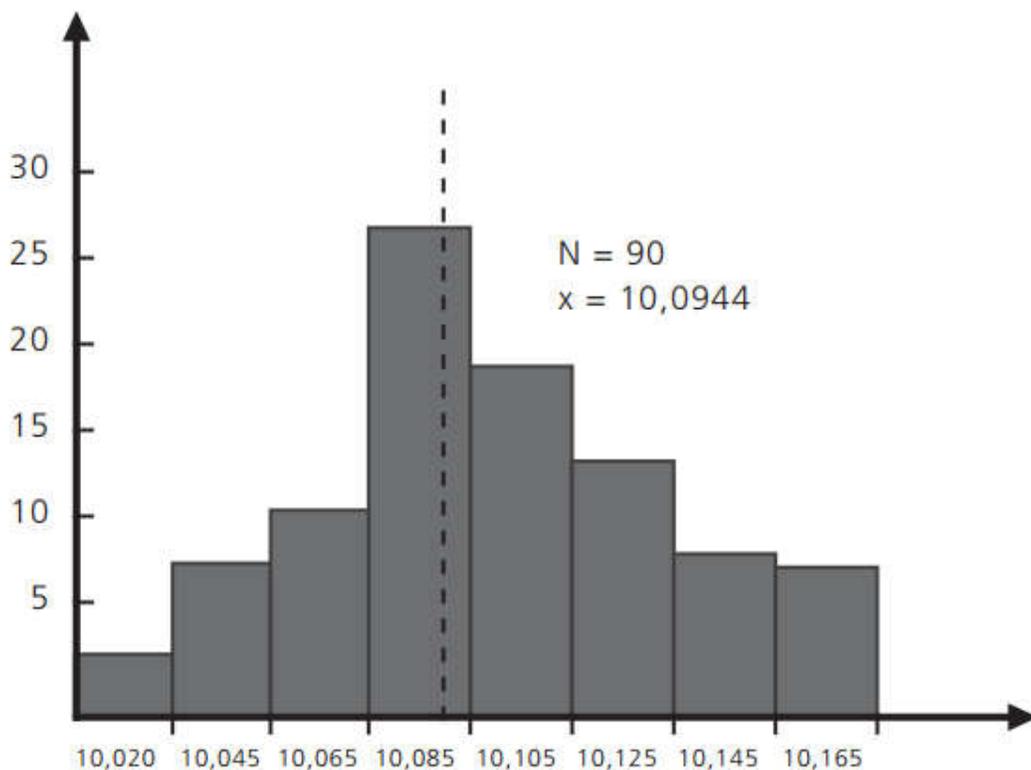
2.9.3. Histograma

Os histogramas permitem o reconhecimento de padrões de uma determinada amostra que é representativa de toda a população. Desta forma, é inevitável que valores de um certo conjunto de dados apresentem variação, pois não são sempre

os mesmos, entretanto, devem ser determinados de maneira ordenada, regidos sempre por uma certa regra, seguindo, pois, uma dada distribuição (Seleme; Satdler, 2012).

É desenvolvido em forma de gráfico de barras, mostrando a variação sobre uma faixa específica, expondo as características de cada processo, com a medição dos dados, permite ainda ter uma visão geral da variação desse conjunto de dados (Daniel; Murback, 2014). Um exemplo de como é apresentado um histograma é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de histograma.



Fonte: Retirado de Seleme; Satdler (2012).

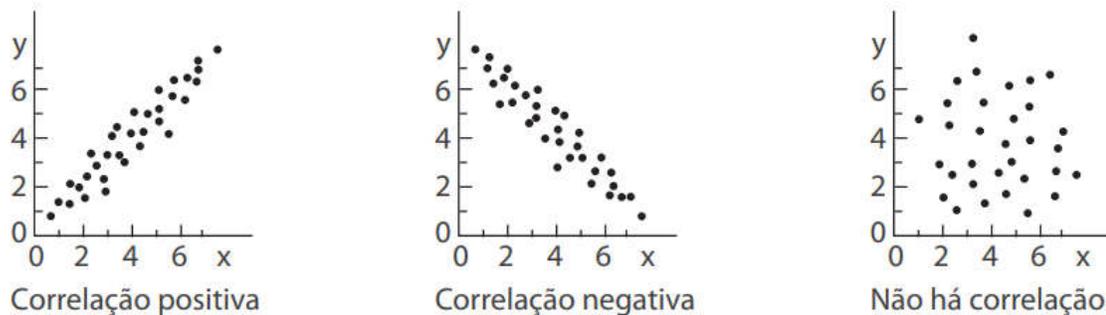
O histograma é utilizado para representar graficamente uma grande quantidade de dados numéricos, onde, através da análise do histograma é possível interpretar as informações de forma mais fácil e simples, do que acompanhar uma grande tabela ou um relatório com somente números e/ou valores (Kurokawa; Bornia, 2002).

2.9.4. Diagrama de Dispersão

Quando um item depende de outro, são ditos interdependentes, ou seja, o que ocorre com um deles causa efeito no outro. Assim, um gráfico de dispersão é uma ferramenta que possibilita o estudo desta relação, indicando parâmetros de variação que definirão o padrão de qualidade (Seleme; Satdler, 2012).

O Diagrama de Dispersão é utilizado normalmente para identificar a correção e estabelecer associação entre dois fatores ou parâmetros, são considerados essenciais para compreender as relações entre as variações (Daniel; Murback, 2014). Na Figura 6 é apresentado três tipos de diagramas de dispersão que possam ser obtidos.

Figura 6 - Exemplos de diagramas de dispersão com correlações distintas.



Fonte: Retirado de Martinelli (2009).

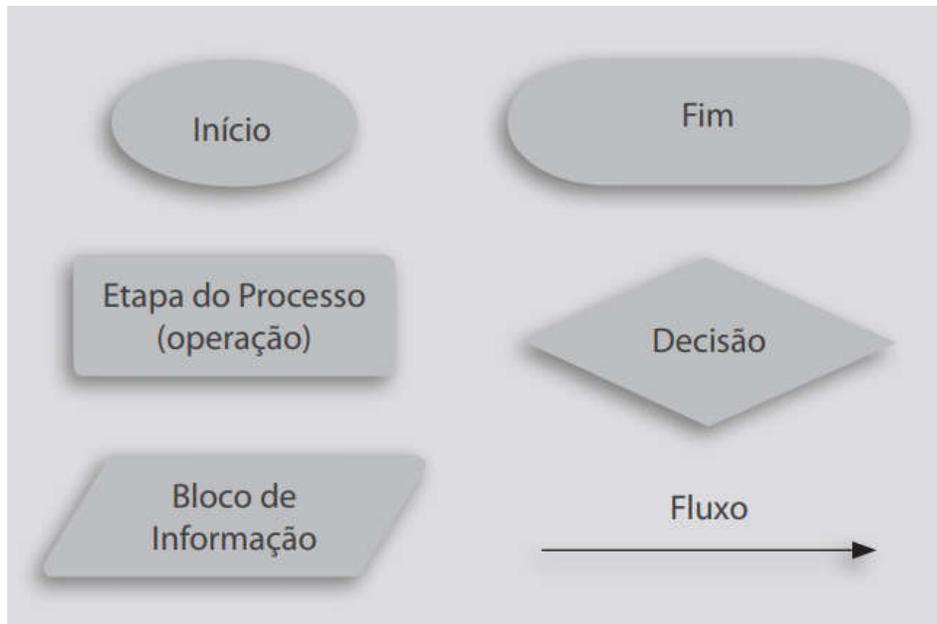
As correlações mostradas na Figura 6 podem ser positivas, negativas ou não apresentar correlação, o que irá significar que os dados que estão sendo correlacionados nas análises não irão gerar informações que permitam uma tomada de decisão confiável (Martinelli, 2009).

2.9.5. Fluxograma

É uma técnica que descreve através de símbolos específicos, cada etapa de um processo, apresentando-se resumidamente. Eles permitem verificar como se conectam e se relacionam os componentes de um sistema (De Azevedo, 2016).

De acordo com Seleme; Satdler (2012), fluxograma é uma ferramenta desenvolvida para “desenhar o fluxo” de processos, através de formas e pequenos detalhes. É uma representação visual do processo e permite identificar nele os possíveis pontos nos quais podem ocorrer problemas. Um exemplo dos padrões de símbolos utilizados na construção de um fluxograma é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de simbologia de fluxograma.



Fonte: Retirado de Martinelli (2009).

O controle de fluxos das informações é essencial para que todos na organização compreendam a origem da informação, sua utilidade e o seu destino. O planejamento ou revisão de um processo deve ser monitorado, e para tal se faz necessário registrar as sequências de eventos e atividades, de forma a torna-los sistemáticos e de fácil compreensão a todos, permitindo também identificar erros e falhas no meio do processo (Martinelli, 2009).

Os principais objetivos do fluxograma são a padronização na representação dos procedimentos, maior rapidez na descrição dos métodos, facilitação da leitura e do entendimento, facilitação da localização da informação e identificação dos aspectos e melhoria do grau de análise realizada pelo gestor (Seleme; Satdler, 2012).

2.9.6. *Brainstorming*

O *brainstorming* foi desenvolvido formalmente em 1957 por Osborn, o qual argumentou que esta ferramenta para inovação aumenta a qualidade e a quantidade das ideias geradas pelos membros do grupo. Tendo em vista que a geração de ideias é uma parte crítica do processo de inovação, muitas organizações consideram o *brainstorming* como ferramenta particularmente eficaz para a geração de um grande número de ideias criativas (Buchele et al., 2015).

É uma maneira disciplinada de gerar novas ideias a partir de uma discussão em grupo, sendo considerado como matéria-prima essencial para que as organizações permaneçam inseridas no mercado (Carla et al., 2009).

São consideradas três fases distintas em um *brainstorming*, sendo a primeira aquela em que as ideias são geradas, a segunda à realização dos esclarecimentos relativos ao processo, e a terceira presta-se à avaliação das ideias propostas (Seleme; Satdler, 2012).

Para a aplicação do *brainstorming* existirão dificuldades e custos, ou seja, a sua utilização na organização pode ser demorada ou pode haver dificuldade de criação de uma sessão de grupo quando houver o envolvimento de concorrentes. Além disso, mesmo que a geração e a seleção de ideias sejam essenciais no processo de inovação, combiná-las de forma eficaz é considerado uma tarefa onerosa, porém é altamente recomendável separar esses dois processos (Buchele et al., 2015).

2.9.7. 5W2H

Permite organizar um conjunto de ações planejadas de forma clara e objetiva, devendo seguir a identificação das etapas necessárias à implementação: *What* (o que será feito); *Why* (por quem deve ser executada); *Where* (onde será executada); *When* (quando deve ser executada); *Who* (quem realizará); *How* (como deverá ser realizada); *How Much* (quanto vai custar) (Daniel; Murback, 2014).

As sete perguntas tem como objetivo gerar respostas que esclareçam o problema a ser resolvido ou que organizem as ideias na resolução de problemas

(Seleme; Satdler, 2012). Na Figura 8 é apresentado um modelo conceitual desta ferramenta.

Figura 8 - Modelo da ferramenta 5W2H.

pergunta	significado	pergunta instigadora	direcionador
<i>What?</i>	O quê?	O que deve ser feito?	O objeto
<i>Who?</i>	Quem?	Quem é o responsável?	O sujeito
<i>Where?</i>	Onde?	Onde deve ser feito?	O local
<i>When?</i>	Quando?	Quando deve ser feito?	O tempo
<i>Why?</i>	Por quê?	Por que é necessário fazer?	A razão/o motivo
<i>How?</i>	Como?	Como será feito?	O método
<i>How much?</i>	Quanto custa?	Quanto vai custar?	O valor

Fonte: Retirado de Seleme; Satdler (2012).

A ferramenta 5W2H permite que um processo em execução seja dividido em etapas estruturadas a partir das perguntas, com o intuito de serem encontradas as falhas que impedem o término adequado do processo. Porém, o resultado encontrado com a sua aplicação não indica claramente as falhas, mas sim sua exposição para uma análise mais acurada (Seleme; Satdler, 2012).

Conforme Reis et al. (2016) a ferramenta 5W2H possibilita que todas as informações necessárias estejam organizadas para a execução de um planejamento, sendo considerada uma ferramenta de fácil entendimento, que possibilita para a empresa efetuar o plano de ação de modo organizado fazendo com que os gestores executem seu plano de forma bem planejada, pois abrange muitos benefícios para os gestores.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais e métodos utilizados para a elaboração da análise do controle de qualidade proposto para o setor de produção.

Uma empresa do sudoeste do Paraná, fabricante de geradores e ponte rolantes, com foco principal em usinas hidrelétricas, concedeu acesso aos dados de algumas peças a serem analisadas as propriedades básicas mecânicas. Entre os principais materiais utilizados nesta empresa para a confecção das peças para os geradores e pontes rolantes está o aço.

Realizou-se uma busca pelos materiais documentados que a empresa possuía, consultando o setor de compras, de engenharia mecânica, e de documentos arquivados, a fim de catalogar os certificados de qualidade requisitados e arquivados pela empresa.

As peças escolhidas para a realizar as análises foram o eixo do gerador, a chapa da roda polar, a chaveta do eixo e o tambor da ponte rolante.

Para os corpos de provas dos materiais, os laboratórios realizaram as análises químicas de cada peça, para determinação da composição química, e ensaios de tração para os valores de limite de escoamento, ruptura e alongamento. Em posse dos certificados de qualidade, realizou-se a análise dos valores obtidos com as normas e catálogos de fornecedores.

Desta maneira, elaborou-se planos de ações para o sistema de gestão de qualidade, elaborando-se duas ferramentas de controle de qualidade para aplicação no setor de produção da empresa. Para isto, utilizou-se dos métodos encontrados em literatura e os mais difundidos atualmente. As ferramentas destacadas para utilização na produção das peças em questão foram o Fluxograma e o 5W2H, incluindo também na última ferramenta, o *Brainstorming*.

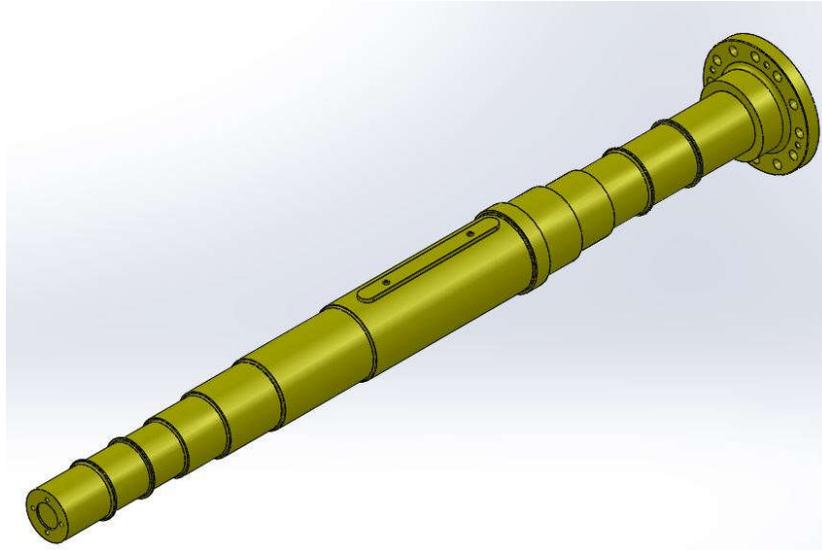
A Norma NBR ISO 9001 foi utilizada como material de apoio para a elaboração das sugestões de ferramentas de gestão de qualidade que possam ser empregados.

3.1. PEÇAS ANALISADAS

3.1.1. Eixo dos geradores

O eixo de um gerador é a peça na qual o rotor é acoplado para se ter o movimento giratório. O formato do eixo pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Eixo do gerador.



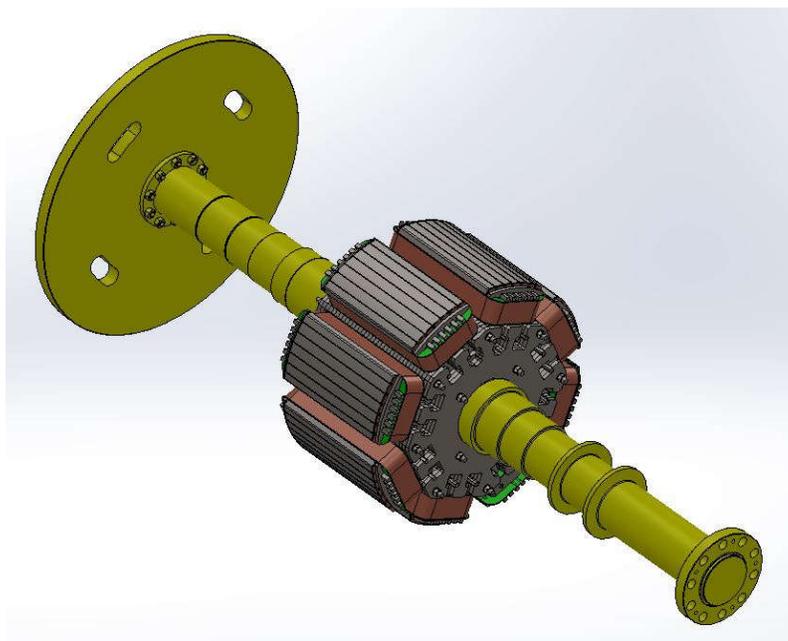
Devido ao eixo ser a peça responsável pelo apoio de todos os componentes do rotor e de ser solicitado constantemente, determinou-se que a análise da qualidade do material que o compõe é de fundamental importância.

3.1.2. Chapas do Polo do Rotor

Os geradores são constituídos de duas partes principais, o estator, parte fixa, e o rotor, parte móvel. O rotor ao receber uma força mecânica externa começa a girar, fazendo com que o seu polo sul seja atraído para o polo norte do estator, e vice-versa. Assim, em motores trifásicos, quando um enrolamento é alimentado por correntes trifásicas, é criado um campo girante, agindo como apenas um único par de polos girantes.

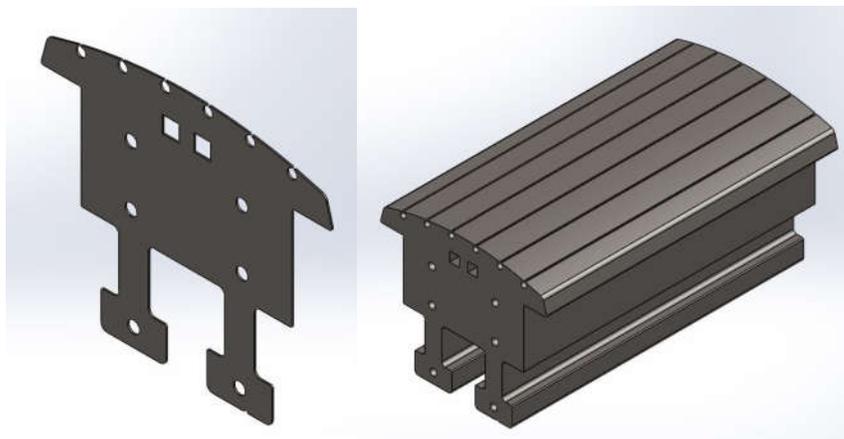
Os rotores são compostos por um eixo, onde todo o resto do rotor é montado, um núcleo magnético, composto por lâminas finas e prensadas, barras condutoras e os anéis de curto-circuito, como mostradas na Figura 10 (Oliveira, 2009).

Figura 10 - Rotor, composto pelo eixo, núcleo magnético e barras condutoras.



Assim, escolheu-se para análise, as chapas que constituem os polos do rotor, as quais possuem 2 mm de espessura, e apresentam uma grande solicitação mecânica, uma vez que compõem a parte móvel do gerador. As chapas de 2 mm do polo no rotor são mostradas na Figura 11.

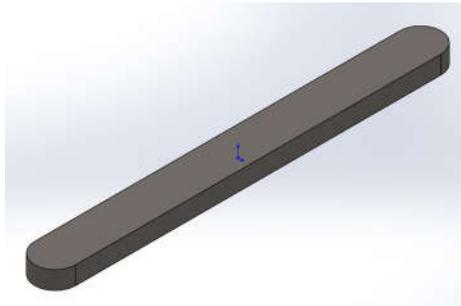
Figura 11 - Chapa da roda polar.



3.1.3. Chavetas de eixo

As chavetas do eixo são fabricadas em aço, normalmente de espessura de 1.1/2" até 2", com forma retangular ou semicircular, como mostrados na Figura 12. As chavetas se interpõem numa cavidade de um eixo e de uma peça, tendo como finalidade ligar dois elementos mecânicos.

Figura 12 - Chavetas do eixo.



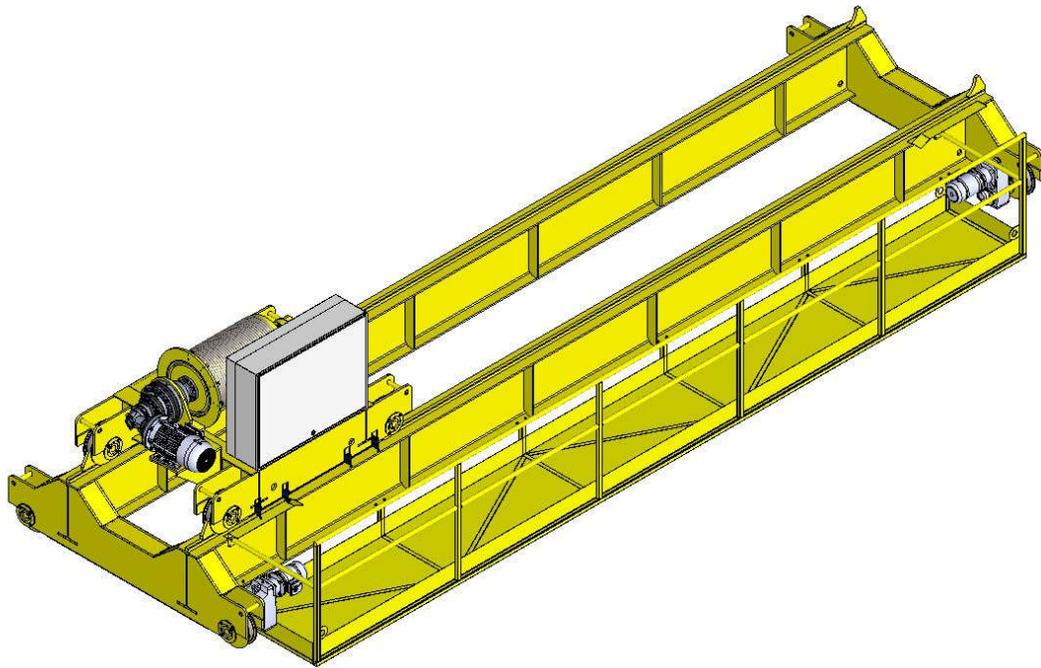
Por se apresentar como uma peça de fixação, as chavetas dos eixos dos geradores foram classificadas como uma peça importante a ser analisada.

3.1.4. Tambor da Ponte Rolante

Em usinas hidrelétricas, uma ponte rolante comumente é utilizada para o içamento de equipamentos e elementos para à montagem e desmontagens das unidades geradoras, localizadas normalmente na Casa de Força das usinas, auxiliando em todos os equipamentos que serão montadas e posteriormente realizadas manutenções (Alves, 2007). Na Figura 13 é mostrada um exemplo de ponte rolante.

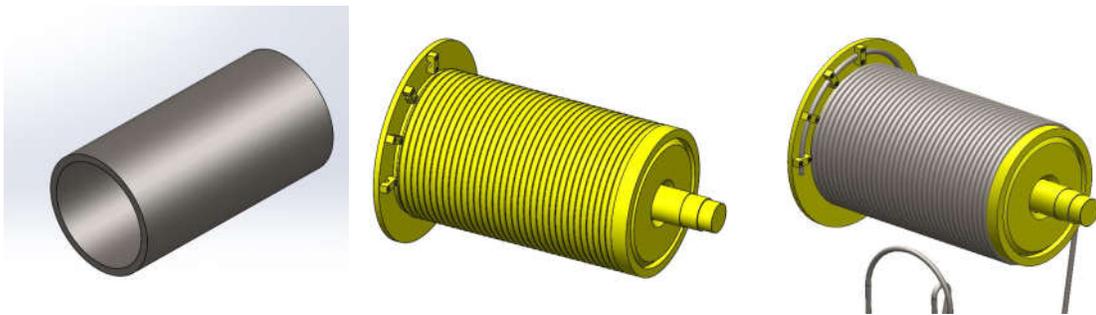
Para a ponte rolante, escolheu-se, como motivo de análise, o material do qual é feito o tambor da ponte rolante. O tambor é a peça na qual se enrola o cabo de aço da ponte, para o içamento dos materiais. Na Figura 14 (a) é apresentado um modelo do material de onde é obtido o tambor da ponte rolante, o qual depois de usinado, toma sua forma, mostrada na Figura 14 (b), onde por fim, é possível ter os cabos da ponte enrolados em si, Figura 14 (c);

Figura 13 - Exemplo de ponte rolante.



Como o tambor da ponte rolante é um dos itens que mais possui solicitações mecânicas durante o uso da ponte, necessita-se saber quais são os materiais que compõem esse tambor, além de suas propriedades mecânicas.

Figura 14 – (a) Material do tambor; (b) Tambor depois de usinado; (c) Fase final do tambor da Ponte Rolante.



3.2. CERTIFICADOS DE QUALIDADE

A fim de que cada peça possua sua correta especificação e propriedades mecânicas necessárias, a empresa normalmente requisita os certificados de qualidade à cada fornecedor do material, com o intuito de garantir a qualidade do produto a seus clientes.

Dentro das peças que necessitam que sejam feitas essas análises, está o eixo dos geradores, composto do aço SAE-1045, pré-usinado. O aço SAE-1045 possui uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura, tendo suas propriedades variáveis conforme o tratamento térmico que possui, como por exemplo a dureza do material.

Os resultados das análises obtidas dos certificados catalogados dos fornecedores do aço SAE-1045 que compõem os eixos, de quatro lotes diferentes, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise química do aço SAE-1045 do eixo do gerador.

Amostra	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)
1	0,44	0,66	0,22	0,013	0,006	0,11
2	0,45	0,64	0,22	0,013	0,002	0,02
3	0,45	0,65	0,27	0,011	0,006	0,14
4	0,44	0,72	0,28	0,015	0,010	0,14

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Acervo da empresa.

Obteve-se os resultados também em três dessas amostras dos ensaios mecânicos de tração, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Ensaio mecânicos de tração do aço SAE-1045 do eixo do gerador.

Amostra	Limite de escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento (%)
Especificado	≥ 392	≥ 638	$4D \geq 17,0$
1	453,0	739,0	19,0
3	553,0	786,0	17,0
4	473,0	742,0	22,0

Fonte: Acervo da empresa.

O aço A36 é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica, conhecida pelo seu alto poder de soldabilidade, baixa intensidade de carbono na liga metálica e excelente custo benefício (Ferraço, 2019).

Requisitou-se as análises de diferentes lotes, também realizando a análise química e ensaios mecânicos. As tabelas comparativas obtidas entre os lotes são apresentadas na Tabela 4, análise química, e na Tabela 5, ensaios mecânicos.

Tabela 4 - Análise química das chapas 2mm de aço A36.

Amostra	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)
1	0,17	0,89	0,02	0,017	0,007	0,00
2	0,15	0,88	0,01	0,022	0,006	0,00
3	0,15	0,88	0,02	0,020	0,007	0,00
4	0,14	0,69	0,14	0,020	0,006	0,01
5	0,15	0,68	0,21	0,015	0,006	0,01
6	0,15	0,68	0,21	0,015	0,006	0,01
7	0,15	0,66	0,19	0,021	0,007	0,01
8	0,15	0,66	0,19	0,021	0,007	0,01

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Acervo da empresa.

Tabela 5 - Ensaios mecânicos de tração das chapas de aço A36 da roda polar de 2 mm.

Amostra	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento (%)
1	414,0	520,0	32,0
2	404,0	507,0	35,0
3	376,0	491,0	31,0
4	343,0	423,0	30,0
5	316,0	447,0	31,0
6	316,0	447,0	31,0
7	309,0	438,0	32,0
8	309,0	438,0	32,0

Fonte: Acervo da empresa.

Para as chavetas do eixo, as quais também foram utilizadas chapas de aço ASTM A36, mostradas na Figura 12, requisitou-se os testes de análise química e ensaios mecânicos de 5 (cinco) lotes diferentes, de fornecedores diferentes, os

quais podem ser observados na Tabela 6, análises químicas e na Tabela 7, os ensaios mecânicos.

Tabela 6 - Análise química das chapas de 2 mm de aço A36 da chaveta do eixo.

Amostra	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cu (%)
1	0,120	0,399	0,008	0,013	0,005	0,002
2	0,123	0,390	0,009	0,015	0,004	0,005
3	0,119	0,379	0,013	0,010	0,008	0,003
4	0,126	0,419	0,014	0,010	0,006	0,009
5	0,123	0,421	0,015	0,012	0,003	0,009

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Acervo da empresa.

Tabela 7 - Ensaio mecânicos de tração das chapas de 2 mm de aço A36 da chaveta do eixo.

Amostra	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento (%)
1	336,0	455,0	29,0
2	347,0	470,0	32,0
3	350,0	447,0	36,2
4	329,0	453,0	30,0
5	341,0	469,0	33,0

Fonte: Acervo da empresa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada tipo de aço, estabelece-se parâmetros definidos em normas, como por exemplo de sua composição química e das propriedades mecânicas.

Desta maneira, para o aço ASTM 36, categorizado como um aço carbono de média resistência mecânica e boa soldabilidade a composição química é estabelecida pela norma ASTM A36, como mostradas na Tabela 8.

Tabela 8 - Composição química do aço ASTM A36.

C_{máximo} (%)	Mn (%)	P_{máximo} (%)	S_{máximo} (%)	Si_{máximo} (%)	Cu_{minimo} (%)
0,28	0,60 – 0,90	0,04	0,05	0,40	0,20

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Adaptado de ASTM International (2008).

As propriedades mecânicas definidas pela norma ASTM A36 são mostradas na Tabela 9.

Tabela 9 - Propriedades mecânicas do aço ASTM A36.

Propriedades	Valores médios
Limite de escoamento	250 MPa
Limite de Ruptura	400 – 450 MPa
Alongamento	23%

Fonte: Adaptado de ASTM International (2008).

Percebe-se com a comparação entre os valores obtidos dos certificados das amostras das peças utilizadas na produção e com os valores definidos pela norma que para as chapas da roda polar, os valores de limite de escoamento estão todos acima de 250 MPa, e os valores de alongamento são todos superiores a 23%, entretanto, três amostras apresentaram valores superiores a faixa como determinado pela norma ASTM A36.

Do mesmo modo, para as chavetas do eixo, os limites de escoamentos foram todos satisfatórios, assim como os valores encontrados de alongamento, entretanto, quatro amostras tiveram os valores de ruptura acima da margem especificada em

norma. A Tabela 10 apresenta essa comparação dos valores analisados nos certificados com a norma.

Tabela 10 - Tabela comparativa das propriedades mecânicas das chapas de 2 mm de aço A36.

Amostra	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento (%)	
Roda polar	1	414,0	520,0	32,0
	2	404,0	507,0	35,0
	3	376,0	491,0	31,0
	4	343,0	423,0	30,0
	5	316,0	447,0	31,0
	6	316,0	447,0	31,0
	7	309,0	438,0	32,0
	8	309,0	438,0	32,0
Chavetas	1	336,0	455,0	29,0
	2	347,0	470,0	32,0
	3	350,0	447,0	36,2
	4	329,0	453,0	30,0
	5	341,0	469,0	33,0
Norma	250 (mín)	400-450	23% (mín)	

Fonte: Adaptado de acervo da empresa.

Para os valores da composição química do aço A36, nota-se que em todas as amostras os níveis de carbono, fósforo, enxofre e silício se apresentam adequados. Entretanto, o nível de carbono só está adequado para as amostras das chapas da roda polar, enquanto que para as chavetas do eixo os valores são inferiores ao estabelecido por norma, do mesmo modo os níveis de cobre de ambas as peças possuem valores inferiores aos especificados. A comparação dos valores pode ser observada na Tabela 11.

Para o aço SAE-1045, utilizado para a fabricação dos eixos dos geradores os valores de base para a composição química podem ser verificados na Tabela 12.

Tabela 11 - Tabela comparativa da composição química das chapas de 2 mm de aço A36.

Amostra	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	
Roda polar	1	0,17	0,89	0,02	0,017	0,007	0,00
	2	0,15	0,88	0,01	0,022	0,006	0,00
	3	0,15	0,88	0,02	0,020	0,007	0,00
	4	0,14	0,69	0,14	0,020	0,006	0,01
	5	0,15	0,68	0,21	0,015	0,006	0,01
	6	0,15	0,68	0,21	0,015	0,006	0,01
	7	0,15	0,66	0,19	0,021	0,007	0,01
	8	0,15	0,66	0,19	0,021	0,007	0,01
Chavetas	1	0,120	0,399	0,008	0,013	0,005	0,002
	2	0,123	0,390	0,009	0,015	0,004	0,005
	3	0,119	0,379	0,013	0,010	0,008	0,003
	4	0,126	0,419	0,014	0,010	0,006	0,009
	5	0,123	0,421	0,015	0,012	0,003	0,009
Norma	0,28(máx)	0,60 – 0,90	0,04(máx)	0,05(máx)	0,40(máx)	0,20 (mín)	

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Adaptado de acervo da empresa.

Tabela 12 - Composição química do aço SAE-1045.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P _{máximo} (%)	S _{máximo} (%)
0,43 – 0,50	0,15 – 0,35	0,60 – 0,90	0,03	0,05

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Adaptado de Açosorte (2019).

Da mesma forma, na verifica-se na Tabela 13 os valores médios de base para os limites de escoamento, ruptura e alongamento do aço SAE-1045, de acordo com tabelas de fabricantes.

Tabela 13 - Propriedades mecânicas do aço SAE-1045.

Propriedades	Valores médios
Limite de Escoamento	310 MPa
Limite de Ruptura	560 MPa
Alongamento	17%

Fonte: Adaptado de Açospecial (2019).

Nota-se que os valores de limite de escoamento, ruptura e alongamento das amostras analisadas do material do eixo dos geradores foram satisfatórias em relação aos valores médios estabelecidos, como pode ser observado na Tabela 11 .

Tabela 14 - Tabela comparativa das propriedades mecânicas do aço SAE 1045 dos eixos dos geradores.

Amostra	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Alongamento (%)
1	453,0	739,0	19,0
3	553,0	786,0	17,0
4	473,0	742,0	22,0
Norma	310,0	560,0	17,0

Fonte: Adaptado de acervo da empresa.

Da mesma maneira, para a composição química do aço SAE-1045 dos eixos dos geradores, quando comparado com os valores médios das normas, os níveis de carbono, silício, fósforo, manganês e enxofre estão todos dentro dos valores especificados, como apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Tabela comparativa da composição química do aço SAE 1045 dos eixos dos geradores

Amostra	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)
1	0,44	0,66	0,22	0,013	0,006	0,11
2	0,45	0,64	0,22	0,013	0,002	0,02
3	0,45	0,65	0,27	0,011	0,006	0,14
4	0,44	0,72	0,28	0,015	0,010	0,14
Norma	0,43 – 0,50	0,15 – 0,35	0,60 – 0,90	0,03	0,05	0,43 – 0,50

Legenda: C – Carbono; Mn – Manganês; Si – Silício; P – Fósforo; S – Enxofre; Cu – Cobre.

Fonte: Adaptado de acervo da empresa.

Verificou-se que, para a ponte rolante os certificados requisitados e obtidos até o momento não haviam sido registrados, apontando uma falta de padronização no controle das documentações, sendo assim, não possível analisar os certificados da mesma.

Algumas das peças possuem critérios pré-calculados ou até mesmo requisitados pelos clientes, o que explica os valores discrepantes das análises com os valores utilizados como base.

Diante deste cenário, com a utilização das ferramentas de qualidade, elaborou-se um fluxograma para readequar as etapas, desde a solicitação do material até a produção final.

O fluxograma pode ser visualizado na Figura 18, onde o processo se inicia com a escolha da peça, a qual a fábrica está com demanda no momento. Ao ser definida qual peça irá ser produzida, escolhe-se o material que comumente é utilizado, ou o material que se especificou para a aquisição, determinando qual a composição e valores das propriedades mecânicas necessárias de antemão.

Na etapa das tratativas de cotações, que o setor de compras é responsável, deve-se ser requisitado os certificados de qualidade dos materiais, para todas as peças em que a composição do material e os valores dos ensaios mecânicos são fundamentais.

Neste momento, o setor de engenharia responsável, deverá realizar a verificação das conformidades do material, se o mesmo está ou não dentro dos especificados para a fabricação das peças. Se os resultados apresentados se mostrarem satisfatórios, então esse certificado é arquivado. Este procedimento deve ser adotado para todos os materiais adquiridos, de maneira a se compor um portfólio de certificados de qualidade para todos os equipamentos da produção.

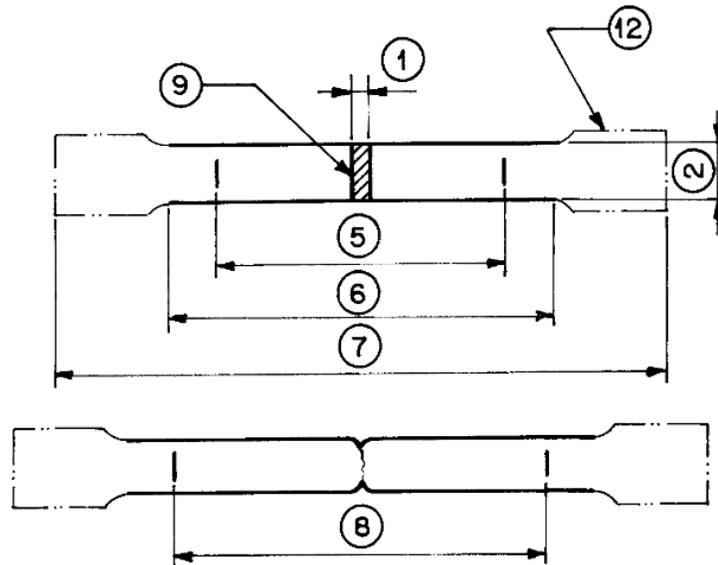
Caso os valores apresentados nos certificados não estejam dentro do esperado, o material não deve ser adquirido, e se mostra necessário que se requisite novos testes, com os seus referidos ensaios, para a comprovação dos valores necessários. Quando todos os valores se mostrarem satisfatórios, o material pode ser adquirido pela empresa.

Ao receber esse material na empresa, deverá ser realizado novos ensaios a fim de garantir que os valores das propriedades mecânicas apresentados pelos fornecedores são coerentes com o material recebido. Desta maneira, corpos de prova devem ser preparados com o material adquirido.

Os corpos de prova devem ser concebidos a partir de tiras, com dimensões superiores a largura do corpo de prova, depois disso, devem ser sobrepostas em camadas para serem fresadas. Toda marca que possa ser deixada na confecção

dos corpos de prova deve ser lixada ou polida. O formato dado ao corpo de prova é apresentado na Figura 15, a qual se baseia na norma NBR 6852.

Figura 15 - Corpos de prova usinados de seção retangular.



Fonte: Retirado de ABNT NBR 6852.

Onde os números de referências mostrados na Figura 15 significam:

- 1 – Espessura de um corpo de prova plano ou espessura da parede de um tubo;
- 2 – Largura do comprimento paralelo do corpo de prova plano ou largura média da tira longitudinal tomada a partir de um tubo ou da largura de um fio chato;
- 5 – Comprimento da medida original;
- 6 – Comprimento paralelo;
- 7 – Comprimento total do corpo de prova;
- 8 – Comprimento de medida final após a ruptura;
- 9 – Área da seção transversal original do comprimento paralelo;
- 12 – Extremidades do corpo de prova.

Os corpos de prova devem ser obtidos com dimensões, seguindo o que define o anexo B, da norma NBR 6892, onde especifica os tipos de corpos de prova

a serem usados para produtos finos, como chapas com espessura entre 0,1 mm e 3 mm. As medidas podem ser conferidas na Tabela 16.

Tabela 16 - Dimensões do corpo de prova.

Tipos de corpo de prova	Largura	Comprimento de medida original	Comprimento paralelo	Comprimento livre entre as garras para corpo de prova de lados paralelos
1	12,5 ± 1	50	75	87,5
2	20 ±	80	120	140

Fonte: Retirado de ABNT NBR 6852.

Para a realização dos ensaios de tração, os corpos de prova podem ser encaminhados a um laboratório, como por exemplo, o Laboratório de Materiais da União de Ensino do Sudoeste do Paraná, onde eles contam com uma máquina de ensaios, marca EMIC, modelo DL-10000, capacidade de 10.000 kgf, tipo dupla coluna, de piso, com faixa de velocidade de ensaio de 0,0002 a 20 mm/min, precisão de medição Classe 1, conforme NM ISSO 7500-1. A máquina é mostrada na Figura 16.

Figura 16 - Máquina de ensaios.



Fonte: Autoria própria.

Para o ensaio de tração proposto, como já mencionado, é sendo aplicado uma carga no corpo de prova, a qual vai tendo seu valor aumentado ao longo do tempo, ao mesmo tempo em que é realizada as medidas de tensão e deslocamento, dessa forma é possível plotar uma curva de tensão-deformação para cada corpo de prova, como mostrado na Figura 17, obtendo assim os valores de limite de escoamento, limite de ruptura e alongamento de cada material, a fim de atestar a veracidade dos certificados recebidos.

Figura 17 - Exemplo de gráfico gerado com resultados da máquina de ensaios.

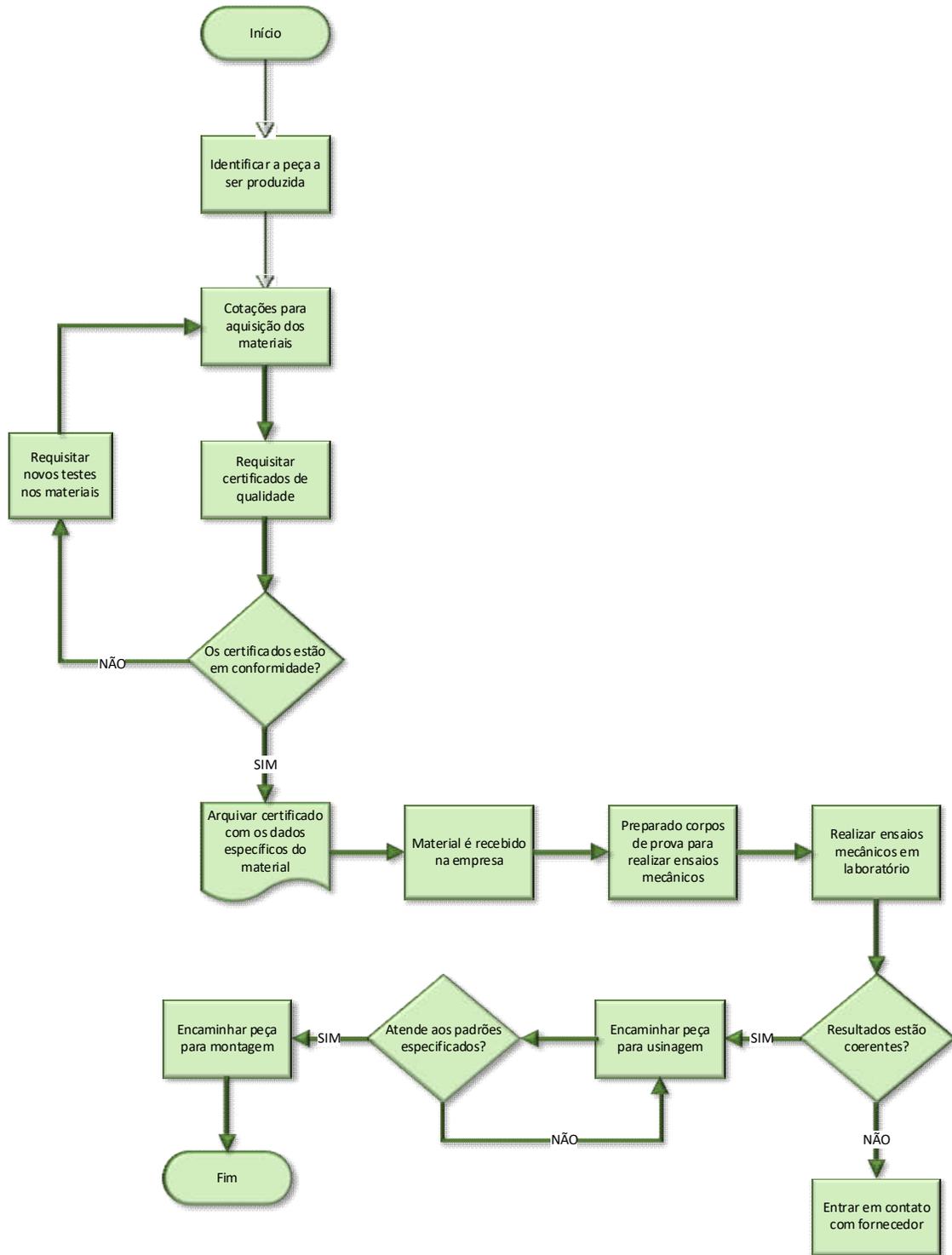


Fonte: Acervo da empresa.

Após as verificações dos resultados dos ensaios realizados, o material pode ser encaminhado para a usinagem, onde o procedimento correto para a obtenção da forma especificada deve ser produzido.

Após a peça ser produzida, ela deverá passar por uma nova inspeção, pra conferir se ela está dentro dos padrões estabelecidos previamente pelo setor de engenharia. Caso a peça esteja conforme, ela é enviada para a montagem do gerador ou ponte rolante. Entretanto se apresentar alguma disparidade, a peça deverá retornar para a usinagem a fim de verificar a impropriedade.

Figura 18 - Fluxograma do controle de qualidade.



Fonte: Autoria própria.

Da mesma maneira que o fluxograma pode ser empregado facilmente, pode-se também implementar uma segunda ferramenta de qualidade, a 5W2H, a qual vem com o propósito de complementação ao fluxograma anteriormente proposto, mostrada na Tabela 17.

Tabela 17 - Ferramenta 5W2H aplicada ao controle de qualidade na produção.

5W					2H	
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem? (Who?)	Quando (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)
Propor um controle de qualidade	Para poder ofertar maiores prazos de garantia	No processo da obtenção dos materiais	Gestores e analistas envolvidos nos processos	Iniciarem as novas cotações de materiais	Implementando as ferramentas designadas para a melhoria do processo produtivo	Custo zero
Padronização dos processos de controle de qualidade	Para aumentar a confiabilidade dos produtos	Na produção pré e pós usinagens	Especialistas e engenheiros responsáveis	No início do próximo projeto	Usando normas específicas para se obter a conformidade em todo o processo	10000,00
Implantação da ISO 9001	Aumentar a competitividade no mercado, agregando valor ao produto	Em todos os setores envolvidos no processo	Diretoria e profissionais diretamente ligados ao processo	Após a implementação da padronização	Através de um longo processo de adequação às normas e investimentos necessários	Variável

Fonte: Autoria própria.

Como apresentado pela Tabela 17, a ferramenta 5W2H foi proposta para 3 (três) casos. O primeiro “O *que?*” vem como complementação ao fluxograma, onde propõem realizar um controle de qualidade, o qual possui como objetivo melhorar a qualidade dos produtos e dessa maneira ter a possibilidade de aumentar os prazos de garantia, atualmente ofertados, pois possuiria uma maior garantia do produto produzido, visto que seria aplicado nos materiais adquiridos. Esse processo poderia ser alcançado aplicando as ferramentas anteriormente designadas. Como a ideia é propor um controle de qualidade, este item se apresenta com custo zero para a empresa, pois ela poderia ser realizada através de um *Brainstorm* realizado entre gestores e analistas.

O segundo item abordado no 5W22 é a padronização dos processos de controle de qualidade. Esse item foi abordado pois ao padronizar os processos de controle anteriormente citados, agregaria confiabilidade no produto, sendo aplicado esta padronização desde a etapa de adquirir os materiais até a obtenção da peça pronta. Especialistas e engenheiros dos setores seriam os responsáveis por esta padronização, a partir da utilização das normas específicas aplicáveis para cada item. O custo apresentado para a empresa para esta aplicação seria de cursos ofertados para a especialização na área.

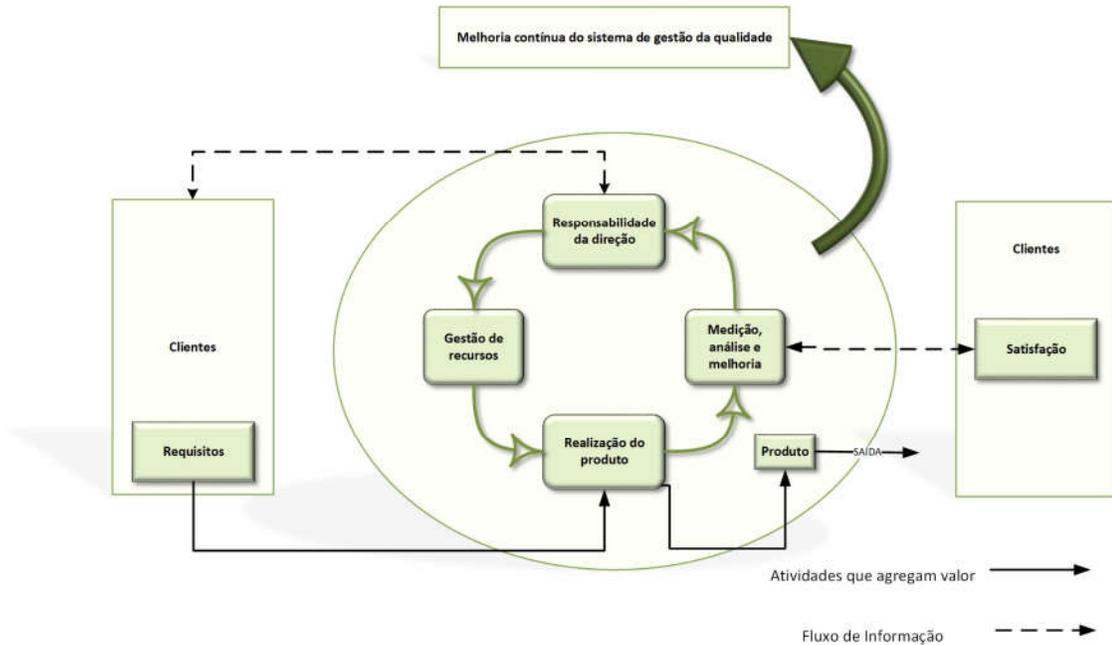
E por último, se propõem que a empresa fique em conformidade com a ABNT NBR ISO 9001: “Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos”. A Norma ISO 9001 (2015), traz adotar um sistema de gestão da qualidade deve ser uma decisão estratégica de uma organização, tendo que projeto e implementação são influenciados pelo ambiente organizacional, mudanças e riscos associados à este ambiente, necessidades que se alteram, objetivos particulares, produtos fornecidos, processos utilizados, porte e estrutura organizacional.

A implementação da Norma ISO 9001 faria com que a competitividade no mercado da empresa crescesse, pois ela traz maior confiança ao cliente de que todos os produtos ali produzidos são criados e realizados de maneira repetitiva, aponto de que obtenha uma determinada qualidade imposta pela empresa. As especificações da norma deveriam ser aplicadas a todos os setores envolvidos com a produção. Como a implantação da norma é algo que envolve toda a empresa, a mesma deve ser proposta pela alta diretoria e os profissionais ligados diretamente à gestão de qualidade. O melhor momento para propor esta implementação seria após a verificação de acertabilidade das etapas de padronização. A implantação deve ser feita com diagnósticos de um especialista da norma, criando assim um cronograma de atividades para que a empresa se adeque às normas, com todos os investimentos necessários. O custo para esta efetivação se apresenta variável, pois dependeria da análise do especialista e do tempo que a empresa levaria para a adequação.

Com a inserção do certificado de qualidade da ISO 9001 a empresa poderia ter a competência de se utilizar de outra ferramenta de qualidade, a fim de manter a qualidade alcançada, conhecida como PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), que significa planejar, fazer, checar e agir, mostrada na Figura 19.

Como o intuito do ciclo PDCA é de controlar e melhorar os produtos e processos de forma contínua, ela se apresenta como uma ferramenta viável para ser estudada e implantada na empresa.

Figura 19 - Modelo de Ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado de ABNT ISO 9001 (2015).

Desta forma, aperfeiçoaria os procedimentos e padronização existente e controlaria para que a empresa mantivesse o nível de qualidade estabelecido, para ocasionalmente não se encontrar em desconformidade com a ISO 9001, o que acarretaria na perda do certificado.

5 CONCLUSÕES

Concluiu-se que a grande maioria dos valores encontrados nestes certificados se apresentavam dentro das conformidades requisitadas, entretanto, alguns valores foram discrepantes em relação aos apresentados por normas e valores médios. O aço SAE-1045, apresentou todos os valores da composição química (carbono, silício, manganês, fosforo e enxofre) dentro das faixas apresentadas por normas, enquanto que das propriedades mecânicas o limite de ruptura ficou dentro do valor estipulado, enquanto que o limite de escoamento e o percentual de alongamento foram superiores aos estabelecidos. Para as chapas da roda polar, os valores obtidos na composição química das amostras apontaram que para os índices de cobre, magnésio, fosforo, enxofre e silício estavam coerentes com a norma, entretanto o nível de cobre apresentou um valor bem inferior ao esperado (menor que 0,2%). Para os valores das propriedades mecânicas das chapas da roda polar, apenas 2 das amostras ultrapassou a faixa de valores para o limite de ruptura, ficando acima de 450 MPa. E por fim, para as chapas das chavetas do eixo, os níveis de carbono, fosforo, enxofre, silício estão dentro dos valores determinados em norma, enquanto que o magnésio ficou abaixo de 0,6% e o cobre ficou bem inferior a 0,2% em todas as amostras, para os valores das propriedades mecânicas (limite de escoamento, de ruptura e alongamento) ficaram dentro dos valores esperados.

Um dos pontos que mais despertou a atenção, foi que alguns dos materiais não tinham seus certificados de qualidade registrados ou arquivados. A falta de registros dos valores especificados para a compra dos materiais dos mesmos identifica a necessidade da implantação de um sistema para o controle de qualidade no setor de produção da empresa.

À vista disso, propôs-se duas ferramentas de qualidade que podem ser empregadas na produção da empresa. Apresentou-se o fluxograma, que de maneira simples, utiliza-se de etapas a serem seguidas para aumentar o controle de qualidade que presentemente existe na empresa.

De maneira compensativa, elaborou-se outra ferramenta de qualidade, a 5W2H, a qual abriu mais leques de opções para a melhoria no processo. Salientando a empregabilidade da padronização dos processos e por conseguinte a efetivação da certificação da ISO 9001 no setor de produção da fábrica.

A implantação da ISO 9001 viria a fazer com que a empresa padronizasse e seguisse as etapas do controle de qualidade estabelecidos, focando assim em sua organização e satisfação com o cliente, o que agregaria valor aos seus produtos, conseqüentemente elevando a sua competitividade no mercado. Por fim, sugere-se que mais uma ferramenta de gestão poderia ser empregada, o ciclo PDCA, a fim de manter o nível de qualidade obtido com a implementação da ISO 9001.

Assim, percebe-se que com ferramentas consideradas de fácil elaboração e implantação, a empresa poderia conseguir que os seus produtos possuíssem uma garantia de qualidade, e que a partir da organização e padronização dos processos, se tornariam processos triviais.

REFERÊNCIAS

ALVES, G. Avaliação da viabilidade de implantação de uma micro- central hidroelétrica para atender consumidores localizados em regiões isoladas. **Aleph**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO. 9001:2008**. Sistemas de gestão da qualidade – requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 6892: 2002**. Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2002.

ASTM INTERNATIONAL. Standard Specification for Carbon Structural Steel 1: Annual Book of ASTM Standards. , 2008. Disponível em: <<http://www.shunitesteel.com/wp-content/uploads/2013/05/A36/A36M-05-Standard-Specification-for-Carbon-Structural-Steel.pdf>>. .

DE AZEVEDO, I. C. G. Fluxograma como ferramenta de mapeamento de processo no controle de qualidade de uma indústria de confecção. **XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, p. 14, 2016. Disponível em: <http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_M_024.pdf>. .

BASTOS, R. M.; TURRIONI, J. B.; SANCHES, C. E. A implementação da padronização participativa sob a ótica do TQC – Estudo de caso na CSN (Companhia Siderúrgica Nacional). **XXIII Encontro Nac. de Eng.. de Produção**, p. 1–8, out. 2003. Ouro Branco, MG, Brasil.

BIASIBETTI, G. R. DOS S.; NUNES, R. M.; CAVALER, L. C. DE C.; ROCHA, A. DA S. Análise da rugosidade superficial de barras de aço SAE 1045 após torneamento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 1, 2019.

BUCHELE, G. T.; TEZA, P.; DANDOLINI, G. A. Métodos , Técnicas E Ferramentas Para Inovação: Brainstorming No Contexto Da Inovação. **VII Seminário de**

Pesquisa Interdisciplinar, p. 1–21, 2015.

CALLISTER JUNIOR, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma introdução**, 2011.

CARDOSO, O. R. Foco No Conceito Da Qualidade Total Dos Serviços No Conceito Do Produto Ampliado. , 1995.

CARLA, A. N. A.; REIS, B.; PINTO, F. Utilização Do Diagrama De Ishikawa E Brainstorming Para Solução Do Problema De. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2009.

CASTRO, D. B. DE. Análise do tamanho de grão prévio e da deformação por compressão na recristalização de um aço de baixo teor de carbono. **Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**, p. 61, 2015.

CHIAVERINI, V. **Geologia e Metalurgia: Aços Carbono e Aços ligas**. Nº 11 ed. São Paulo, 1955.

DA-COL, J. A. A brief overview of metal analysis in alloys and related matrices: Some classical methods and modern spectroscopic methods. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 4, p. 989–1009, 2014.

DANIEL, E. A.; MURBACK, F. G. R. Levantamento Bibliográfico Do Uso Das Ferramentas Da Qualidade. **Gestão & Conhecimento**, , n. 8, p. 43, 2014. Disponível em:

<http://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/artigos_v2014.html>. .

DIETER, G. E. Metalurgia Mecânica. **Metalurgia Mecânica**, p. 282–321, 1982.

DUARTE, G. D. O Controle da Qualidade em Processos de Produção Mecânica Não-Seriada. , 2010. São Paulo: Universidade de São Paulo.

FRANCESCHI, A. DE; ANTONELLO, M. G.; RS, S. M.; ROBERTO, P.; CTISM, C. **Tecnologia Mecânica II**. 2017.

FREDEL, M. C.; ORTEGA, P.; BASTOS, E. Ensaio de Tração Tipos de máquinas universais 1 . 4 Realização do ensaio de tração no LPM – Laboratório de Propriedades Mecânicas 1 . 6 Medição da redução de área. , p. 1–145, 2008.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7 ed. ed. São Paulo, 2010.

IMIANOWSKY, G. W.; WALENDOWSKY, M. A. Os Principais Aços Carbono Utilizados Na Construção Civil. , p. 1–21, 2007. Disponível em: <[http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/aços carbono construção civil.pdf](http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/aços_carbono_construção_civil.pdf)>. .

KUROKAWA, E.; BORNIA, A. Utilizando o histograma como uma ferramenta estatística de análise da produção de água tratada de Goiânia. **XXVIII Congresso Interamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental**, p. 1–8, 2002. Disponível em: <<http://estpec.pbworks.com/w/file/53332481/artigo-histograma-capacidade-proc.pdf>>. .

LOPES, J. T. DE B. Ensaio Mecânicos Dos Materiais. **Estrutura e Propriedades dos Materiais**, p. 167–276, 2014. Disponível em: <<https://jorgeteofilo.files.wordpress.com/2013/11/epm-apostila-capc3adtulo09-ensaios-mod.pdf>>. .

MACHADO, L. G. Fractografia quantitativa: análise do comportamento fractal de fratura por explosão hidrostática em cilindro de aço sem costura. **Universidade Estadual Paulista**, p. 84, 2012.

MARTINELLI, F. B. **Gestão da Qualidade total**. 2009.

MORAIS, V. S. Projeto e Construção de Charpy Utilizando a Modelagem Numérica da Plataforma Ansys no Estudo Comparativo Entre Ensaio Numéricos e Práticos a Partir de Diferentes Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos. , p. 179, 2016.

MOREIRA, H. A. Avaliação do desempenho de técnicas não destrutivas: um estudo de caso na inspeção de componentes para molas pneumáticas. **Universidade Federal do Ceará**, p. 31, 2014.

OLIVEIRA, J. G. S. M. DE. Materiais usados na construção de motores elétricos. , p. 70, 2009.

OLIVEIRA, N. DE P. PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO DE BAIXO CARBONO COM ESTRUTURA FERRITA ACICULAR. , p. 2–105, 2007.

PANNONI, F. D. Aços estruturais. , v. 22, n. 2005.

REIS, L.; SILVA, A.; CORBELLINI, R.; RABUSKE, F. O uso das ferramentas brainstorming e 5W2H no planejamento de combate a incêndio em indústrias de tabaco. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, , n. November, 2016.

SELEME, R.; SATDLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. 2ª ed. ed. Curitiba, 2012.

TAVARES, C. Influência da composição química e da espessura da peça fundida na quantidade e distribuição de ferrita delta em aços inoxidáveis austeníticos. **Teses.Usp.Br**, p. 77, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-10102008-061334/publico/DissertacaoCaioFazzioliTavares.pdf>>. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Influência+da+composição+química+e+da+espessura+da+peça+fundida+na+quantidade+>>.

TECNOL, E.; SOCIETY, A.; DIN, M.; et al. Procedimentos Normalizados no Ensaio de Tração de tração Confiabilidade dos ensaios. , p. 10–15, 2018.

VIANA JÚNIOR, R. T.; VITOR, A. R.; GORNI, A. A.; et al. Produção De Aços Das Classes De Resistência De 80 E 90 Ksi Via Tmcp No Laminador De Chapas Grossas Da Gerdau Ouro Branco. , v. 54, p. 258–266, 2017.

ZOLIN, I. Curso Técnico em Automação Industrial: Ensaio Mecânicos e Análises de Falhas. **Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria**, v. 3. ed., p. 102, 2010.

ZOLIN, I.; RS, S. M.; ROBERTO, P.; CTISM, C. Ensaio Mecânicos e Análises de Falhas. , 2011.