IGOR SERRANO SOARES

ESTUDO DA TOLERÂNCIA DIMENSIONAL E AJUSTES EM FABRICACÃO DEPEÇAS

IGOR SERRANO SOARES

ESTUDO DA TOLERÂNCIA DIMENSIONAL E AJUSTES EM FABRICACÃO DEPEÇAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Paola Silva

Belo Horizonte

2020

IGOR SERRANO SOARES

ESTUDO DA TOLERÂNCIA DIMENSIONAL E AJUSTES EM FABRICACÃO DEPEÇAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado àFaculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Belo Horizonte, 20de Novembro de 2020

SOARES, Igor Serrano. **Estudo da tolerância dimensional e ajustes em fabricação de peças.** 2020. 34. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte,2020.

RESUMO

Este trabalho aborda a utilização de especificação das tolerâncias para a fabricação de peças para reduzir o nível de imprecisão em variações e desvios de sua dimensões com o intuito de analisar como a tolerância dimensional influencia na qualidade das peças em sua fabricação apresentando a analise dos conceitos básicos de tolerâncias dimensionais junto aos tipos de ajustes entre peças e sua importância para o processo de montagem levando em consideração a qualidade de trabalho ou graus de tolerância padrão utilizada na especificação dos ajustes, através de uma pesquisa explicativa de forma qualitativa relacionadoa tolerâncias dimensionais e os ajustes que são utilizados em projeto de fabricação de peças. os resultados da pesquisa mostram que podemos realizar o toleranciamento das dimensões das peças intercambiáveis através de cálculos e da utilização das tabelas da norma NBR 6158 aumentando a qualidade das peças a serem produzidas mostrando a importância de sua utilização.

Palavras-chave: Tolerância dimensional.Sistema de Ajustes. intercambiabilidade.

SOARES, Igor Serrano. **Study of dimensional tolerance and adjustments in parts manufacturing.** 2020. 34. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte,2020.

ABSTRACT

This work addresses the use of specification of tolerances for the manufacture of parts to reduce the level of imprecision in variations and deviations from their dimensions in order to analyze how dimensional tolerance influences the quality of interchangeable parts in their manufacture by presenting the analysis of concepts dimensions of dimensional tolerances together with the types of adjustments between parts and their importance for the assembly process taking into account the quality of work or degrees of standard tolerance used in the specification of the adjustments, through qualitative explanatory research related to dimensional tolerances and the adjustments that are used in parts manufacturing design. the results of the research show that we can perform the tolerance of the dimensions of the interchangeable parts through calculations and the use of the tables of the norm NBR 6158 increasing the quality of the parts to be produced showing the importance of its use.

***Keywords*:** Dimensional tolerance. adjustments system. interchangeability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de um campo de tolerância 14
Figura 2 – formulas das componentes cp e cpk. 18
Figura 3 – A imagem representa os ajuste com folga. 20
Figura 4 – A imagem representa os ajustes com interferência..... 21
Figura 5 – A imagem representa os ajuste com folga. 22
Figura 6 – Ajustes no sistema de furo-base**.** 24
Figura 7 – Ajustes no sistema de eixo-base. 24
Figura 8 – Tabela da qualidade do trabalho. 26
Figura 9 – Representação dos afastamento fundamentais para eixos e furos. 28
Figura 10 – Tabela afastamento fundamental para furos**.**. 29
Figura 11 – Tabela de afastamentos fundamentais para eixos 30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **13**
2. CONCEITOS DE TOLERÂNCIA DIMENSIONAL ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
2.1. INTERCAMBIABILIDADE **15**
2.2. MONTAGEM SELETIVA **16**
2.3. ANÁLISE DE TOLERÂNCIA **17**
2.3.1. Análise de pior caso **17**
2.3.2. Análise estatística **17**
2.3.3. Análise da soma da raiz quadrada **18**
2.4. SÍNTESE DE TOLERÂNCIA **19**
3. IMPORTÂNCIAS DOS AJUSTES PARA O PROCESSO DE MONTAGEM ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.1. CONCEITO DE AJUSTES ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.1.2. Parâmetros de ajuste ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.2. SISTEMA DE AJUSTES ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.3. MÉTODO DE ESCOLHA DO AJUSTE ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4. QUALIDADE DE TRABALHO ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.1. CAMPO DE TOLERÂNCIA ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.1.2. Afastamento fundamental para furos ..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.1.3. Afastamento fundamental para eixos **30**
4.3. INTERPRETACÃO DE TOLERÂNCIA **31**
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS **33**
REFERÊNCIAS **33**

1. INTRODUÇÃO

Nas fabricações de peças é impossível conseguir dimensões exatamente iguais as especificadas no desenho técnico da peça e por este motivo é preciso da utilização de especificação das tolerâncias para a fabricação de peças reduzindo o nível de imprecisão em variações e desvios de suas dimensões.

Quando as peças são fabricadas é muito importante que suas tolerâncias dimensionais sejam estabelecidas para que posam ser mantidas dentro de uma faixa de imperfeição sem que comprometa a funcionalidade da peça facilitando a sua intercambiabilidade sem que haja necessidade de interferência durante o processo de sua fabricação.

Portanto nas construções mecânicas são fabricadas várias peças que irão encaixar-se umas ás outras e para que isso ocorra elas precisam de medidas adequadas. Qual é a importância das tolerâncias dimensionais para a fabricação desses produtos?

Então o objetivo geral desta pesquisa será analisar como a tolerância dimensional influencia na qualidade das peças em sua fabricação. Para isso, foram delineados os seguintes objetivos específicos: apresentar os conceitos básicos de tolerâncias dimensionais,Explanar os tipos de ajustes e sua importância para o processo de montagem, Analisar a escolha de qualidade de trabalho.

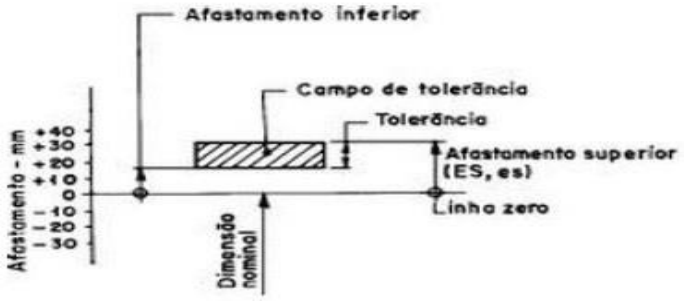
O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma revisão de literatura, no qual foi realizada uma consulta a livros dissertações e por artigos científicos selecionados através de buscas em livros e sites. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 12 anos em que as palavras-chave utilizadas na busca foram: Tolerância dimensional,Sistema de Ajustes, intercambiabilidade.

2. CONCEITOS DE TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

A tolerância dimensional é a diferença da dimensão máxima e dimensão mínima admitida em um projeto, na fabricação de uma peça. Esta variação ocorre devido ao resultado dos processos que foram utilizados para a fabricação da peça (UMARAS,2010).

Somado a isso em um processo de fabricação da peça é preciso avaliar as grandezas dimensionais para obter peças com dimensionamentos que estarão dentro das especificações do projeto. Essas peças para finalidade de tolerância e ajustes serão classificadas como eixos e furos. As partes observadas são chamadas de elementos (NOVASKI,2017). É possível visualizar como é feito o dimensionamento das peças na figura 1 a seguir.

Figura 1 - Representação de um campo de tolerância



Fonte: Mascarenhas(2016).

De acordo com Novaski (2017) Em um projeto é apresentado as seguintes termologias relacionados as dimensões:

- Eixo:Termo utilizado para descrever uma característica externa em uma peça, incluindo elementos não cilíndricos.
- Furo: Termo utilizado para descrever as características internas em um peça, incluindo elementos não cilíndricos.
- Dimensão efetiva: dimensão da peça através da medição, após sua fabricação.
- Dimensão máxima: É o valor de tolerância máxima das dimensões da peça.
- Dimensão mínima: É o valor de tolerância mínima das dimensões peça.
- Afastamento: É a diferença entre as tolerâncias máximas e mínimas.

- Afastamento inferior: É a diferença entre a dimensão mínima e a dimensão nominal. Utilizado em furos e eixos.
- Afastamento superior: É a diferença entre a dimensão máxima e a dimensão nominal. Utilizada em furos e eixos.
- campo de tolerância: valores atingidos entre a dimensão maxi e a dimensão mínima, determinados pela tolerância dimensional e sua posição em relação a linha zero.

No dimensionamento de peça a dimensão nominal serve como origem em relação ao afastamento que pode ser positivo caso o afastamento seja para cima ou negativo caso o afastamento seja para baixo e o limite destas variações são denominadas como tolerâncias dimensionais.

2.1INTERCAMBIABILIDADE

Para Novaski (2017) intercambiabilidade e a possibilidade de substituir uma peça por outra quando for montar ou concertar certo conjunto sem necessidade de tratamentos ou ajustes. No entanto, é preciso escolher processos que garantam a fabricação das peças com dimensionamentos iguais.

Apesar disso, mesmo as peças passando pelos mesmos procedimentos em sua fabricação, as dimensões reais das peças possuem pouca probabilidade de terem o mesmo tamanho, havendo variação em certos limites (NOVASKI,2017).

Alem disso, a junção de duas peças só pode ser feita de maneira assegurada quando os limites da tolerância dimensional tenham sido estabelecidos em sua fabricação. Sendo assim as peças intercambiáveis são aquelas produzidas com um gral de precisão estabelecido em suas dimensões limites (NOVASKI,2017).

De acordo com Umaras (2010,) o grau de intercambiabilidade pode variar caso a caso num espectro de zero a 100% e na pratica de manufatura pode ser identificados três casos.

Na intercambibilidade total o grau de intercambiabilidade e de 100% pois os limites da especificação de tolerância do projeto devem ser maiores ou iguais aos limites da capacidade do processo; caso contrário, operações adicionais seriam necessárias para a obtenção de ajustes e o principio de intercambiabilidade seria violado (UMARAS,2010).

Na intercambiabilidade limitada o grau de intercambiabilidade e maior do que zero, mas e menor que 100% e os limites da especificação de tolerância no projeto podem ser menores que os limites da capacidade do processo (UMARAS,2010).

A usinagem para montar é o meio mais primitivo utilizado para manter a condição de montagem, em que todos os componentes são usinados, a não ser um, próximo as dimensões nominais e a dimensão do ultimo elemento, para uma montagem correta usinada sob medida. A precisão da usinagem depende do grau de intercambiabilidade do método para processos de produção, mas é utilizada apenas em trabalho de reparação ou fabricação de um único conjunto (UMARAS,2010)

2.2MONTAGEM SELETIVA

Quando as folgas são mínimas e as tolerâncias são especificadas adequadamente, essas peças são intercambiáveis. Entretanto em ajustes muitos estreitos, é preciso especificar folgas mínimas e tolerância muito pequena e para isso os custos são muito altos. Uma forma de evitar esses gastos, pode ser empregando as montagens seletivas (GIESECKE,2008).

Na montagem seletiva todas as peças são classificadas em grupos de acordo com o seu tamanho de modo que elas se juntam e se encaixem corretamente,não e preciso fazer verificações funcional das peças produzidas já que esta já foram medidas e inspecionadas para permitirem a montagem desejada. Através da seleção de peças a precisão de montagem deste método é maior e mais estável do que a realizada através da usinagem individualmente (UMARAS,2010).

Desta forma os ajustes aceitáveis são obtidos com menores gastos em relação a fabricação de forma ajustável com uma alta precisão dimensional. Geralmente a montagem seletiva é melhor do que a montagem intercambiável em ajustes incertos por serem permitidas tanto folgas quanto interferências (GIESECK,2008).

2.3 ANÁLISE DE TOLERÂNCIA

A análise de tolerância é uma serie de processos utilizados na determinação da variação total e as variações que ocorrem através das imperfeições das peças manufaturadas.

em uma parte do processo da análise de tolerância serão determinadas as fontes de variação, assim como as pilhas de tolerância,ou seja, variação de tolerância combinada de todas as peças em determinada montagem. Ao fazer o analise de tolerância o fabricante poderá atender com mais clareza o que esta gerando a variação dimensional em seu projeto, descartando tudo o que poderia se tornar um possível problema, diminuindo as taxas de refugo, problemas de ajuste na montagem e atender as expectativas do cliente nas dimensões de qualidade.

2.3.1 Análise de pior caso

A análise de pior caso é a somatória das variações dos componentes, sendo que cada um deles devera estar na tolerância máxima permitida. Assim a somatória dos valores é feita de forma aritmética, onde pode existe um problema neste tipo de calculo, pois raramente todas as dimensões estarão na máxima tolerância ao mesmo tempo, por isso o resultado deste calculo pode apresentar grandes variações e geralmente não são tão viáveis no projeto de um produto (HAUSCH,2009).

entretanto existem casos em que o projeto possui um objetivo de tolerâncias muito apertadas, com grandes chances de seus limites serem ultrapassados em seus resultados. Para cálculos de segurança onde não podem existir uma possível variação acima de seus limites de tolerância, é recomendado o uso das analises aritméticas, onde esta possibilita a identificação e arredondamento das tolerâncias facilitando a identificação da cadeia de tolerância em um posterior cálculo estatístico (HAUSCH,2009).

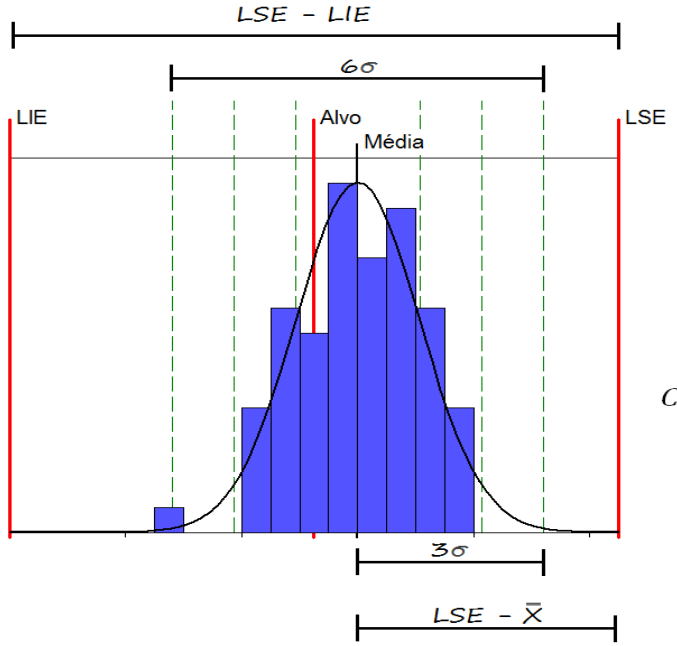
2.3.2 Análise estatística

Em uma situação em que existiria dificuldade de chegar ao valor de tolerância adequando do projeto, é normal diminuir as tolerâncias dos subsistemas para chegar

ao valor final adequado. Esta utilização possui técnicas difíceis sendo muito caras com possibilidade de desperdício durante a produção (HAUSCH,2009).

as analises estatísticas podem ser feitas através de integração numérica ouavaliações através do método de Monte Carlos. definir o calculo numérico de variações estatísticas dos componentes CP e CPK e muito importante por que cada um possui um comportamento estatístico diferente (HAUSCH,2009). formula dos componentes mostrado na figura 2 a seguir:

Figura 2: formulas das componentes cp e cpk.



$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{\min(\bar{\bar{X}} - LIE, LSE - \bar{\bar{X}})}{3\sigma}$$

Fonte:Müller(2017).

A definição dos valores dos comportamentos estatísticos na fase de projeto é complexa, por que cada componente pode possuir características físicas como espessura, geometria e processos de fabricação diferenciados. Oscomponentes serão avaliados estatisticamente com o uso de softwares ou ferramentas matemáticas (HAUSCH,2009).

2.3.3 Análise da soma da raiz quadrada

A análise da soma da raiz quadrada, ou, RSS aproveita os princípios do método de análise estatística, com algumas hipóteses simplificadas para fazer o calculo de tolerância ao invés do calculo do desvio padrão. Uma das principais

hipóteses que os coeficientes de cada tolerância para seu desvio padrão relacionada nas cotas e o resultado da pilha são os mesmos (AUTODESK,2019).

A analise da soma de raiz quadrada assume que a contribuição nominal descreve a variação das dimensões. A variações, não o desvio padrão, são aditivas e fornecem uma estimativa da variação das peças combinadas. O resultado da soma das medidas e da soma da raiz quadrada dos desvios padrões fornece uma estimativa da distribuição normal da pilha de tolerância.

2.4 SÍNTESE DE TOLERÂNCIA

De acordo comChase (2007 apud CAMARGO;LIMA,2014) a síntese de tolerância é um procedimento ao contrario ao da análise de tolerância, sendo constituída no inicio do ciclo de vida do produto, antes da produção de qualquer peça, ate mesmo antes da ordem de construção do ferramental. A síntese de tolerância possui 3 estágios:

- decidir o limite de tolerância das folgas máxima e mínima e o ajuste para obter uma montagem em requisitos de desempenho.
- criar um modelo de montagem para detectar quais cotas contribuem para as dimensões da montagem final.
- decidir o quanto a tolerância da montagem será aumentada para cada componente montado

Resumindo consiste em determinar as tolerâncias individuais de cada peça, visto que a soma de suas tolerâncias vão ao encontro das especificações de montagem, tendo em vista que a magnitude da tolerância dos componentes para este requisito é desconhecida.

3. IMPORTANCIA DOS AJUSTES PARA O PROCESSO DE MONTAGEM

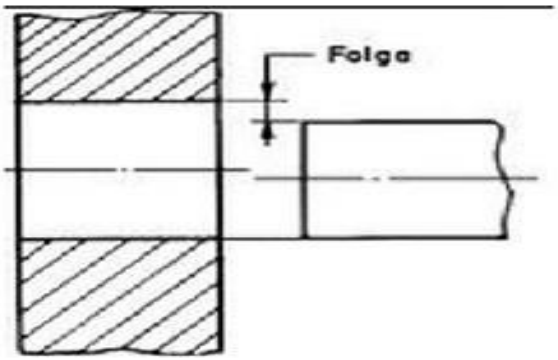
3.1 CONCEITOS DE AJUSTES.

Ajuste é o comportamento entre eixos e furos que serão acoplados e os dois com a mesma dimensão nominal, ou seja, é a relação que resulta da diferença, antes do processo de montagem, entre as duas dimensões das duas peças que serão montadas onde o ajuste será determinado pela folga ou interferência apresentada no acoplamento entre os elementos (NOVASKI,2017).

tipos de ajustes:

- Ajuste com folga: Ajuste utilizado em montagens que não exige pressão entre o eixo e o furo. Isso acontecerá quando a dimensão mínima do furo for maior ou, em caso extremo, igual à dimensão máxima do eixo. Essa análise também pode ser feita em relação aos afastamentos. O ajuste será com folga quando o afastamento superior do eixo for menor ou igual ao afastamento inferior do furo (SILVA NETO,2012). A Figura 3 mostra o esquema representativo de um ajuste com folga.

Figura 3 - A imagem representa os ajuste com folga.



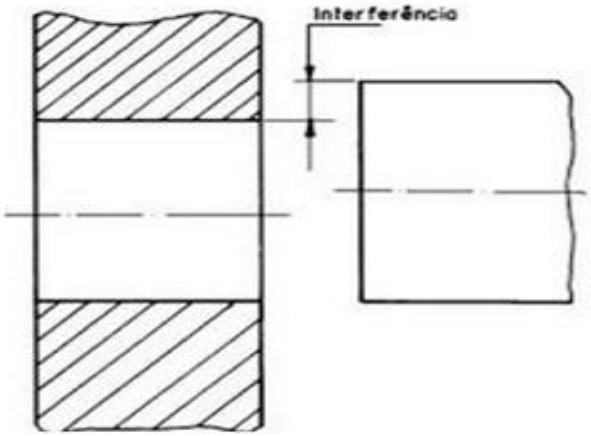
Fonte: Mascarenhas(2016)

O ajuste com folga pode ser aplicado em montagem de um eixo sobre um mancal de deslizamento. Nesse caso, o eixo precisará girar livremente sobre o mancal, sem pressões consideráveis para minimizar o desgaste e o aquecimento do conjunto (SILVA NETO,2012).

- Ajuste com interferência: ajuste utilizado em montagem onde tem exigência de pressão entre o eixo e o furo. Isso acontecerá quando a dimensão máxima

do furo for menor ou, em caso extremo, igual à dimensão mínima do eixo. Essa análise também pode ser feita em relação aos afastamentos. O ajuste será com interferência quando o afastamento superior do furo for menor ou igual ao afastamento inferior do eixo (SILVA NETO,2012). A Figura 4 mostra o esquema representativo de um ajuste com interferência

Figura 4 - A imagem representa os ajustes com interferência.

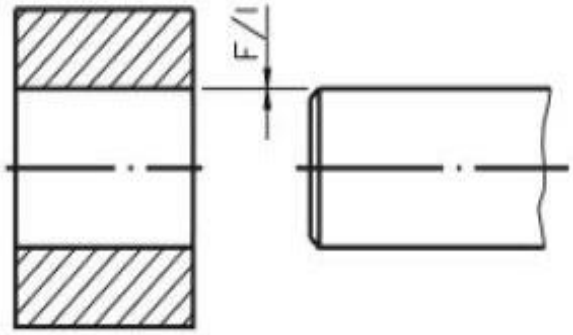


Fonte: Mascarenhas(2016).

O ajuste com interferência pode ser aplicado em montagem de um rolamento em um eixo. Nesse caso, é preciso definir qual é a pressão entre o rolamento e o eixo para que não ocorra deslizamento entre o conjunto. No ajuste com interferência, com relação da pressão exigida, a montagem do conjunto pode ser feita com a ajuda de equipamento próprio de montagem. Nesse caso, poderá haver pancadas de forma apropriadas no rolamento com material macio, com aquecimento do rolamento ou resfriamento do eixo ou com utilização de uma prensa hidráulica (SILVA NETO,2012).

- Ajuste incerto: Também pode ser chamado de ajuste indeterminado, e neste ajusteo afastamento superior do eixo é maior que o afastamento inferior do furo e o afastamento superior do furo é maior que o afastamento inferior do eixo. Nesse tipo de ajuste pode haver uma folga ou uma interferência entre o furo e o eixo quando montados, dependendo das dimensões efetivas do furo e do eixo, isto é, os campos de tolerância do furo e do eixo se sobrepõem parcialmente ou totalmente (SILVA NETO,2012). A Figura 5 mostra o esquema representativo de um ajuste incerto.

Figura 5 - A imagem representa os ajustes incertos.



Fonte: Mascarenhas(2016)

Os ajustes incertos ou indeterminados serão aplicados se for necessária grande precisão de giro entre o eixo e o furo sem que se possa arriscar qualquer excentricidade devido à folga resultante, ou ainda quando existe variação de esforço ou temperatura durante o funcionamento do sistema em execução. O momento torsor deve ser transferido por meio de elementos mecânicos auxiliares, como chavetas, pinos, estrias e buchas, entre outros. Esses componentes devem ser montados com uma pressão fraca e desmontados de maneira que não provoquem danos na superfície de contato. Além disso, podem ser utilizados em aplicações com grande precisão de giro, com cargas pequenas e direção indeterminada de carga (SILVA NETO,2012).

3.1.2 Parâmetros de ajustes.

ParaJimenéz (2013) um funcionamento correto de um conjunto mecânico , é preciso determinar os parâmetros de ajustes necessários, de acordo com a finalidade é pretendido e os requisitos de qualidade exigidos. Para isso existem diferentes parâmetros que podem ser controlados, entre os quais estão:

- Paralelismo: Ás vezes na montagem de algumas peças é necessário estabelecer uma grande precisão no paralelismo de certas superfícies.
- perpendicularidade: Assim como acontece com o paralelismo em algumas situações, é necessário um controle na perpendicularidade de algumas superfícies, de modo que no projeto de fabricação, uma tolerância seja inserida neste parâmetro.
- Redondeza: Certas peças cilíndricas requerem precisão na circularidade, portanto, ao introduzir este parâmetro de qualidade os elementos que

mostram um desvio excessivo na circunferência não serão permitidos em uma forma oval.

- Afunilar: Ás vezes, este é o parâmetro critico na configuração mecânica, por isso não e surpreendente encontrá-lo definido nos planos de fabricação de certos elementos.
- Planicidade:Determina a tolerância no desvio do plano teórico em que todos os pontos deveriam ser incluídos da mesma superfície em que tem uma superfície que foi mecanizada anteriormente.
- Concentricidade: Este parâmetro é usado para determinar a variação máxima permitida no centro comum de rotação que depende dos diferentes diâmetros de uma peça.

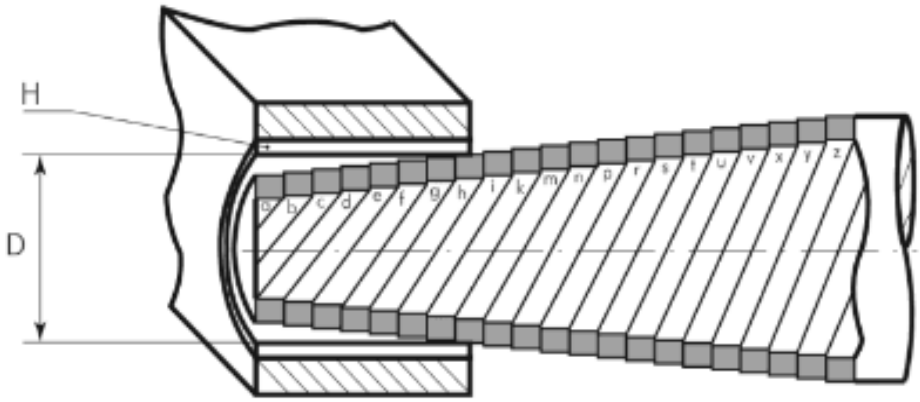
3.2 SISTEMA DE AJUSTES.

Nos processos de fabricação, na montagem, na manutenção de qualquer elemento mecânico ou maquina, será preciso um método para garantir que os elementos funcionem adequadamente. Para que isso possa ocorrer será necessário prever sistemas e ajustes padronizados entre eixos e furos (CIRILO,2012).

Um sistema de encaixe é um conjunto de acessórios entre orifícios e eixos pertencentes a um sistema de tolerâncias.Tendo previamente definido 28 posições de tolerância para furos e como muitos por eixos entende-se que o sistema que seria obtido combinando cada uma das posições do eixo com todas as do furo, ou para inversamente, isso levaria a um grande número de combinações. Com a idéia Para reduzir o número de combinações possíveis e simplificar, a ISO define dois sistemas de ajuste: o sistema de ajuste de furo -base e sistema de eixo-base(DOMÍNGUEZ,2012).

- Sistema de furo-base: sistema de ajuste no qual, em todas as classes de ajustes as medidas mínimas dos furos serão iguais a medida nominal. Os eixos são maiores ou menores que os furos, em que para o ajuste desejado, há necessidade de interferência ou folga, respectivamente, onde o sistema de furo-base é o sistema geralmente utilizado para todos os acoplamentos entre eixos, polias e engrenagens, por ser mais fácil, fabricar peças com variações dimensionais. É possível observar a representação do sistema de ajustes furo-base na imagem 6 a seguir.

Figura 6 - Ajustes no sistema de furo-base.

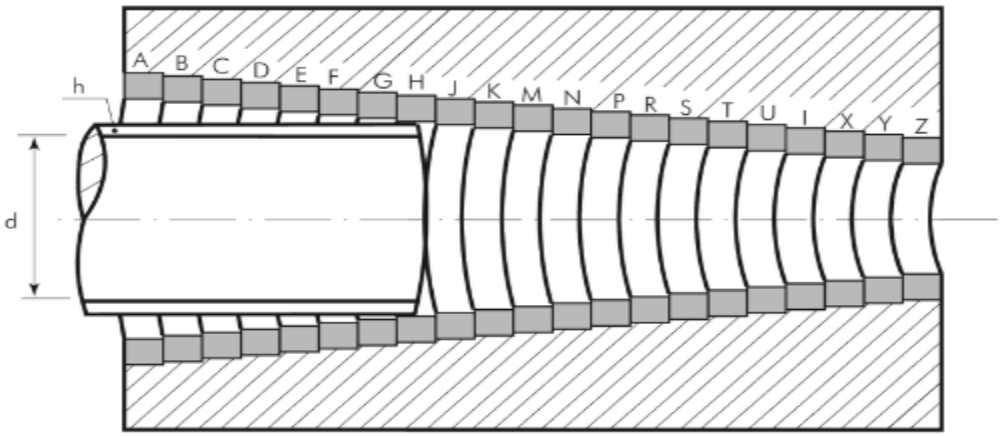


Fonte: Novaski(2017).

Observando a imagem para a posições do eixo a,b,c,cd,d,e,ef,f,g, o resultado em relação a posição H será ajuste com folga. Nas posições do eixo h,j,js,k,m,n, o resultado para a posição H será ajuste indeterminado. Nas posições do eixo p,r,s,t,uv,x,y,z,za,zb,zc o resultado para a posição H será ajuste com interferência.

- Sistema eixo-base: sistema de ajustes no qual em todas as classes de ajustes as medidas máximas dos eixos são iguais a medida nominal. Os furos serão maiores ou menores que os eixos em que para o ajuste desejado há necessidade de interferência ou folga, respectivamente, onde o sistema de eixo base pode ser utilizado, por exemplo, no ajuste da capa externa de rolamentos com carcaças e também nos ajustes entre uma bucha pré-usinada comum furo de polia. Podemos observar a representação do sistema de ajustes eixo-base na imagem 7 a seguir.

Figura 7 - Ajustes no sistema de eixo-base



Fonte: Novaski(2017).

Observando a imagem para a para a posição do furo A,B,C,D,E,EF,F,Go resultado para a posição h será ajuste com folga. Nas posição do furo H,J,JS,K,M,N o resultado para a posição de h será ajuste indeterminado. Nas posições P,R,S,T,U,V,X,Y,Z,ZA,ZB,ZC o resultado para a posição h será ajuste com interferência.

3.3MÉTODO DE ESCOLHA DO AJUSTE

Escolher um tipo de ajuste não é uma tarefa fácil, porque depende principalmente da finalidade da máquina ou equipamento. Uma peça, um conjunto, um componente, um equipamento ou uma máquina só funcionara adequadamente se forem fabricados e montados obedecendo a tolerâncias e ajustes normalizados. Além do mais, devem ser escolhidas tolerância baseadas em normas para não criarem situações que não possam ser avaliadas por critério técnico (CIRILO,2012).

O principal ponto para a escolha de uma tolerância ou ajuste é a experiência do projetista, que necessita saber as exigências técnicas do projeto. Além disso, ele precisa conhecer os processos de fabricação da peça ou máquina, bem como o nível de exatidão da máquina operatriz que fabricará a peça, não pode exigir tolerâncias apertadas de máquinas operatrizes obsoletas, com folgas muito alta nos componentes ou sujeitas a vibrações nos eixos. Uma tolerância muito apertada perde o sentido se a superfície é muito irregular (SILVA NETO,2012).

No caso de pecas que se movimentam, há necessidade de verificar a atuação da velocidade no tipo de tolerância ou ajuste. Quando encaixados um ao outro, dois componentes em movimento podem sofrer elevação da temperatura durante o funcionamento, que pode causar dilatação das peças e alterar o tamanho das folgas (SILVA NETO,2012).

Uma atenção especial deve ser analisada em encaixes com interferência muito forte, porque a pressão de montagem pode causar deformação do eixo ou do furo, como nos ajustes, que podem ser aplicados em pinhões em eixos de motores, ou, que correspondem à prensagem a quente. A falta de controle dessas montagens pode causar trincas, quepodem causar a ruptura desses componentes (SILVA NETO,2012).

4. QUALIDADE DE TRABALHO

O grau de tolerância ou qualidade de trabalho que é usado no Brasil é o IT, no qual a letra I vem de “ISO” e a letra T vem de “tolerância”. O grupo de tolerância é considerado correspondente ao mesmo nível de precisão para todas as dimensões nominais. Portanto, os graus de tolerância padrão são denominados pelas letras IT e por um número como por exemplo, IT6 (SILVA NETO,2012).

O sistema ISO consiste num grupo de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional de tolerâncias e ajustes tornando à produção de peças mecânicas intercambiáveis mais econômica. Este sistema foi estudado, inicialmente, para a produção de peças mecânicas com diâmetro de até 500 mm, e depois, foi ampliado para peças com até 3150 mm de diâmetro. Este sistema estabelece uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a precisão da peça, ou seja, a qualidade de trabalho, uma exigência com variação de peça para peça, de uma máquina para outra (NORÕES,OLIVEIRA,SILVA,2009). Podemos definir a qualidade de trabalhos utilizando a imagem 8 da tabela a seguir.

Figura 8: Tabela da qualidade do trabalho

Grupos de Dimensões	TABELA DOS VALORES NUMÉRICOS DE GRAUS DE TOLERÂNCIA-PADRÃO IT (tolerâncias em µm)																	
mm	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
≤ 3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
> 3 ≤ 6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
> 6 ≤ 10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
> 10 ≤ 18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
> 18 ≤ 30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3330
> 30 ≤ 50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
> 50 ≤ 80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
> 80 ≤ 120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
> 120 ≤ 180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
> 180 ≤ 250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
> 250 ≤ 315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
> 315 ≤ 400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
> 400 ≤ 500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
> 500 ≤ 630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
> 630 ≤ 800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
> 800 ≤ 1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000	14000
> 1000 ≤ 1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
> 1250 ≤ 1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
> 1600 ≤ 2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
> 2000 ≤ 2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
> 2500 ≤ 3150	26	36	50	38	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000

Fonte: Andrade(2020)

O sistema ISO possui20 graus de tolerância diferentes: de IT 01 ao IT 18, que pode ser agrupado da seguinte forma:

As qualidades IT01 a IT3 para eixos e deIT01 a IT4 para furos. São particularmente definidas para peças de altíssima precisão e calibradores de tolerância (GOTJTAN,2009).

As qualidades IT4 a IT11 para eixos e as de IT5 a IT11 para furos. São particularmente definidas para peças destinadas a serem associadas umas as outras (GOTJTAN,2009).

As qualidades superiores a IT11, tanto para eixos como para furos. São utilizadas em dimensões isoladas, carecendo de sentido, qualquer afirmativa relativa a intercambiabilidade (GOTJTAN,2009).

Observamos pela tabela que quanto menor o número da tolerância-padrão IT, maior será a precisão necessária na fabricação do produto, em consequência, teremos um processo de fabricação mais difícil. Quando a tolerância é muito pequena, em alguns casos, faz-se necessário a utilização de um processo de fabricação que certifique ao produto final uma qualidade superficial. Uma peça com IT 01, por exemplo, não basta apenas usinar a peça, teremos que fazer um processo de retífica para deixar a peça com o acabamento superficial adequado (MIRANDA,2019).

4.1CAMPO DE TOLERÂNCIA.

As tolerâncias padrão indicam o valor total da tolerância para um certo grupo de dimensões, em relação a um determinado grau de tolerância-padrão, contudo, a posição dos campos de tolerância em relação a linha zero ainda é desconhecida. Essa posição do campo de tolerância é determinada pelo afastamento fundamental (NOVASKI,2017).

O afastamento fundamental e aquele que determina a posição do campo de tolerância no que se refere a linha zero, sendo capas de ser superior ou inferior, mas geralmente é aquele mais próximo da linha zero (NOVASKI,2017).

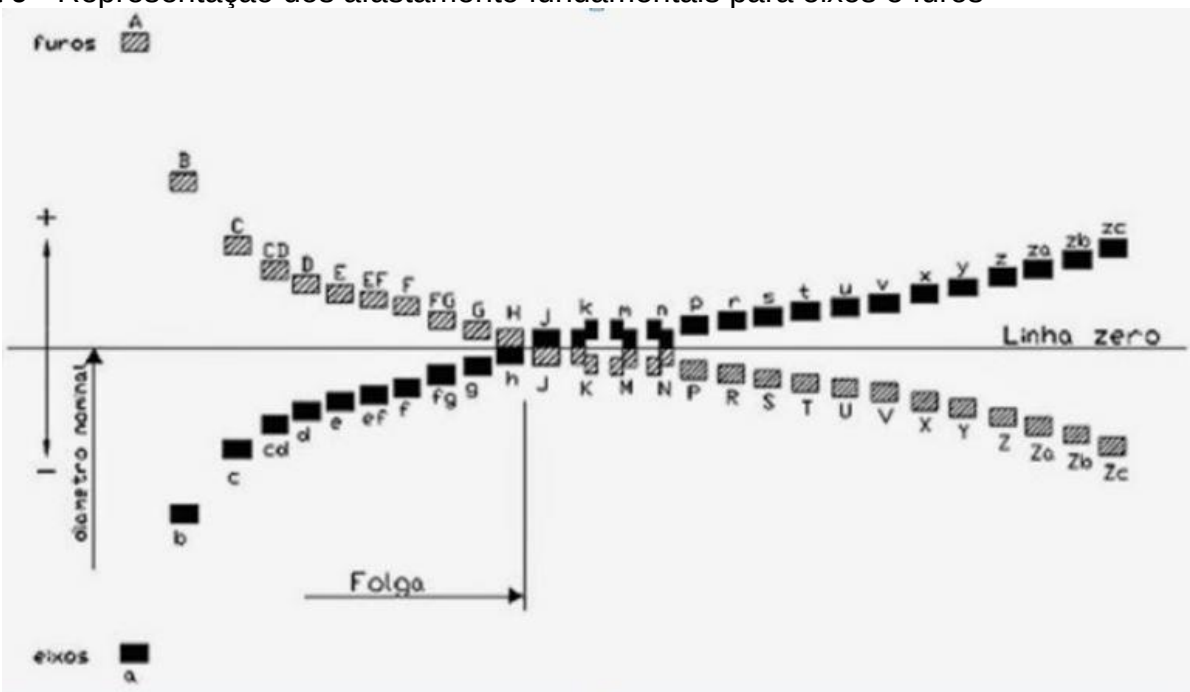
A posição do campo de tolerância pode ser representada em letras maiúsculas para furos e letras minúsculas para eixo.

Furos:A-B-C-CD-D-E-EF-F-FG-G-H-J-JS-K-M-N-P-R-S-T-U-V-X-Y-Z-ZA-ZB-ZC.

Eixos:a-b-c-cd-e-ef-f-fg-g-h-j-js-k-m-n-p-r-s-t-u-v-x-y-z-za-zb-zc.

Os padrões ISO estabelecem 28 posições de tolerância para cada um dos dois tipos de peças: furos e eixos.Como podemos observar na imagem 9 a seguir.

Figura 9 - Representação dos afastamento fundamentais para eixos e furos



Fonte: Mascarenhas (2016).

4.1.2 afastamento fundamental para furos.

O afastamento fundamental para os furos é simétrico em relação a linha zero e corresponde ao afastamento fundamental o eixo com a mesma letra. Essa regra aplicada em quase todos os afastamentos fundamentais menos para os afastamentos N, onde o afastamento fundamental em relação aos graus de tolerância é padrão IT9 a IT16 é zero o que indica afastamento superior nulo(NOVASKI,2017).

Assim sendo, para os furos com afastamento nominais de A ate H, o valor do afastamento inferior do furo possui o mesmo valor definitivo do afastamento superior

do eixo, para a qualidade de trabalho e afastamentos fundamentais com mesma letra, esta afirmação também é valida para o afastamento superior do furo, com afastamentos nominais M até ZC possuem a regra geral (NOVASKI,2017).Na imagem 10 mostra a tabela de afastamentos fundamentais para furos.

Figura 10 - Tabela afastamento fundamental para furos.

Afastamentos fundamentais para furos

GRUPOS		AFASTAMENTO INFERIOR - EI												AFASTAMENTO SUPERIOR - ES																								Valores de delta - Δ					
DIMENSÕES		Todos os graus de Tolerancia Padrão - ITn															≤	>	≤	>	≤	>	≤IT7	> IT7																			
Acima	Ate	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J6	J7	J8	K8	k8	M8	M8	N8	N8	P a Zc	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
0	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	ES = + ½ ITn / EI = - ½ ITn	2	4	8	0	0	-2	-2	-4	-4	Valores para grau de tolerancia padrão acima de IT7 acrescido de delta	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		5	6	10	-1+Δ		-4+Δ	-4	-8+Δ	0		-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		5	8	12	-1+Δ		-6+Δ	-6	-10+Δ	0		-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7
10	14	290	150	95		50	32		16		6	0		6	10	15	-1+Δ		-7+Δ	-7	-12+Δ	0		-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
14	18	290	150	95		50	32		16		6	0		6	10	15	-1+Δ		-7+Δ	-7	-12+Δ	0		-18	-23	-28		-33	-39	-45		-60	-77	-108	-150	1	2	3	3	7	9
18	24	300	160	110		65	40		20		7	0		8	12	20	-2+Δ		-8+Δ	-8	-15+Δ	0		-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12
24	30	300	160	110		65	40		20		7	0		8	12	20	-2+Δ		-8+Δ	-8	-15+Δ	0		-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-128	1,5	2	3	4	8	12
30	40	310	170	120		80	50		25		9	0		10	14	24	-2+Δ		-9+Δ	-9	-17+Δ	0		-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14
40	50	320	180	130		80	50		25		9	0		10	14	24	-2+Δ		-9+Δ	-9	-17+Δ	0		-26	-34	-43	-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325	1,5	3	4	5	9	14
50	65	340	190	140		100	60		30		10	0		13	18	28	-2+Δ		-11+Δ	-11	-20+Δ	0		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
65	80	360	200	150		100	60		30		10	0		13	18	28	-2+Δ		-11+Δ	-11	-20+Δ	0		-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16
80	100	380	220	170		120	72		36		12	0		16	22	34	-3+Δ		-13+Δ	-13	-23+Δ	0		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
100	120	410	240	180		120	72		36		12	0		16	22	34	-3+Δ		-13+Δ	-13	-23+Δ	0		-37	-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690	2	4	5	7	13	19
120	140	460	260	200		145	85		43		14	0		18	26	41	-3+Δ		-15+Δ	-15	-27+Δ	0		-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23
140	160	520	280	210		145	85		43		14	0		18	26	41	-3+Δ		-15+Δ	-15	-27+Δ	0		-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23
160	180	580	310	230		145	85		43		14	0		18	26	41	-3+Δ		-15+Δ	-15	-27+Δ	0		-43	-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000	3	4	6	7	15	23
180	200	660	340	240		170	100		50		15	0		22	30	47	-4+Δ		-17+Δ	-17	-31+Δ	0		-50	-77	-122	-160	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26
200	225	740	380	260		170	100		50		15	0		22	30	47	-4+Δ		-17+Δ	-17	-31+Δ	0		-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26
225	250	820	420	280		170	100		50		15	0		22	30	47	-4+Δ		-17+Δ	-17	-31+Δ	0		-50	-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350	3	4	6	9	17	26
250	280	920	480	300		190	110		56		17	0		25	36	55	-4+Δ		-20+Δ	-20	-34+Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29
280	315	1060	540	330		190	110		56		17	0		25	36	55	-4+Δ		-20+Δ	-20	-34+Δ	0		-56	-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	4	7	9	20	29
315	355	1200	600	360		210	125		62		18	0		29	39	60	-4+Δ		-21+Δ	-21	-37+Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32
355	400	1350	680	400		210	125		62		18	0		29	39	60	-4+Δ		-21+Δ	-21	-37+Δ	0		-62	-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32
400	450	1500	760	440		230	135		68		20	0		33	43	66	-5+Δ		-23+Δ	-23	-40+Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-490	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34
450	500	1650	840	480		230	135		68		20	0		33	43	66	-5+Δ		-23+Δ	-23	-40+Δ	0		-68	-132	-252	-360	-540	-540	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34
500	560					260	145		76		22	0					0		-26	-26	-44	-44		-78	-150	-280	-400	-600								5	6	10	12	26	40
560	630					260	145		76		22	0					0		-26	-26	-44	-44		-78	-155	-310	-450	-660								5	6	10	12	26	40
630	710					290	160		80		24	0					0		-30	-30	-50	-50		-88	-175	-340	-500	-740								5	7	11	14	30	45
710	800					290	160		80		24	0					0		-30	-30	-50	-50		-88	-185	-380	-560	-840								5	7	11	14	30	45
800	900					320	170		86		26	0					0		-34	-34	-56	-56		-100	-210	-430	-620	-940								6	7	12	16	34	50
900	1000					320	170		86		26	0					0		-34	-34	-56	-56		-100	-220	-470	-680	-1050								6	7	12	16	34	50
1000	1120					360	195		98		28	0					0		-40	-40	-66	-66		-120	-250	-520	-780	-1150								6	9	14	19	39	60
1120	1250					360	195		98		28	0					0		-40	-40	-66	-66		-120	-260	-580	-840	-1300								6	9	14	19	39	60
1250	1400					390	220		110		30	0					0		-48	-48	-78	-78		-140	-300	-640	-960	-1450								8	10	16	23	47	70
1400	1600					390	220		110		30	0					0		-48	-48	-78	-78		-140	-330	-720	-1050	-1600								8	10	16	23	47	70
1600	1800					430	240		120		32	0					0		-58	-58	-92	-92		-170	-370	-820	-1200	-1850								10	11	19	27	58	80
1800	2000					430	240		120		32	0					0		-58	-58	-92	-92		-170	-400	-920	-1350	-2000								10	11	19	27	58	80
2000	2240					430	260		130		34	0					0		-68	-68	-110	-110		-195	-440	-1000	-1500	-2300								11	14	23	32	65	105
2240	2500					430	260		130		34	0					0		-68	-68	-110	-110		-195	-460	-1100	-1650	-2500								11	14	23	32	65	105
2500	2800					520	290		145		38	0					0		-76	-76	-135	-135		-240	-550	-1250	-1900	-2900								14	18	28	39	75	120
2800	3150					520	290		145		38	0					0		-76	-76	-135	-135		-240	-580	-1400	-2100	-3200								14	18	28	39	75	120

Fonte: Andrade(2020).

4.1.3 Afastamento fundamental para eixos.

As posições a,b,c,cd,d,e,ef,f,fg e g são definidas pela diferença inferior que é negativa e As posições m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb e zc são determinadas por meio da diferença inferior que é positiva..A posição h tem uma diferença maior igual a 0 e uma diferença menor negativa, cujo valor absoluto é igual à largura da zona de tolerância Na posição j, ele está acima e abaixo da linha de referênciaA posição js determina que a zona de tolerância está centrada em relação à linha de referência(DOMíNGUEZ,2012). Na imagem 11 mostra a tabela de afastamentos fundamentais para eixos.

Figura 11 - Tabela de afastamentos fundamentais para eixos.

Afastamentos fundamentais para eixos

GRUPOS		Afastamento superior - es												Afastamento Inferior - ei																
DIMENSÕES		Todos os graus de Tolerância Padrão - ITn												j5	j7	j8	≥k4	≤k3	Todos os graus de Tolerância Padrão - ITn											
Acima	Ate	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j6			≤k7	≥k8	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
0	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	es = + ½ ITn / ei = - ½ ITn	-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14	0	18		20		26	32	40	60
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		1	0	4	8	12	15	19	0	23		28		35	42	50	80
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5		1	0	6	10	15	19	23	0	28		34		42	52	67	97
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		1	0	7	12	18	23	28	0	33		40		50	64	90	130
14	18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		1	0	7	12	18	23	28	0	33	39	45		60	77	108	150
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-4	-8		2	0	8	15	22	28	35	0	41	47	54	63	73	98	136	188
24	30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-4	-8		2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	128
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10		2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
40	50	-320	-180	-130		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10		2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
65	80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
100	120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
160	180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
180	200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		4	0	17	31	50	77	122	160	236	284	350	425	520	670	880	1150
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
225	250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
280	315	-1060	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
315	355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28		4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
355	400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28		4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
400	450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32		5	0	23	40	68	126	232	330	490	490	740	920	1100	1450	1850	2400
450	500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32		5	0	23	40	68	132	252	360	540	540	820	1000	1250	1600	2100	2600
500	560					-260	-145		-76		-22	0					0	0	26	44	78	150	280	400	600							
560	630					-260	-145		-76		-22	0					0	0	26	44	78	155	310	450	660							
630	710					-290	-160		-80		-24	0					0	0	30	50	88	175	340	500	740							
710	800					-290	-160		-80		-24	0					0	0	30	50	88	185	380	560	840							
800	900					-320	-170		-86		-26	0					0	0	34	56	100	210	430	620	940							
900	1000					-320	-170		-86		-26	0					0	0	34	56	100	220	470	680	1050							
1000	1120					-360	-195		-98		-28	0					0	0	40	66	120	250	520	780	1150							
1120	1250					-360	-195		-98		-28	0					0	0	40	66	120	260	580	840	1300							
1250	1400					-390	-220		-110		-30	0					0	0	48	78	140	300	640	960	1450							
1400	1600					-390	-220		-110		-30	0					0	0	48	78	140	330	720	1050	1600							
1600	1800					-430	-240		-120		-32	0					0	0	58	92	170	370	820	1200	1850							
1800	2000					-430	-240		-120		-32	0					0	0	58	92	170	400	920	1350	2000							
2000	2240					-490	-260		-130		-34	0					0	0	68	110	195	440	1000	1500	2300							
2240	2500					-490	-260		-130		-34	0					0	0	68	110	195	460	1100	1650	2500							
2500	2800					-520	-290		-145		-38	0					0	0	76	135	240	550	1250	1900	2900							
2800	3150					-520	-290		-145		-38	0					0	0	76	135	240	580	1400	2100	3200							

Fonte: Andrade(2020).

4.3 INTERPRETAÇÃO DA TOLERÂNCIA.

De acordo com Silva Neto (2012) uma dimensão com tolerância deve ser caracterizada pela dimensão nominal seguida da designação da classe de tolerância exigida ou dos afastamentos em valores numéricos

quando a tolerância vem apresenta no sistema ISO, os valores dos afastamentos não são expresso diretamente. Por isso e necessário consultar a tabela para poder identificar as tolerâncias (NORÕES,OLIVEIRA,SILVA,2009).

exemplo de indicação de tolerância:

a)100H7g6

com base na tabela da figura 8 podemos observar que a dimensão nominal de 100 mm que está entre 80 mm e 120 mm para o furo a tolerância será 0,035 mm e 0,022 mm para o eixo e afastamento de acordo com as tabelas das figuras 10 e 11 para o furo será Ai=0 e para o eixo as=-0,012 mm. Sabendo dos afastamentos fundamentais e tolerâncias pudemos encontrar o afastamento desconhecido atreves da formulas as seguir.

FURO. t=As-Ai

(1)

Onde T é a tolerância,As é o afastamento superior do furo e Ai o afastamento inferior do furo.

EIXO. t=as-ai

(2)

Onde T é a tolerância,as é o afastamento superior do eixo e ai o afastamento inferior do eixo.

portanto,furo

As=Ai+t→ As=0,035+0 → As=0,035mm

Então a dimensão mínima do furo é 100-Ai → 100-0=100mm e a dimensão máxima do furo é 100+As → 100+0,035=100,035mm.

eixo

ai=as-t → ai=-0,012-0,022 → as=-0,034mm

Então a dimensão mínima do eixo é 100+ai → 100+(-0,034)= 99,966mm e a dimensão máxima do eixo é 100+as → 100+(-0,012)= 99,988mm.

O ajuste entre o furo e o eixo será um ajuste com folga por que o afastamento inferior do furo e maior que o afastamento superior do eixo, onde a folga mínima será o afastamento mínimo do furo monos o afastamento Maximo do eixo 0-(-0,012) que será igual a -0,012 mm e a folga máxima será o afastamento superior do furo menos o afastamento inferior do eixo sendo 0,035-(-0,034) que será iguala 0,069mm.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No tocante aos objetivos traçados,foi possível observar o atendimento do seu objetivo geral, o qual tratava de como a tolerâncias dimensionais influenciam na qualidade das peças intercambiaveis em sua fabricação mostrando que podemos especificar as tolerâncias através de cálculos utilizando as tabelas da norma NBR 6158 aumentando qualidade das peças a serem produzidas.

Alem disso, os objetivos elencados como específicos também foram alcançados de maneira satisfatória, seguindo as etapas do trabalho de acordo com a metodologia definida. Portanto, a abordagem foi coletar informações de varias fontes para obter um suporte conceitual que explicasse a utilização das tolerâncias dimensionais em fabricação de peças.

Após analisar os conceitos de tolerâncias dimensionais o objetivo era falar dos a ajustes e sua importância para processo de montagem e calcular as tolerâncias adequadas através da qualidade de trabalho. Nesse sentido ambos os pontos foram atingidos, possibilitando o entendimento de como as tolerâncias dimensionais são utilizadas e sua importância em fabricação de peças.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. D. S.; LIRANI, J. **Tolerâncias, ajustes, desvios, e análise de dimensões:** Princípios da engenharia de fabricação mecânica. São Paulo: Blucher, 2020.370p.

ANDRADE, Ronaldo. **Sistema ISO/ABNT de tolerâncias e ajustes.** Disponível em: https://sites.google.com/site/fmmametrologiaaplicada/aula-3. Acessado em: 11/09/2020.

AUTODESK. **Sobre o Tolerance Analysis.**Disponível em: https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/PTB/INVTOL/files/GUID-38E025E4-D5C1-46CC-B5CC-67F52CB39139-htm.html#:~:text=O%20m%C3%A9todo%20de%20an%C3%A1lise%20Estat%C3%ADstica,dist%C3%A2ncia%20da%20pilha%20de%20montagem. Acessado em: 10/05/2020.

CAMARGO, Roderlei; LIMA, CarlosRoberto Camello. Projeto de tolerâncias: Levantamento cronológico e perspectivas de inovação. **Espacios,**São Paulo, v.35, n. 11, p.21-21**,** 2014.

EQUIZA,Javier Domínguez. Selección de ajustes ISO em funcíon de las condiciones límite. **Arista Digital,**Centro Educativo: IES Cinco Villas, n. 17, fevereiro 2012. Disponivel em: http://www.afapna.es/web/aristadigital/archivos_revista/2012_febrero_4.pdf. Acessado em:11/09/2020.

GIESECKE,Frederick. **Comunicação gráfica moderna**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education,2008. 577p.

GOTJTAN, Gerd Ewin Ernest. **Análise da precisão de uma estrutura robótica com cinemática paralela assimétrica de topologia 2UPS+PRP em função do mapeamento dos erros de posicionamento da plataforma móvel no espaço de trabalho disponível, durante operação de fresamento de acabamento,**

aplicando modelagem matemática.2009. 241.f. Dissertação (Doutor em engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

HAUSCH, Erich. **Sistemática para desenvolvimento para projeto de produtos com qualidade dimensional na indústria automobilística.** 2009. 88f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2009.

JIMENÉZ, Rafael Castillo.**Ajuste puesta em marcha y regolación de los sistemas mecánicos.** 1. ed.Málaga:IC editorial,2012.154p.

MASCARENHAS, Rafael. **Como e feita uma aplicação básica das tolerâncias e ajustes na mecânica?**. Disponível em: cursosguru.com.br/como-e-feita-uma-aplicacao-basica-das-tolerancias-e-ajustes-na-mecanica/. Acessado em: 10/05/2020.

MASCARENHAS, Rafael. **conheça a aplicação das características de tolerâncias na mecânica.**Disponível em: https://www.cursosguru.com.br/conheca-a-aplicacao-das-caracteristicas-de-tolerancias-na-mecanica/. Acessado em: 10/05/2020.

MIRANDA, Charles Zanini, **Desenho técnico mecânico**.1.ed. Santa Catarina:Uniasselvi, 2019. 154p.

M ÜLLER, B. L. **Que valores meta de cp e cpk devo usar?.**. Disponível em: https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2017/12/21/valores-de-cp-e-cpk/. Acessado em: 10/09/2020.

NORÕES,Eduardo César Pereira; OLIVEIRA, Venicio Soares de; SILVA, Antônio Neilton da. **A normalização como ferramenta geradora**. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_092_624_13181.pdf. acessado em: 10/09/2020.

NOVASKI, Olívio. **Introdução à Engenharia da Fabricação Mecânica.** 2.ed. São Paulo: Blucher, 2017. 253p.

SILVA NETO, João Cirilo da. **Metrologia e controle dimensional.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 242p.

UMARAS, Eduardo. **Tolerâncias Dimensionais em Conjuntos Mecânicos: estudo e proposta para otimização.** 2010.150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2015.