

ANALISE DE FALHA NA CONSTRUÇÃO DE UMA PINÇA DE FREIO PARA UM VEÍCULO OFF ROAD

Bárbara Kellen Monteiro França ^{1*}, Eduardo Miguel da Silva ¹ e Alex Sander Chaves da Silva ¹

¹ Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), Demep, Praça Frei Orlando, 170 - Centro, São João del Rei - MG, 36307-406

*Autor correspondente: barbarafranca001@aluno.ufsj.edu.br

RESUMO

O projeto de extensão Baja consiste em desenvolver e construir um protótipo off road, com o intuito de estimular os estudantes de Engenharia a aplicar os conceitos aprendidos durante a graduação, através de competições entre universidades, com o propósito de preparar os novos Engenheiros para o mercado de trabalho, assim o presente trabalho faz uma investigação sobre a implementação do sistema de tolerância que foi criado com a finalidade de descrever de maneira sistêmica, complexa e descritiva a geometria real de uma peça com intuito de transpassar as informações importantes de forma clara e coesa. Com isso, criou-se a GD&T (dimensionamento e tolerância geométrica) que se baseia nas normas de modo a desenvolver uma linguagem unificada a fim de disseminar estas informações de maneira eficiente e compreensível de modo universal, sendo está uma linguagem matematizada e de orientação descritiva de tamanho, forma, localização da característica da peça. Assim tem como objetivo introduzir o tema de tolerância GD&T, dando breve explicação sobre os tipos de tolerância comuns em um desenho mecânico e a importância de sua consideração durante a execução de um projeto mecânico, apresentando uma breve explicação dos tipos de tolerância para forma, perfil, orientação, localização e movimento, onde foi apresentado o estudo de caso sobre falhas de forma em um projeto de uma pinça de freio para um protótipo da equipe Komiketo Baja, no qual constatou-se falhas de circularidade e cilindridade com base em aplicações de FMEA e comparativos entre construção e prática, onde foi perceptivo incompatibilidade entre o projeto e o resultado, o qual acarretou em falhas de funcionamento e desempenho insatisfatório do subsistema de freio durante a etapa nacional da competição Baja SAE Brasil do ano de 2022.

Palavras-chave: Baja SAE, Sistema de freio; FMEA, GD&T

ABSTRACT

The Baja extension project consists of developing and building an off-road prototype, with the aim of encouraging Engineering students to apply the concepts learned during graduation, through competitions between universities, with the purpose of preparing new Engineers for the market work, so this work investigates the implementation of the tolerance system that was created with the purpose of describing in a systemic, complex and descriptive way the real geometry of a part with the aim of conveying important information in a clear and cohesive way. With this, GD&T (geometric dimensioning and tolerance) was created, which is based on standards in order to develop a unified language in order to disseminate this information in an efficient and universally understandable manner, being a mathematized language with a descriptive orientation. of size, shape, location of the feature of the part. Thus, the objective is to introduce the topic of GD&T tolerance, giving a brief explanation about the common types of tolerance in a mechanical drawing and the importance of its consideration during the execution of a mechanical project, presenting a brief explanation and the types of tolerance for shape, profile, orientation, location and movement, where the case study on form flaws in a brake caliper design for a prototype of the Komiketo Baja team was presented, in which circularity and cylindricity flaws were found based on applications FMEA and comparisons between construction and practice, where there was a perceived incompatibility between the project and the result, which resulted in malfunctions and unsatisfactory performance of the brake subsystem during the national stage of the Baja SAE Brasil competition in 2022.

Keywords: Baja SAE, brake system; FMEA, GD&T

1. Introdução

A Revolução Industrial, trouxe um grande avanço tecnológico e industrial quanto ao aprimoramento de mecanismos de multiplicação de força, pois não mais utilizariam a natureza ou os animais, mas, sim, as máquinas a vapor, principalmente as locomotivas, que passaram por um grande processo de desenvolvimento nesse período (Padilha, 2018).[1]

Dessa maneira, com a finalidade de melhorar seus produtos, surgem ideias de novas técnicas, novas metodologias, novos conceitos de gerenciamento empresarial, dentre inúmeros outros aspectos para melhorar a performance dos resultados. (Stoco, H.W 2016) [2]

Para (STRAFACCI NETO, 2024)[3], utilizar o sistema cartesiano tradicional para o controle geométrico gera, inevitavelmente, reprovação de peças boas, sendo que o GD&T é uma representação do desenho normalizado. Porém nota-se que esta ferramenta que já tem mais de 70 anos sendo utilizada principalmente nas indústrias do setor automotivo e aeroespacial. Notadamente, a aplicação do sistema GD&T é necessária por ser a forma mais correta e padronizada de se representar as características funcionais e geométricas do produto.

Várias pesquisas estão sendo realizadas referentes qualidade dimensional: estudo e aplicações do sistema GD&T no processo de desenvolvimento de um produto conforme observadas por (Stoco, H.W 2016) [2] o qual conclui que o seu trabalho demonstrou com clareza a redução de custos com a utilização do GD&T e também o ganho de precisão e tempo nos dimensionais.

(Quirino 2017),[4] fez um estudo das técnicas de GD&T e sua aplicação em máquinas de medição por coordenadas e verificou que a utilização da técnica permitiu a análise de tolerância geométrica e forma eficaz e automática trazendo benefícios econômicos e técnicos devido a padronização dos processos de inspeção.

É importante salientar que para a correta interpretação dos desenhos no qual emprega-se o GD&T, é necessário um conhecimento pleno da metodologia aplicada. Métodos metroológicos aplicados nas Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC) e seus respectivos softwares de medição são características fundamentais durante o processo dimensional. Necessita-se de investimentos no treinamento e capacitação dos metrologistas e dos técnicos na

fabricação de peças e equipamentos. Portanto esse trabalho tem como objetivo análise de falha na construção de pinças de freio de um veículo off road apresentando os conceitos fundamentasi e simbologia da técnica GD&T e o uso da análise de falhas em pastilhas de freio de veículos off road.

1.1. Dimensionamento e tolerância geométrica

A sigla GD&T significa “Geometric Dimensioning and Tolerancing” e pode ser traduzido como Dimensionamento Geométrico e Toleranciamento,(WANDECK, 2010)[5]

Segundo (WANDECK, 2012) [6], o GD&T foi criado em meados da década de 40 POR Stanley Parker, engenheiro da fábrica real de torpedos da marinha Britânica e ao longo dos seus mais de setenta anos essa ferramenta tem sido utilizada mundialmente. Assim a sua mais importante característica é o formato da zona de tolerância de posição que em contrapartida ao formato quadro do sistema cartesiano é circular permitindo um aumento de 57% na zona de tolerância. Essa conclusão foi observada por Stanley Parker após perceber que os seus produtos reprovados pelo sistema cartesiano eram na verdade funcionais.

Assim o GD&T é uma importante linguagem utilizada no dimensionamento dos produtos mecânicos. É o caminho entre a concepção do produto e sua materialização, havendo grande influência por parte desse sistema no desenvolvimento de novos produtos, manufatura, na qualidade e no meio ambiente. Ainda de acordo com o autor, esse sistema possui recursos de linguagem para especificar os requisitos funcionais de forma clara e precisa, assegura a intercambiabilidade das peças, garante zero defeito de montagem e é uma exigência da indústria automobilística (norma QS-9000).

Essa normalização do GD&T tem na ASME Y14.5M-1994 [7] e normas associadas o seu documento mais conhecido e adotado no meio industrial. A ISO e inúmeras outras entidades normalizadoras em diversos países também possuem documentos similares para o tema.

Entretanto nota-se que a norma NBR6409, de maio de 1997, definiu as Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho.[8]

Apesar de existirem várias normas para a implantação da garantia da qualidade no projeto porém

inicia-se com o pelo aprendizado do GD&T, levando ao sucesso de um projeto é a comunicação, sendo os requisitos de engenharia. Neste sentido, faz importancias o treinamento não só de projetistas, mas de todos os elos da cadeia de fabricação afetados pela variação dimensional, incluindo os colaboradores parceiros e outros demais sub-contratados, é um requisito fundamental para o sucesso na aplicação destas ferramentas.

Segundo (ALBERTAZZI, 2009) [9].exisem os diferentes níveis de habilidade, a acuidade visual , a correta aplicação da técnica de medição e os cuidados do operador em efetuar a medição podem introduzir em maior ou menor grau os erros de medição . porém não é uma tarefa fácil de quantificar os niveis de erros de medição introduzidos pelo operador sendo necessário em comum avaliar as variações obtidas quando diferentes operadores são envolvidos para medir o mesmo mensurando com o mesmo sistema de medição. Assim a figura 1 exemplifica aplicação de GD&T.

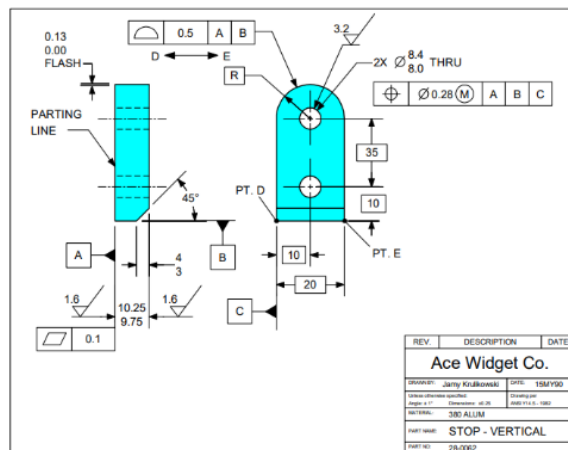


Figura 1. desenho com aplicação de GD&T.

Segundo (NOVASKI, 2013) [10]As tolerâncias geométricas são variações geométricas, tanto positivas quanto negativas, que visam garantir a eficácia na fabricação de peças de modo a não interferir ou afetar negativamente sua aplicação ou funcionalidade sendo elas formas, posição, orientação ou batimento, aplicadas a um elemento isolado ou a um elemento associado, no qual um é associado e outro fica de referenciamento, como mostrado nas figuras.

Ao passo que a tolerâncias de forma estão interligadas a variações permitidas de uma forma perfeita, podendo ser: Retitude; Planeza; Circularidade;

Cilindricidade; Perfil de linha ou superfície qualquer. A tolerância de orientação diz respeito a orientação quanto a angularidade referente a um elemento voltado a sua inclinação de trabalho ideal podendo ser: Paralelismo; Perpendicularidade; Inclinação.

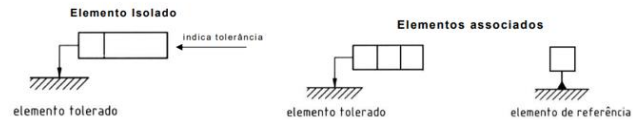


Figura 2. Representação das tolerâncias geométricas com elemento isolado e associados.

Já a tolerância de posição está interligada ao máximo de deslocamento um elemento pode ter em referência a sua posição teórica, podendo ser: concentricidade; simetria; posição. Por fim, a tolerância de batimento está envolvida na forma posição quando sujeita a um movimento de rotação em um eixo ao qual deveria haver simetria entre eixos, podendo ser circular ou total podendo ser axial, radial, específica ou uma qualquer. Cada tipo de tolerância pode ser evidenciado por uma simbologia conforme a figura 3

	Tipo de tolerância	Característica Tolerada	Símbolo
Elementos Isolados	Forma	Retitude (retilidade)	—
		Planeza	▭
		Circularidade	○
		Cilindricidade	⊘
Elementos isolados ou associados	Perfil	De linha qualquer	⌒
		De superfície qualquer	⌒
Elementos Associados	Orientação	Paralelismo	∥
		Perpendicularidade	⊥
		Inclinação	∠
	Localização	Posição	⊕
		Concentricidade	⊙
		Simetria	≡
	Movimento	Batimento circular	↻
		Batimento total	↻↻

Figura 3. Tipo de tolerancia e simbologia

Poranto há situações que envolvem as montagens , na maioria das vezes apenas as tolerancias dimensionais são insuficientes para se garantir um funcionamento adequado.

1.2. Ferramentas da Qualidade

Segundo NERIS, 2024 [11] as ferramentas da qualidade representam um conjunto de técnicas e metodologias que são utilizadas com o objetivo de analisar, compreender e aprimorar os processos no

ambiente produtivo. A busca é sempre pela melhoria constante e a garantia de excelência operacional e a satisfação do cliente. Em suma, as ferramentas da qualidade têm o papel de ajudar na identificação e correção de problemas, redução de custos e aumento na eficiência de operação da organização, baseado na análise dos próprios dados da organização

a) Metodologia FMEA

A aplicação da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA), tem como objetivo identificar e analisar possíveis modos de falha nos equipamentos automotivos e seus efeitos potenciais, ou seja, os mais comuns de ocorrerem dentro do cenário. Com o FMEA é possível avaliar a criticidade das falhas, priorizando aquelas que possuem maior impacto na operação e segurança dos veículos. O processo de FMEA envolve a identificação das possíveis falhas, determinação de suas causas e efeitos, e a atribuição de uma pontuação de risco baseada na severidade, ocorrência e detectabilidade das falhas. A aplicação da FMEA permitirá a implementação de ações corretivas e preventivas direcionadas, visando reduzir a probabilidade de falhas e minimizar seus impactos.

1.3. Freio a disco

Segundo Costa, 2001 [12]. Um freio a disco consiste em um disco maciço, em geral de ferro fundido ou aço inoxidável, que gira solidário com a roda do automóvel. Uma região do disco é envolvida por uma caixa em forma de U – a pinça – que contém cilindros e pistões, ligações por tubos ao circuito hidráulico e pastilhas de fricção que pressionam a superfície do disco para abrandar a velocidade do automóvel, ou detê-lo,

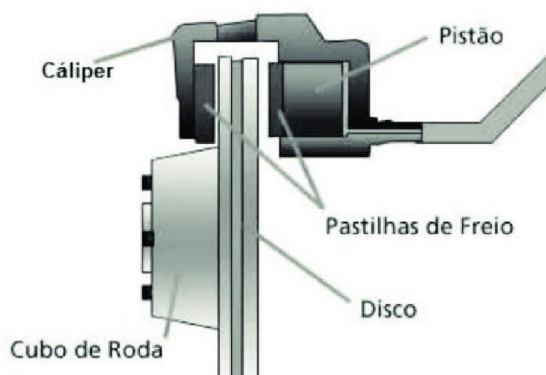


Figura 4. Componentes de um sistema de freio a disco
Fonte: Alan, 2019

Segundo NOGUEIRA, 2017 [13] O freio a disco apresenta diversas vantagens em relação ao freio a tambor, como menores custo e massa, e a maior facilidade de manutenção, maior facilidade de ventilação, suportam maiores temperaturas de operação, menor espaço necessário para sua instalação, além de permitir um número muito grande de modificações que podem ser feitas em sua geometria, fazendo com que o projetista tenha maior liberdade no projeto.

Assim os freios são considerados dispositivos de segurança fundamentais para a operação de qualquer máquina, e devem proporcionar total confiabilidade durante sua utilização. Durante sua aplicação em automóveis, essa confiabilidade deve ser ainda maior, pois uma falha pode colocar em risco tanto a segurança do piloto quanto de outras pessoas envolvidas.

Portanto na busca de soluções com relação as forças que atuam no sistema de freio a equipe Komiketo Baja SAE da UFSJ e uma frenagem mais eficiente a equipe vem a cada ano buscando estudos mais minuciosos sobre a modelagem térmica e dimensional para garantir uma fabricação do disco de freio e as pastilhas de freio .

2. Objetivo

O objetivo geral deste artigo é apresentar um estudo de caso que aborda as anomalias geradas em uma peça sem considerar a importância da aplicação do tema de GD&T durante a execução de um projeto para garantir sua qualidade, no qual, serão abordados os termos supracitados além da investigação dos modos de falha e verificação das correções necessárias para viabilizar a construção de maneira eficiente.

3. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho pode ser caracterizada por natureza aplicada, já que existe a ocorrência de aplicação das ferramentas da qualidade como o FMEA com o objetivo central de solucionar e visualizar problemas dentro da área da fabricação. Para VERGARA, 2007 [14], um trabalho de natureza aplicada ocorre quando existem problemas concretos que precisam ser resolvidos, assim este trabalho parte da aplicação de ferramentas da qualidade já consolidadas na resolução de problemas e visualização organizacional, com o objetivo de buscar a causa raiz da falha no disco de freio de aço inoxidável que foi

projetado e fabricação na oficina mecânica da equipe baja SAE.

3.1. Dimensionamento dos freios

A força de frenagem é a força de atrito resultante entre as pastilhas e o disco de freio, geralmente atua em sentido oposto ao do deslocamento da superfície (LIMPERT, 1975) [15]. Assim, a força de atrito dinâmico correspondente às duas pastilhas é dada pela seguinte relação:

$$F_r = 2\mu d F_n \quad (1)$$

Onde F_r = a força de frenagem, F_n é a força normal e μd = ao coeficiente de atrito cinético que geralmente depende das áreas superficiais que estão em contato, da temperatura e de possíveis contaminantes

Para o cálculo do torque na frenagem deve-se levar em consideração a força de frenagem e o raio do disco

$$T_{Fr} = F_r \left(r_d + \frac{l_p}{2} \right) \quad (2)$$

Onde T_{Fr} = torque de frenagem e r_d é o raio efetivo do disco de freio, l_p é a largura da pastilha de freio.

Para o cálculo da potência de frenagem deve-se verificar que o disco de freio é um mecanismo de transformação da energia mecânica em calor, e a sua intensidade geralmente depende do intervalo de tempo em que o intervalo de tempo em que ocorre a dissipação de energia; no caso da frenagem contínua, como a velocidade é constante, o trabalho de eixo também é constante, sendo possível assumir que o trabalho do torque τ quando o eixo varre um pequeno ângulo $d\theta$ é:

$$dw = \tau d\theta \quad (3)$$

Assim a variação da potência em função da taxa temporal do trabalho é

$$Pot = \frac{dw}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

Assim temos

$$Pot = \tau w \quad (5)$$

Portanto temos a potência de frenagem;

$$P_{ofr} = T_{fr} W \quad (6)$$

Onde nota-se que

P_{ofr} = a potência de frenagem e w = a velocidade angular

Portanto o sistema de frenagem pode apresentar uma série de falhas decorrentes do superaquecimento, que comprometem o desempenho e vida útil dos componentes. Assim o projeto dos componentes do freio é de grande importância dentro do sistema de freios, por envolver diversos fatores como o torque de frenagem, a distribuição de carga dinâmica do veículo e distância de frenagem, tempestura devem ser bem avaliados pelos projetistas para uma frenagem eficiente

4. Resultados

A partir do estudo de caso foi possível observar a possível falha durante a competição na etapa nacional SAE Brasil com modalidade off road, ocorreu uma falha no funcionamento do conjunto de pinças traseiras (figura 3a e b), que acarretou mal funcionamento crônico geral do subsistema. Para verificar as possibilidades que levaram a falha, foi realizada um FMEA com a finalidade de levantar principais pontos de importância, dentre elas, o principal levantada foi a falha de construção na pinça de freio, ao qual as medidas de êmbolo estavam diferentes das consideradas ideias de projeto. Nota-se que a aplicação do FMEA teve como objetivo de aumentar a confiabilidade, reduzir o risco de falhas e melhorar a segurança e a eficiência da frenagem do veículo off road.



Figura 5. Pinça de freio traseira protótipo KB 09.1
Fonte: Próprio autor

Após realizar o estudo comparativo, exclusão das possibilidades e realizar a verificação foram feitas as revisões de medidas dos componentes e comparativo entre a construção e projeto onde mediu-se o êmbolo

externo e interno da pinça de freio conforme figura 4 e 5

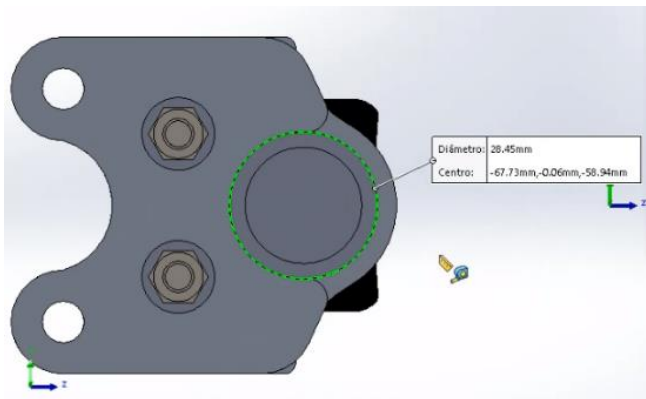


Figura 6. Medição do embolo externo da pinça de freio
Fonte: Próprio autor

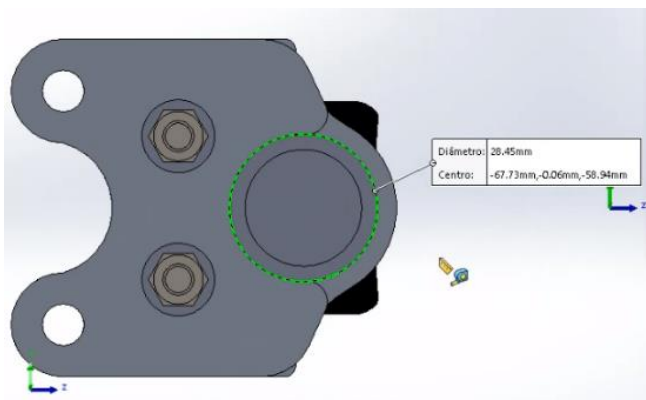


Figura 7. Medição do embolo interno da pinça de freio
Fonte: Próprio autor

4.1. Comparativo de medidas pinça de freio

A tabela 1 mostra a comparação das medidas da pinça de freio para o veículo off road, assim observa-se que essa variação entre o projeto e a construção do veículo levaram a falha. Após realizar as medições e apurações de falhas, verificou-se que o baixo desempenho do subsistema de freio se deu pela falha de forma, classificando-as como cilindridade e circularidade, que acarretaram diminuição da superfície de contato entre pastilha e pinça, de modo a realizar a ineficiência de distribuição de força por área o que resultou em um baixo desempenho no subsistema de freio e nos resultados gerais da equipe. Conforme o comparativo a baixo, é possível identificar o não comprimento do objetivo geral, que é, de todo modo, garantir a eficácia na construção e funcionamento do conjunto sistema de freio.

Tabela 2. Verificação de medidas de pinças traseira KB09

ITEM	PROJETO	CONSTRUÇÃO
Furo passante para flutuante da pinça	8	8
Furo externo do embolo	30	28 (pinça com embolo)
Furo interno do embolo	22,45	21,4
Altura total da pinça	65,02	65
Comprimento total da pinça	74,08	74,15 aproximadamente
Comprimento extremidade de pinça ao furo do flutuante	5,99	5,9
Altura extremidade da pinça ao furo do flutuante	6	6

5. Conclusões

O trabalho intitulado aplicação das ferramentas da qualidade numa empresa de manutenção automotiva nos permite concluir que:

- ✓ Através de uma abordagem teórica sobre o universo do projeto e fabricação foi realizado a análise FMEA, assim, foram mapeados os principais desafios enfrentados pela equipe Baja SAE e as propostas soluções práticas para a melhoria contínua.
- ✓ A análise FMEA foi crucial para aumentar a confiabilidade do sistema de frenagem do veículo off road, identificando modos de falha potenciais e seus efeitos, o que permitiu a priorização de ações corretivas na busca de potenciais falhas para o desenvolvimento de um novo projeto.
- ✓ A técnica GD&T, foi altamente importante para salientar que para a correta interpretação dos desenhos técnicos é necessário por ser a forma mais correta e padronizada de se representar as características funcionais e geométricas do produto.
- ✓ Verificou-se que o baixo desempenho do subsistema de freio se deu pela falha de forma, classificando-as como cilindridade e circularidade, que acarretaram diminuição da superfície de contato entre pastilha e pinça, de modo a realizar a ineficiência de distribuição de força por área o que resultou em um baixo desempenho no subsistema de freio e nos resultados gerais da equipe.

De maneira geral, percebe-se a necessidade de avaliação do uso de ferramentas e técnicas ideias na execução de um projeto em todas as suas etapas, desde sua criação teórica até o findar de sua construção e testes com a finalidade de atingir todos os parâmetros de projetos propostos como premissas cruciais, o que

foi corrigido no caso de estudo supacitado, empenhando a evolução na contrução de peças de cocriação da equipe Komiketo Baja.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a equipe Komiketo Baja SAE pela colaboração na execução do estudo e a UFSJ pelo apoio no desenvolvimento do estudo

7. Direitos Autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

Referências

[1] PADILHA, J. Sistemas de Transmissão Automotiva. 1.Ed. Brasília: NT Editora, 2018.

[2] Stoco, H.W.;Dos Santos, V.R.;Lima. A.;Torrezan, F.;H.;qualidade dimensional: estudo e aplicações do sistema gd&t no processo de desenvolvimento de um produtos; XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.

[3] STRAFACCI NETO, Gilberto. GD&T: Por quê? São Paulo: Setec, Disponível em:
http://www.setecnet.com.br/qualidade/includes/GD&T_Porque.pdf
Acesso em: 25-set2024.

[4] QUIRINO, M.M.J. Estudo das técnicas de GD&T e sua aplicação em máquinas de medição por coordenadas Dissertação de Mestrado , Universidade Federal da Paraíba, 2017, 70p.

[5] WANDECK, Maurício. GD&T On Line. GD&T Engenharia Ltda. Rio de Janeiro, RJ: WANDECK, 2010

[6] WANDECK, M. Engenharia Dimensional – GD&T , Rio de Janeiro, RJ, Brasil [s.n], 2012

[7] ASME – American Society for Mechanical Engineers. Dimensioning and Tolerancing – ASME Y14.5M1994. New York, 1994

[8] ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas , Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho- NBR 6409, 1997

[9] ALBERTAZZI, A.; e DE SOUSA, R.A. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial , Barueri , SP. Manole, 2008.

[10] NOVASKI, OLIVIO , Introdução á Engenharia de Fabricação Mecânica , 2 edições, São Paulo, Blucher, 2013

[11] NERIS, Josiele Viana; PANTOJA, Maria de Nazare de Souza. Aplicabilidade das ferramentas da qualidade fmea e 5w2h: um estudo em uma empresa varejista em Tomé-Açu no Pará. 2024. Disponível em: <<http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3674> > Acesso

em: 25 setembro 2024

[12]. Costa, P. G. (2001). A bíblia do carro.

[13] Nogueira , Gabriel Cunha leal, Modelagem e Análise de discos de freios para Baja SAE, Niteroi, RJ, 2017, 80p.

[14] VERGARA, Sylvia Constant. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007

[15] Limpert, R. (1975). Brakes: Design and Safety. SAE