

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DO BRAÇO DE ALAVANCA PARA ÔNIBUS COM 15 TONELADAS DE PESO BRUTO TOTAL

Mestrando: Alex Noronha da Silva

Orientador: Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa

Volta Redonda, 28 de junho de 2025

INTRODUÇÃO

- Transporte coletivo, mobilidade urbana;
- Mercado de ônibus Mexicano;
- Ergonomia, qualidade de trabalho do motorista.

OBJETIVO GERAL

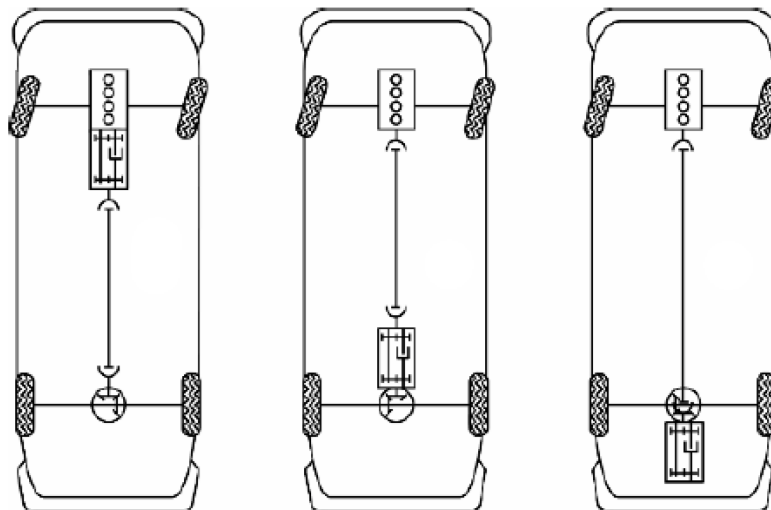
Desenvolver uma alavanca de engate de marchas do tipo comando direto na transmissão, utilizada em um ônibus com motor dianteiro, aplicação urbana, destinado ao mercado de exportação Mexicano.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Elaborar o design da alavanca, utilizando as normas de ergonomia e simulação estrutural por elementos finitos;
- Confeccionar protótipo da alavanca;
- Testar o protótipo no veículo em condições reais da aplicação;
- Avaliar o componente testado;
- Homologar produto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

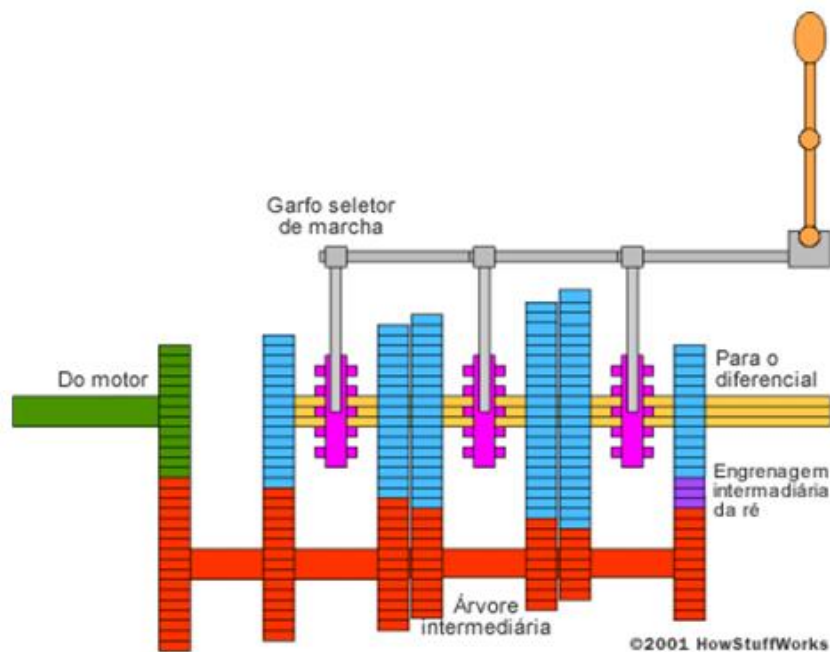
SISTEMA DE PROPULSÃO PADRÃO



Fonte: Naunheimer *et al.* (2011).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

TRANSMISSÃO DE DUAS ÁRVORES COM ALAVANCA DE MARCHA



Sistema de transmissão

Fonte: VW Service Self-Study Program (1998).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ALAVANCA DE MARCHAS DO TIPO COMANDO DIRETO



Fonte: Gear Lever Mechanism (Unique Car Parts, 2024).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SOLDAGEM MIG/MAG (GMAW)

- Eletrodo é aquecido desde temperatura próxima a ambiente até a sua fusão, que pode ser superior a 2000°C;
- Nesse processo o arame consumível entra em contato com o metal base, através do arco elétrico;
- A proteção da “poça de fusão” e regiões é feita por meio de um gás de proteção.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS - AEF

A Análise de Elementos Finitos - FEA é a modelagem de produtos e sistemas em um ambiente virtual, com o objetivo de localizar e solucionar problemas potenciais (ou existentes) estruturais ou de desempenho.

O FEA pode ser usado em uma ampla variedade de setores, mas é mais comumente utilizado no setor aeronáutico, biomecânico e automotivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

SISTEMATIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ALAVANCA

- estudo ergonômico;
- definição do design da alavanca;
- levantamento de dados dos carregamentos da aplicação;
- análise de elementos finitos;
- definição do material e validação do design da alavanca;
- confecção do protótipo;
- testes para certificação;
- caracterização não destrutiva e destrutiva da alavanca;
- homologação.

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTUDO ERGONÔMICO

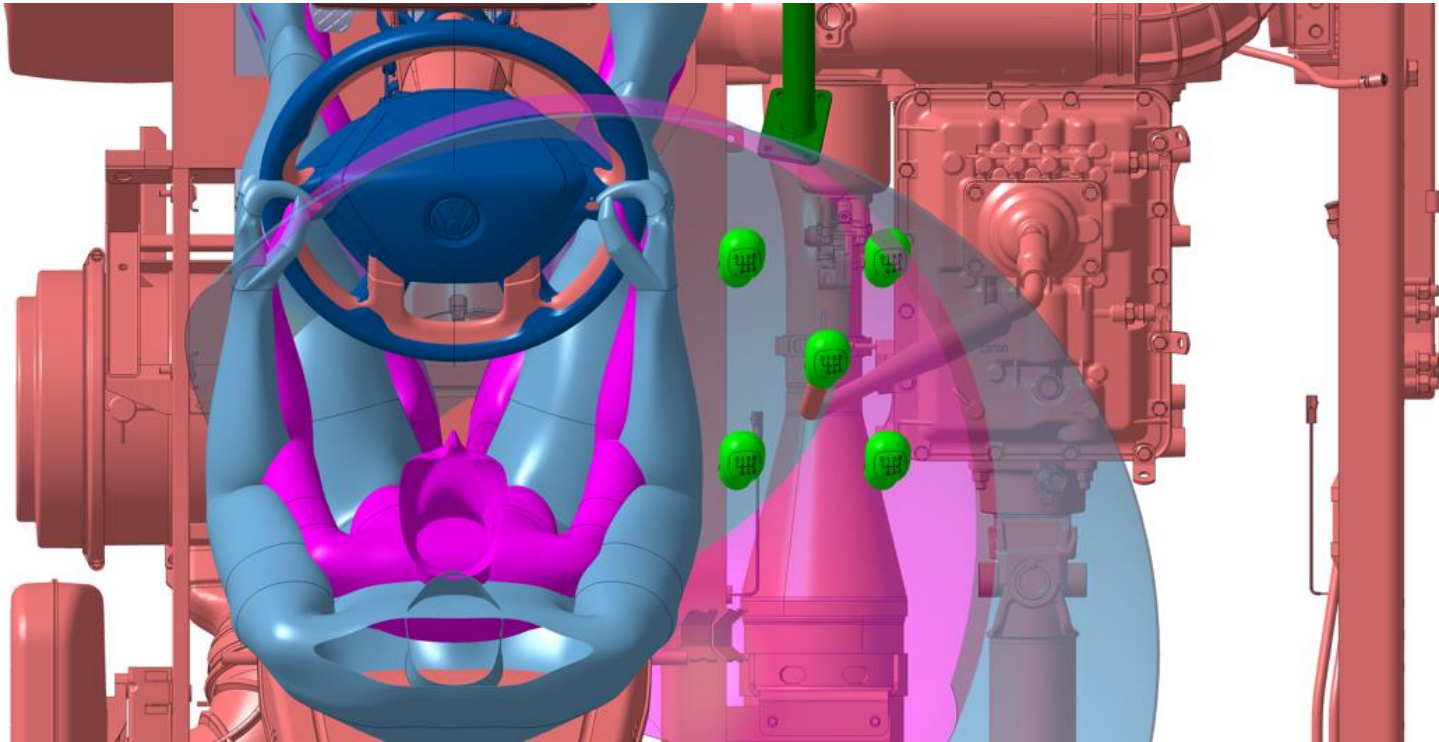
Para esse estudo foi realizado o levantamento de dados de 719 motoristas de veículos comerciais. Através do tratamento estatístico, obteve-se a média, o desvio padrão e os percentis 5%, 20%, 80% e 95% de cada dimensão corporal analisada.



Fonte: Autor (2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

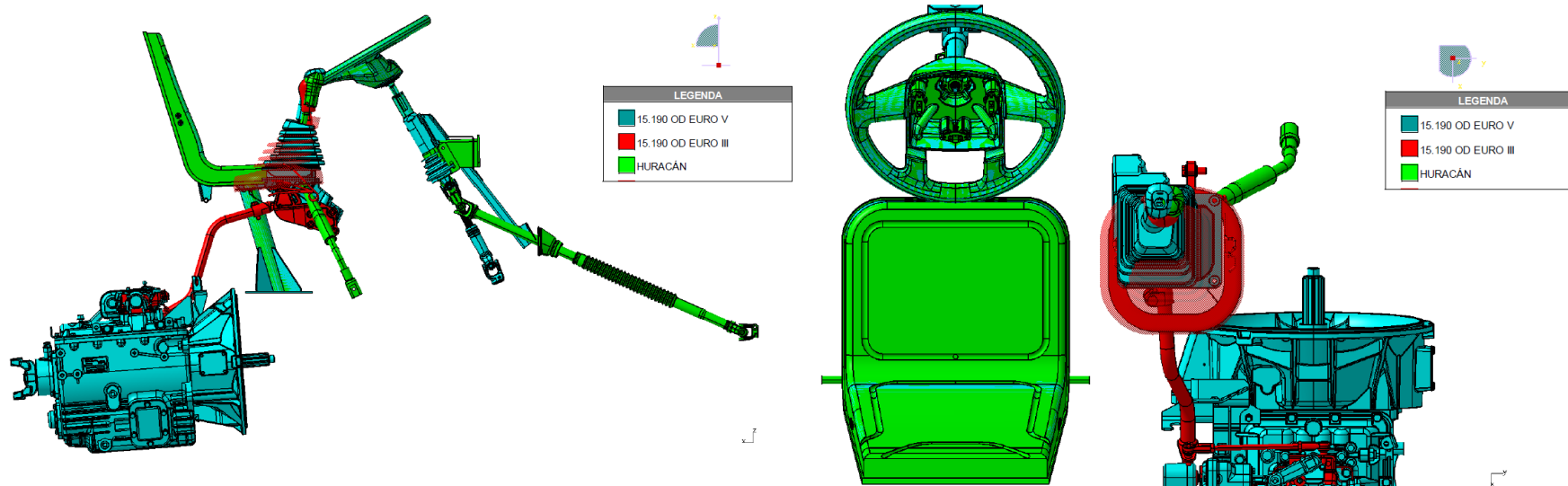
Perfil do menor (rosa) e maior motorista (cinza)



Fonte: Autor (2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

VISTAS DO DESIGN ERGONÔMICO DA ALAVANCA DE MARCHAS

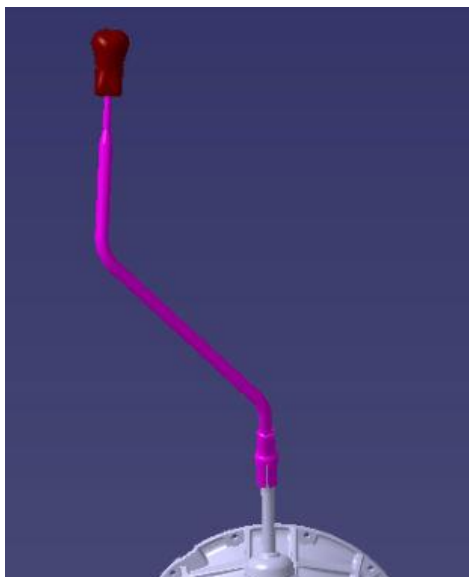


Fonte: Autor (2022).

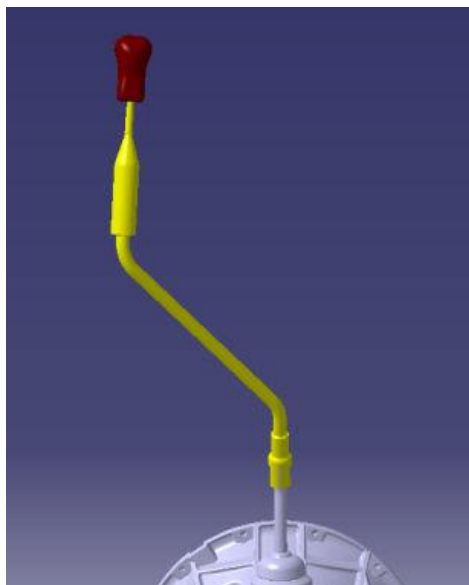
MATERIAIS E MÉTODOS

PROPOSTAS DE DESIGN

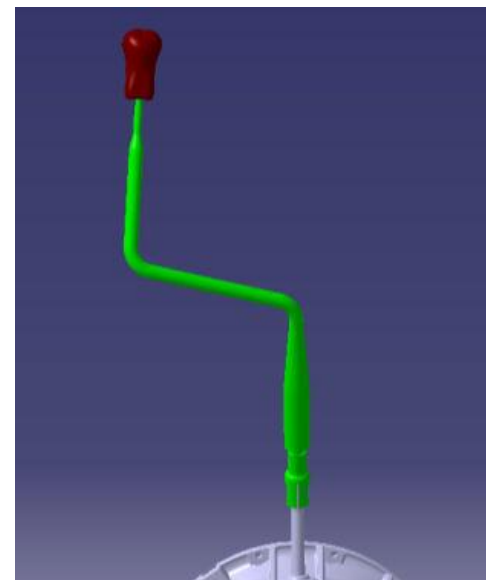
design 1



design 2



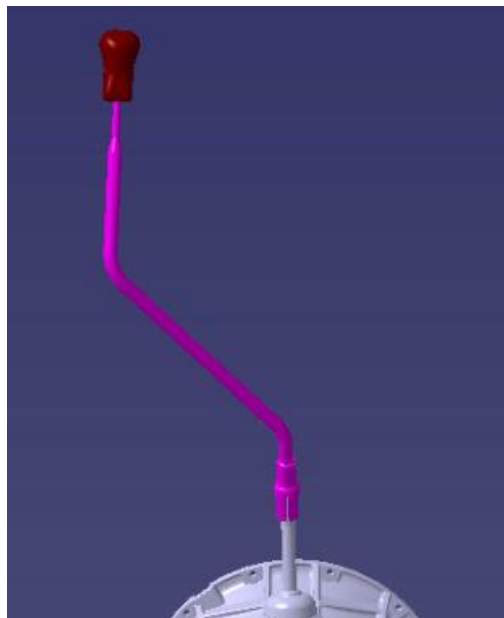
design 3



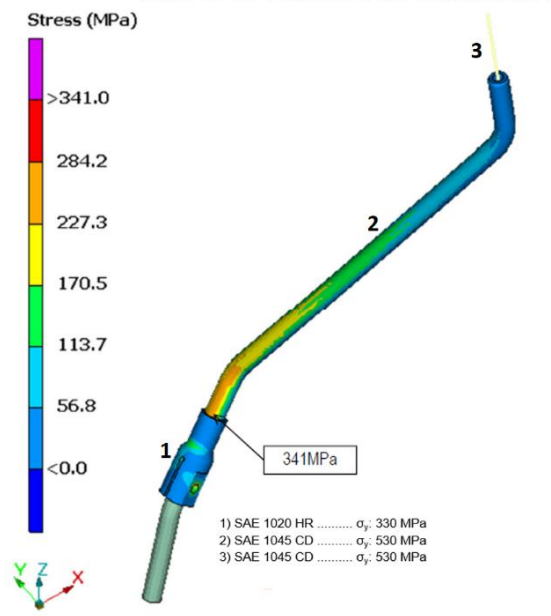
Fonte: Autor (2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

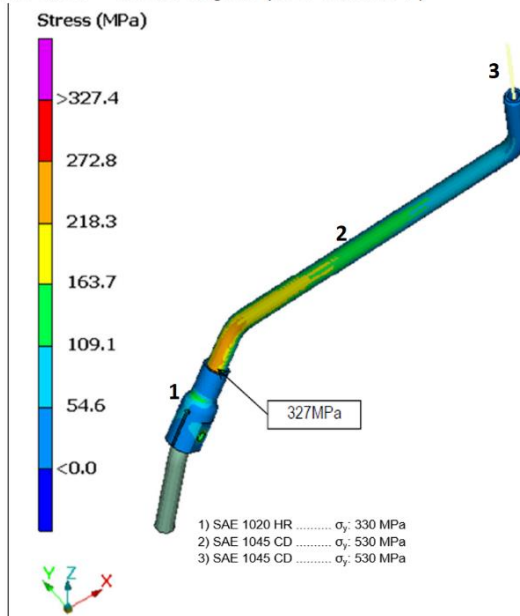
RESULTADO FEA – DESIGN 1



Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y)



Força na via de engate para frente: 47 kgf



Força na via de engate de marcha para trás: 47 kgf

Fonte: Autor (2022).

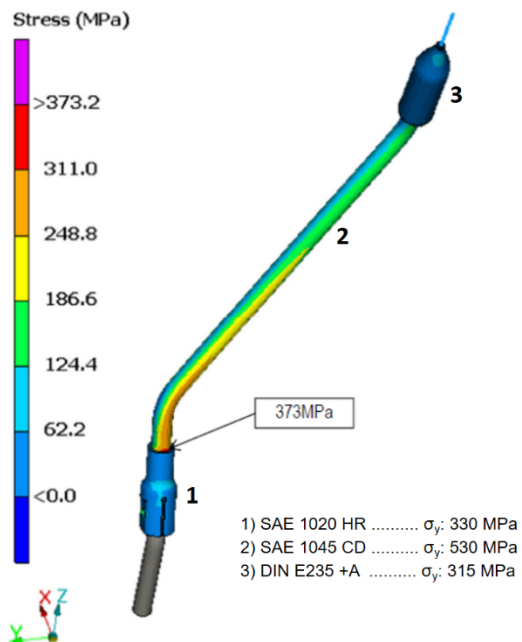
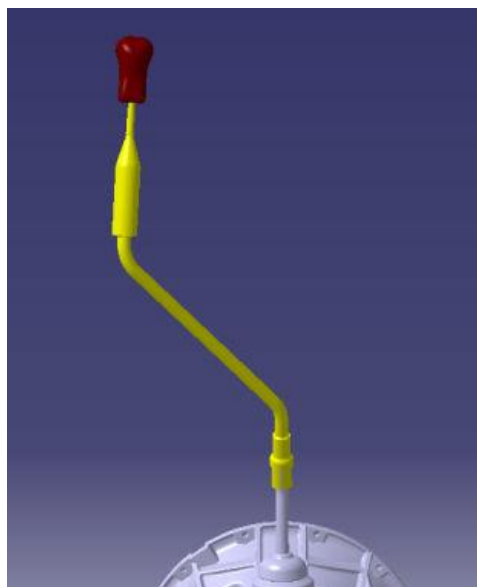
Proposta design 1 - Aprovada

Seção	σ_y	posição engate		posição seleção		Critério de projeto
		frente	trás	esquerda	direita	
1- Junta	330 MPa	1,2	1,3	7,1	4,2	C.P > 1
2- Barra central	530 MPa	1,5	1,6	5,0	3,2	
3- Barra final	530 MPa	2,9	3,1	3,2	2,7	

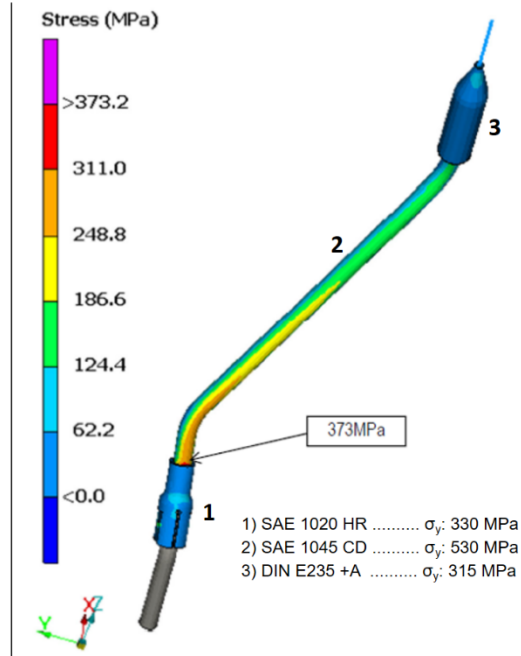
MATERIAIS E MÉTODOS

RESULTADO FEA – DESIGN 2

Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y)



Tensões de Von Mises: engate de marcha frente: 47 Nm



Tensões de Von Mises: engate de marcha trás: 47 Nm

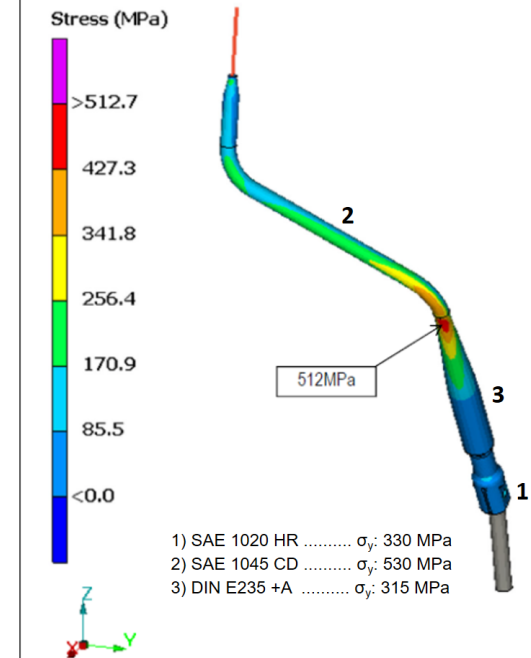
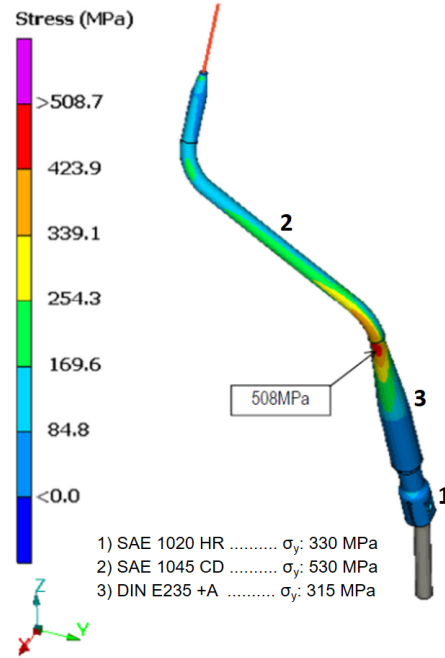
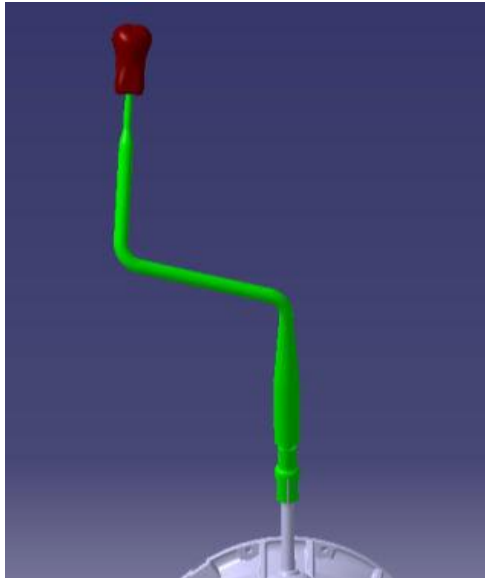
Fonte: Autor (2022).

Proposta design 2 - Aprovada						
Seção	σ_y	posição engate		posição seleção		Critério de projeto
		frente	trás	esquerda	direita	
1- Junta	330 MPa	1,7	1,7	9,4	5,8	C.P > 1
2- Barra central	530 MPa	1,4	1,4	4,7	2,8	
3- Tubo	315 MPa	2,5	2,5	7,8	4,7	

MATERIAIS E MÉTODOS

RESULTADO FEA – DESIGN 3

Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y)



Tensões de Von Mises: engate de marcha frente: 47 Nm

Tensões de Von Mises: engate de marcha trás: 47 Nm

Fonte: Autor (2022).

NÃO APROVADA

Proposta design 3 - Reprovada						
Seção	σ_y	posição engate		posição seleção		Critério de projeto
		frente	trás	esquerda	direita	
1- Junta	330 MPa	1,7	1,7	9,2	5,5	C.P > 1
2- Barra central	530 MPa	1,5	1,5	5,3	3,1	
3- Tubo	315 MPa	0,6	0,6	1,3	2,2	

MATERIAIS E MÉTODOS

CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

As especificações de projeto foram enviadas para o fabricante, localizado no México, para confecção do primeiro protótipo para certificação.

Entretanto, o fabricante sugeriu utilizar um tubo de aço SAE 1020 HR no lugar na barra de aço 1045.

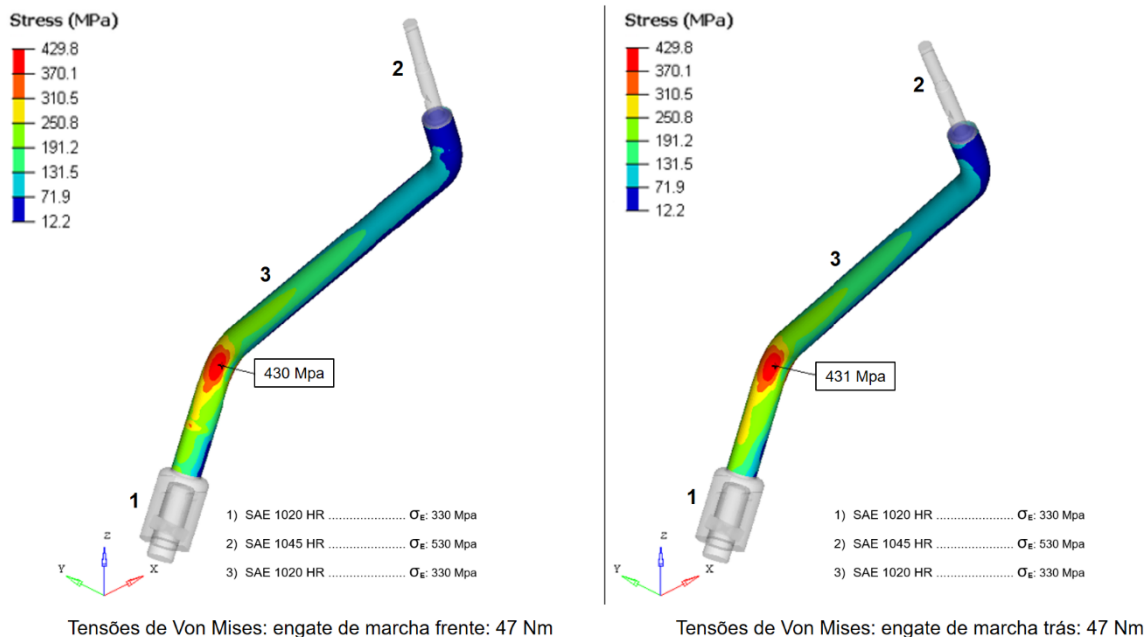
Como houve alteração do material, e a seção de barra para tubo, realizou-se FEA novamente

MATERIAIS E MÉTODOS

CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO – FEA AÇO 1020 HR

NÃO APROVADO

Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y)



FEA aço 1020 HR - Design 1 - Reprovada

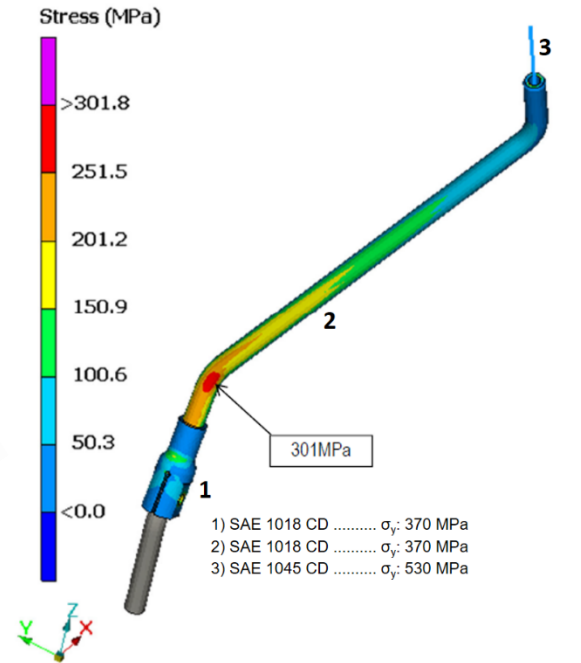
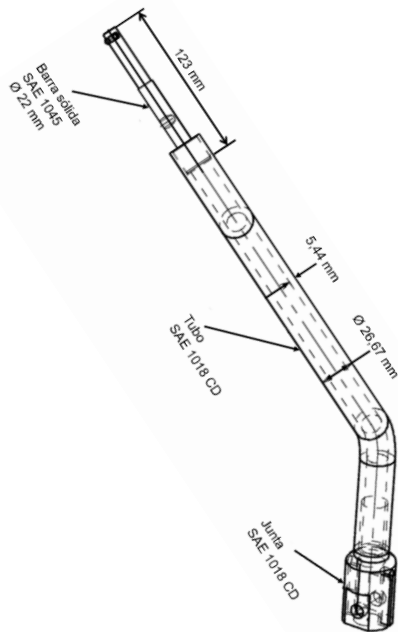
Seção	σ_y	posição engate		Critério de projeto
		frente	trás	
3 - Tubo	330 MPa	0,7	0,7	C.P > 1

Fonte: Autor (2022).

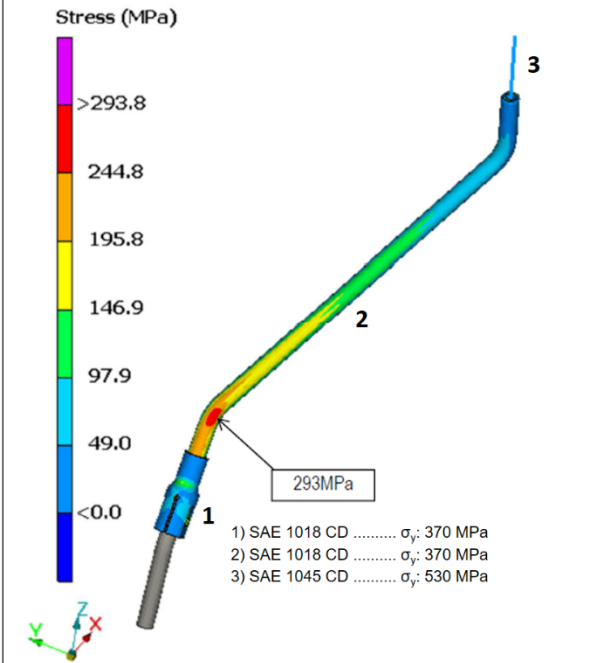
MATERIAIS E MÉTODOS

CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO – FEAÇO 1018 CD

Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y).



Tensões de Von Mises: engate de marcha frente: 47 Nm



Tensões de Von Mises: engate de marcha trás: 47 Nm

FEA aço SAE 1018 CD - Design 1 - Aprovada						
Seção	σ_y	posição engate		posição seleção		Critério de projeto
		frente	trás	esquerda	direita	
1- Junta	370 MPa	1,3	1,4	4,2	6,9	C.P > 1
2- Tubo	370 MPa	1,2	1,3	2,4	4,1	
3- Barra final	530 MPa	2,1	2,3	6,4	8,1	

Fonte: Autor (2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

CERTIFICAÇÃO DA ALAVANCA

Rodagem no campo de provas da montadora, com condições que simulam todos os tipos de pavimentações, totalizando **4000 ciclos para aprovação**, ou 400.000 Km, e trajetos em cidades e rodovias.



Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 1

- Quebra do finger da transmissão com 893 ciclos (89.000 km)



Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 1

Realizada extensometria com 6 extensômetros, sendo 4 pontos de medições na posição do manípulo de marchas, S1, S2, S3 e S4, 2 pontos na peça que falhou, S5 e S6.



■ S1 ■ S3



■ S2 ■ S4



Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 2

Após essa análise com os extensômetros, foi atribuída à massa da alavanca, 2080 g, como causa raiz da falha, com base no conceito de momento fletor onde a massa e a distância têm influência direta nas tensões naquele ponto onde ocorreu a falha.

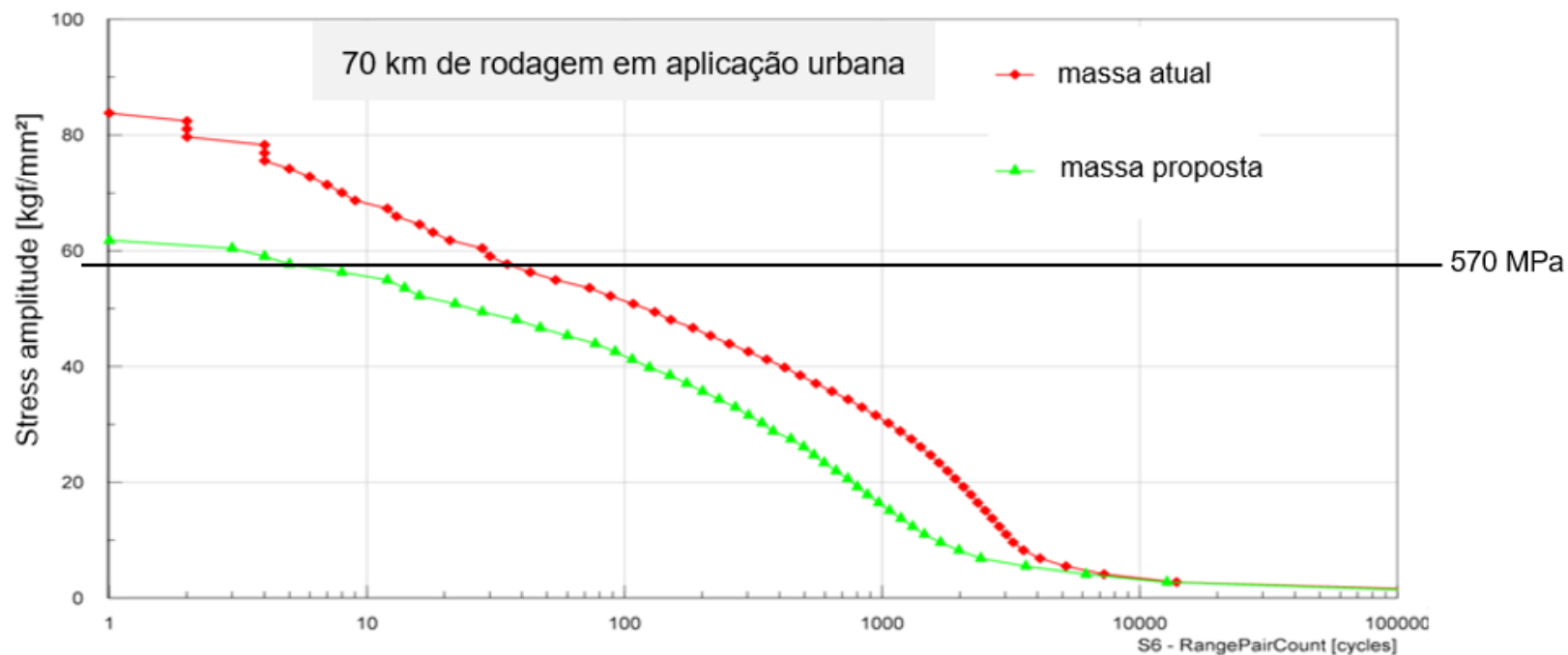
Foi confeccionado uma alavanca para validação do conceito, com material disponível no almoxarifado, onde obteve-se uma alavanca com massa total de 675 g, e realizada extensometria novamente com os mesmos pontos e testes.

Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

COMPARAÇÃO PROTÓTIPOS 1 X PROTÓTIPO 2

Aquisições dos carregamentos no finger da transmissão extensômetro S6



Fonte: Autor (2022).

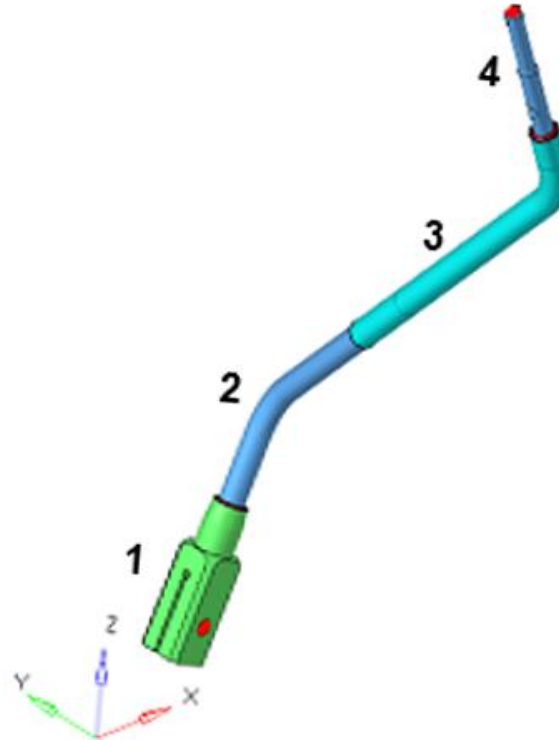
RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 3

Levando em consideração a necessidade de reduzir a massa da alavanca de marchas, foi realizado um novo conceito mantendo o design para atender a ergonomia, com material SAE 1018 CD.

Onde:

- 1- Luva de acoplamento;
- 2- Barra de aço;
- 3- Tubo de aço;
- 4- Barra de aço.

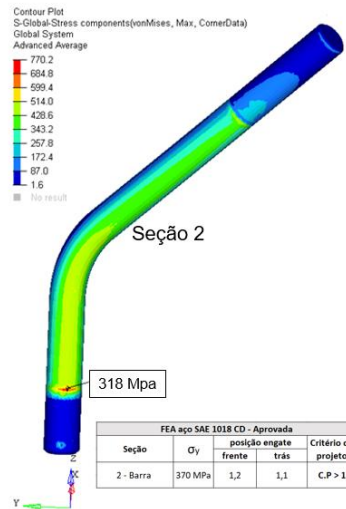


Fonte: Autor (2022).

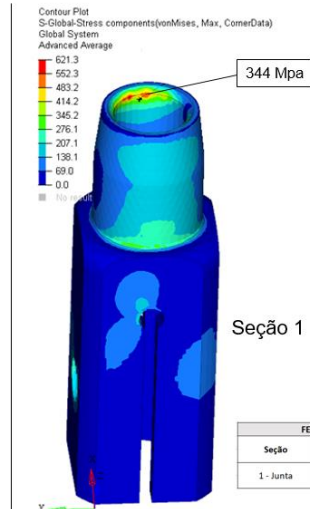
RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 3

Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y)



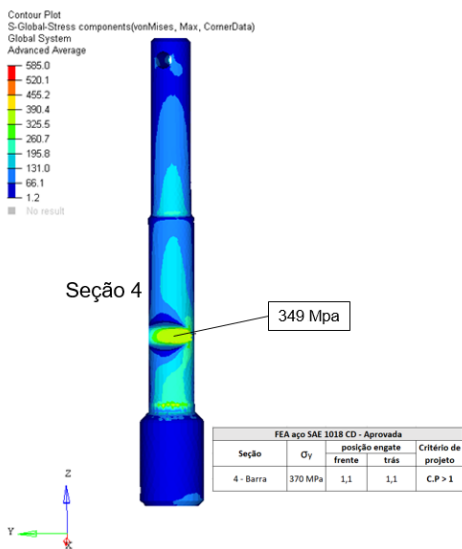
FEA aço SAE 1018 CD - Aprovada				
Seção	Oy	posição engate		Critério de projeto
		frente	trás	
2 - Barra	370 MPa	1,2	1,1	C.P > 1



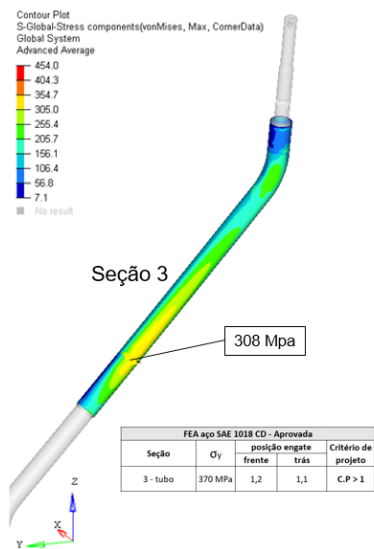
FEA aço SAE 1018 CD - Aprovada				
Seção	Oy	posição engate		Critério de projeto
		frente	trás	
1 - Junta	370 MPa	1,1	1,1	C.P > 1

Tensões de Von Mises: engate de marcha: 47 Nm

Tensões de Von Mises na alavanca de marchas – Via de engate (coordenada Y)



Tensões de Von Mises: engate de marcha: 47 Nm



RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 3

Durante a certificação, não foi apresentado falhas no finger da transmissão, no entanto, ao atingir 3.880 ciclos ocorreu quebra da alavanca.

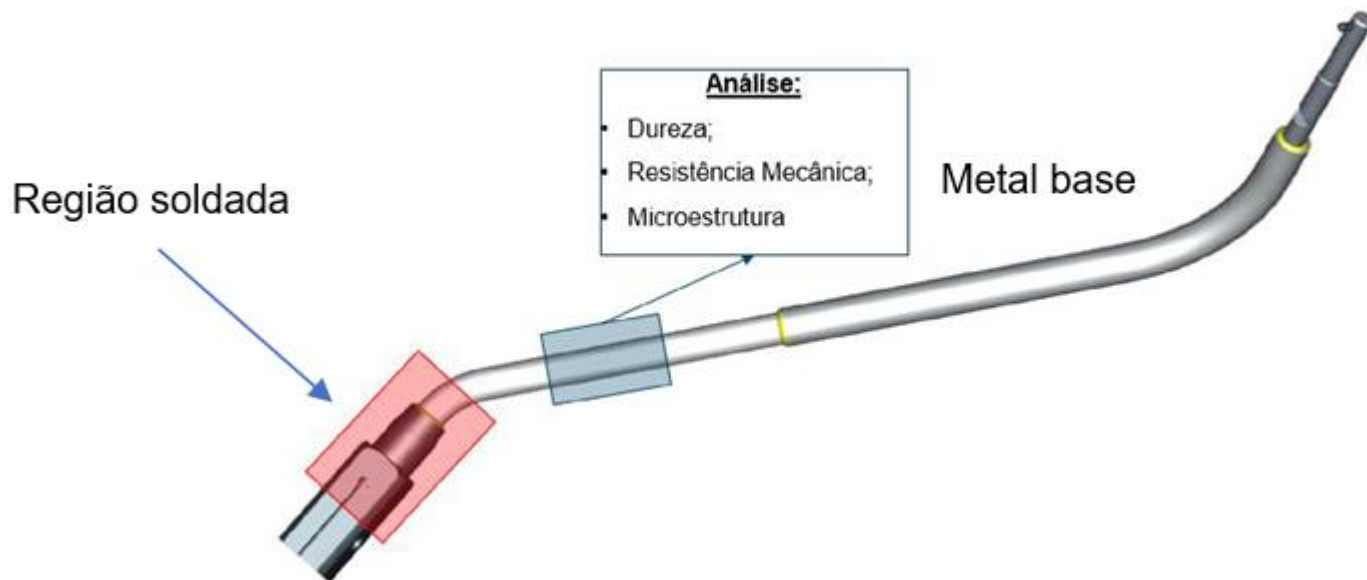
Proposta alavanca com menor massa.



Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO PROTÓTIPO 3



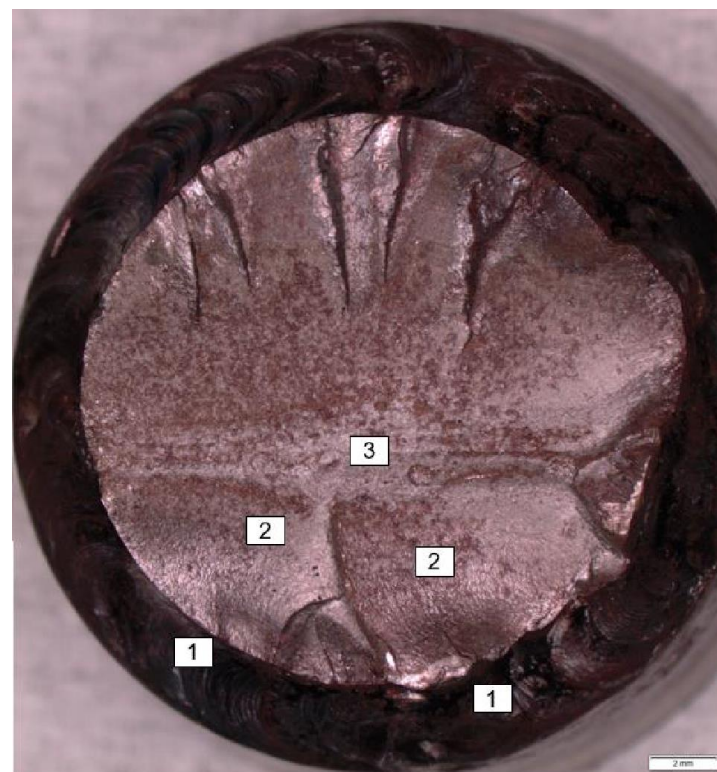
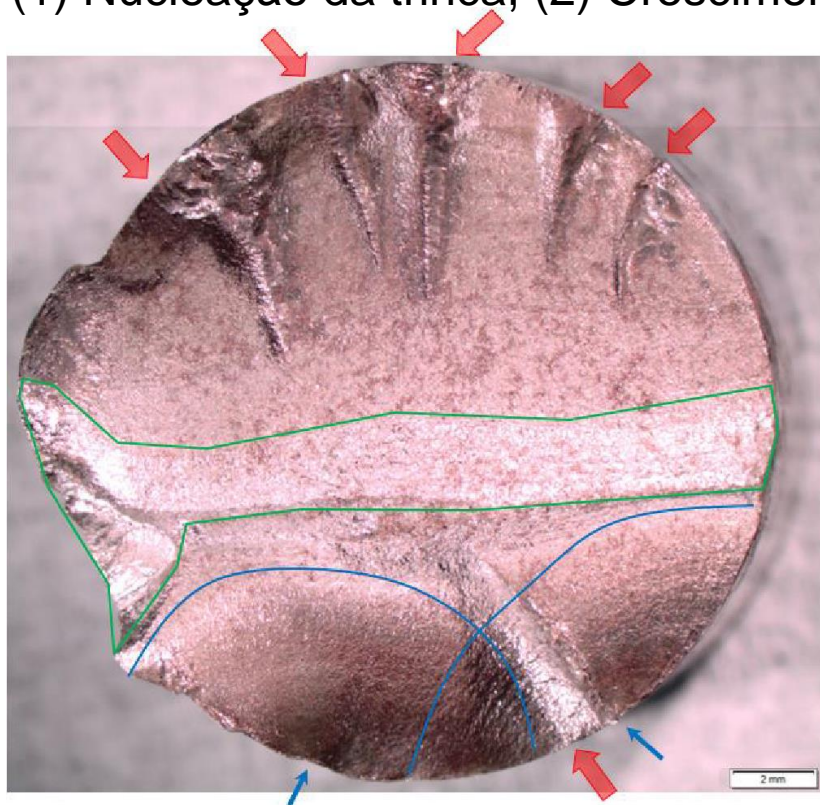
Fonte: Autor (2022).

- Dureza Brinell;
- Microdureza Vickers;
- Resistência à tração;
- Análise Metalográfica;
- Análise Macroscópica;
- Análise Microscópica – MEV;

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE MACROSCÓPICA – SUPERFÍCIE DA FRATURA.

(1) Nucleação da trinca, (2) Crescimento estável da trinca, (3) Fratura final.

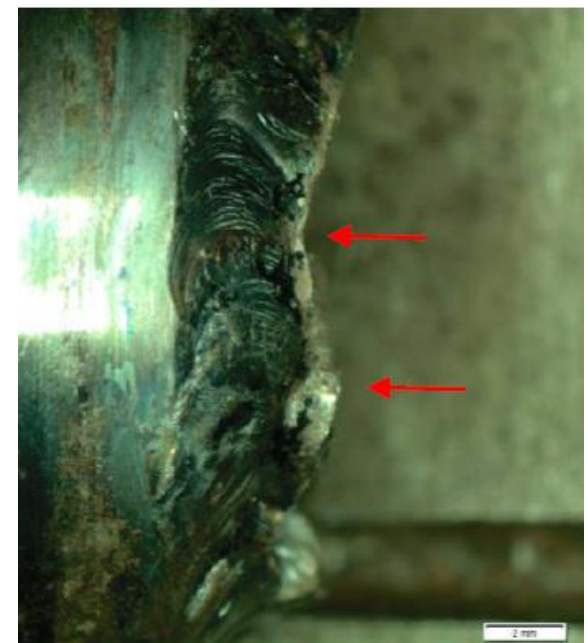
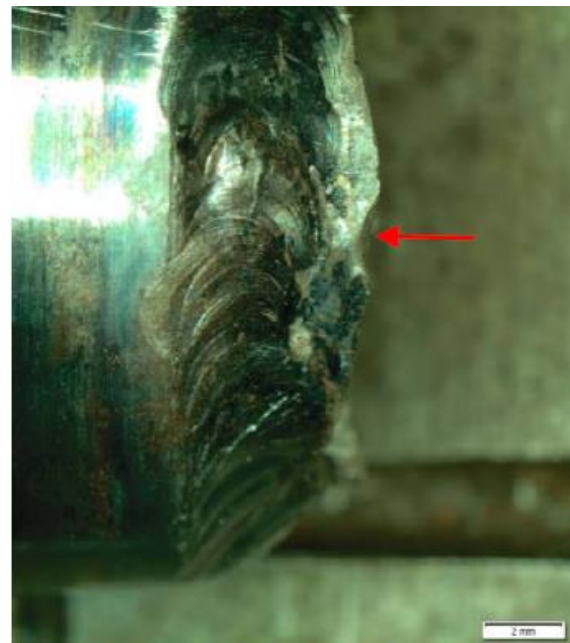
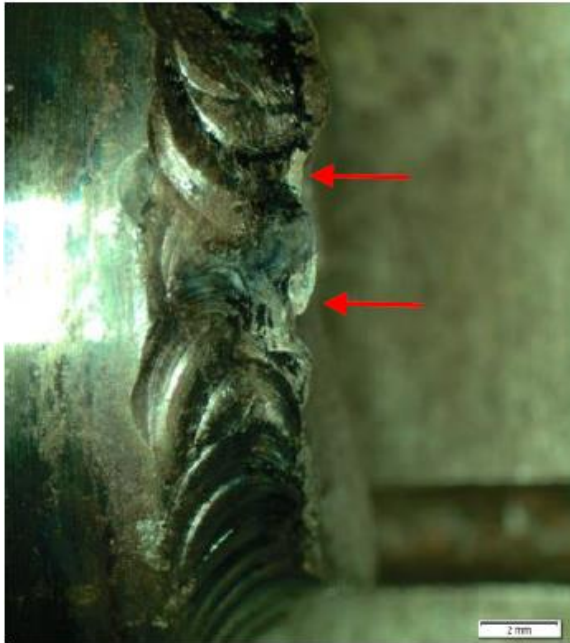


Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE MACROSCÓPICA – CORDÃO DE SOLDA.

- Solda com defeitos superficiais;
- Fratura ocorre em sua maior parte na barra em região próxima da solda;
- Nucleações de forma simultânea, fratura com marcas de catraca indicando fadiga.

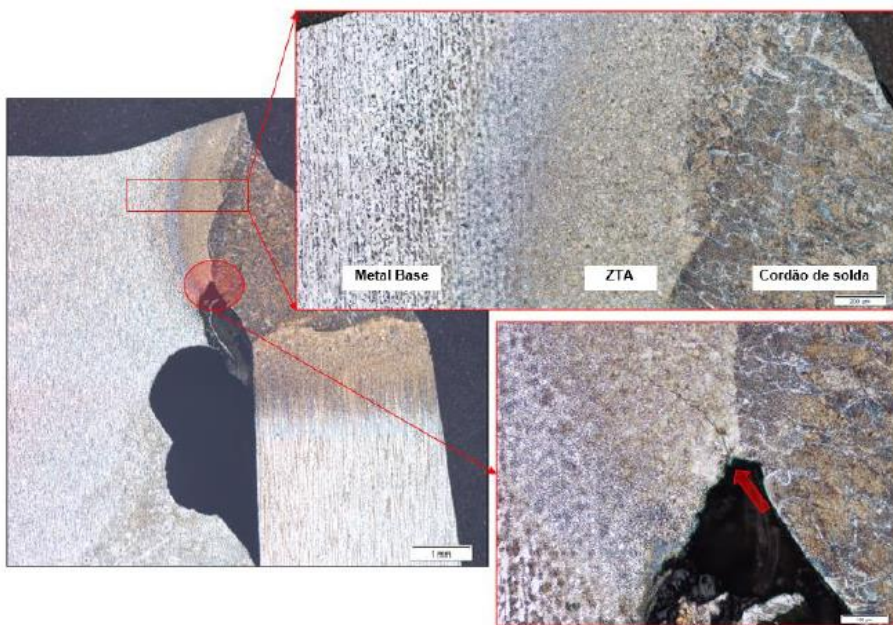


Fonte: Autor (2022).

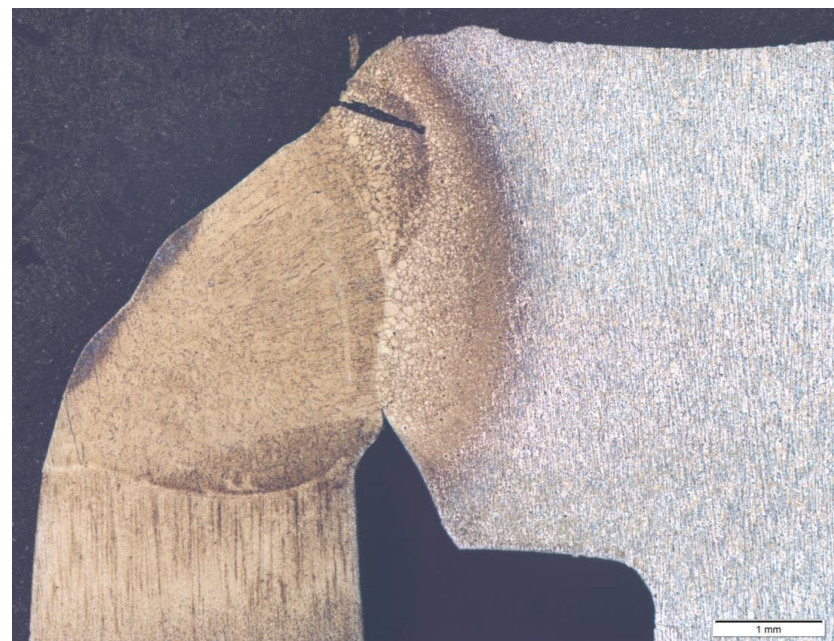
RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE MICROSCÓPICA – REGIÃO DA SOLDA.

Nota-se na região da solda, seta vermelha, a formação de uma trinca na região interna da barra, que cresce na direção do metal base.



Nota-se uma trinca nascendo na região da ZTA do lado externo da barra e caminhando em direção ao metal base.



Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ALAVANCA PROTÓTIPO 4

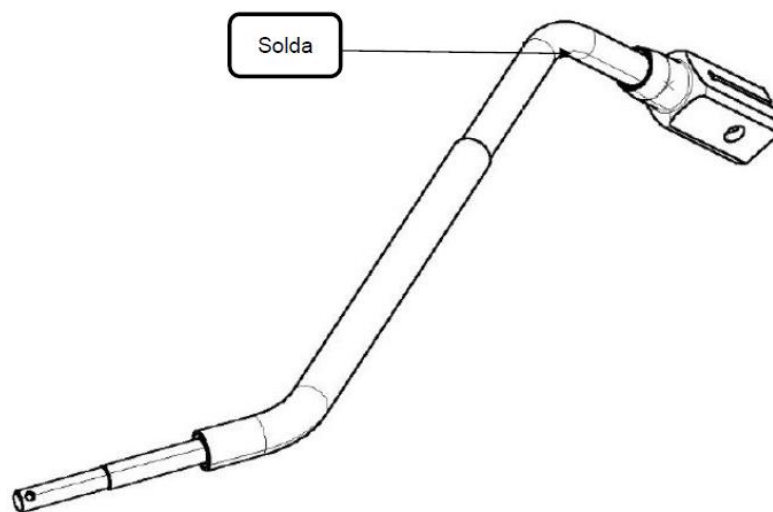
Após a identificação da nucleação da trinca no cordão de solda, foi produzida uma nova peça do mesmo fornecedor, com uma melhor execução da solda.

O teste foi reproduzido no mesmo veículo no campo de provas, obtendo como resultado a finalização de 4.452 ciclos, correspondendo a 111% do total sugerido, ou seja, 445.000 km, sendo aprovado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

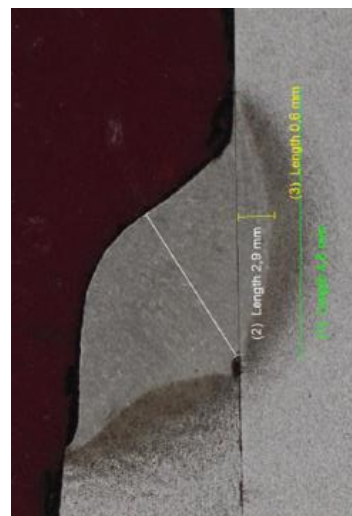
CARACTERIZAÇÃO PROTÓTIPO 4

- Ensaio líquido penetrante;
- Dureza Brinell;
- Análise macroscópica da solda ;
- Análise Microscópica;



Fonte: Autor (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES



Junta
aprovada

Junta
quebrada

Legenda	Especificado (mm)	Encontrado (mm)
 f_i – Profundidade de penetração na chapa	$f \geq 0.2$	$f = 0.6$
 b_i – Largura da penetração na chapa	$b \geq 3$	$b = 4.6$
S_N – Menor espessura da garganta	-	$S_N = 2.9$

Fonte: Autor (2022).

CONCLUSÃO

Utilizando softwares de simulação, foi possível validar o melhor design e determinar os materiais a serem utilizados na confecção do protótipo, sendo fundamental para certificação atendendo os requisitos de engenharia, e validação comprovada em campo. O design 1 com material SAE 1018 CD, perfil tubular e em barra foi aprovado com 4.452 ciclos de rodagem em testes de certificação, equivalente a mais de 400.000 km. Atualmente, esse conceito de alavanca está em produção no México, com mais de 20.000 veículos produzidos e sem falhas.

Veículos no México em 12/03/2025



OBRIGADO!

PRÓXIMOS PASSOS

Com foco nas condições de trabalho do condutor e também no custo de manutenção do veículos, o cenário atual para câmbios mecânicos é utilizar um sistema com auxílio pneumático no acionamento com sistema a cabos invés de alavanca do tipo comando direto, tema dessa dissertação, e também cada vez mais utilização de câmbios automáticos, sendo esses tendo seu custo reduzido cada vez mais proporcionando assim sua utilização em larga escala para veículos utilitários e comerciais.