

Introdução

Este relatório tem como objetivo deixar arquivado o que foi definido para o projeto de disco de freio no ano de 2020. Este relatório faz parte de uma série de relatórios feitos ao longo do ano, e que se encontram no drive de 2020 em: *Dinâmica Veicular > Freios > Freios_Projetos_2020 > Disco 2020*.

O último relatório que continha informações acerca do desenvolvimento do projeto foi o Relatório de Projeto Inicial, feito em abril de 2020, e continha os primeiros passos do disco de 2020. Este presente relatório seria um “relatório de projeto final”, para fechar a fase de projeção e dar instruções para a fabricação, tendo em vista que a mesma será realizada apenas em 2021, quando já estarei de fora da equipe, devido ao encerramento do meu ciclo como membro.

Os tópicos abordados neste relatório serão descritos abaixo, e não apresentam ordem cronológica. A ordem foi escolhida para facilitar a compreensão, caso se queira entender e se aprofundar na cronologia do projeto, recomendo acesso ao Asana de Freios em 2020, cujo link: <https://app.asana.com/0/1154297867467474/1194942765065312>. Caso haja algum problema com acesso à plataforma, entre em contato comigo ou com algum membro de Dinâmica Veicular ou gerente em 2020. Meu número e poli-mail se encontram ao final deste relatório.

- Flange
- Flutuações
- Ondulações
- Espessura do disco
- Escolha do Material
- Evolução das Geometrias
- Resultados finais das simulações
- Fabricação

Flange

No começo do ano, foi cogitada a utilização de uma flange no projeto do disco. Tal peça, sugerida pelo professor Castro Pinto, seria fixa ao cubo e flutuante em relação ao rotor (parte do disco que entra em contato com a pastilha). Junto ao cubo, a peça seria fixa com parafusos, enquanto as flutuações poderiam ser feitas como já são implementadas na equipe, desmontáveis, ou não, como em muitas motos comerciais.

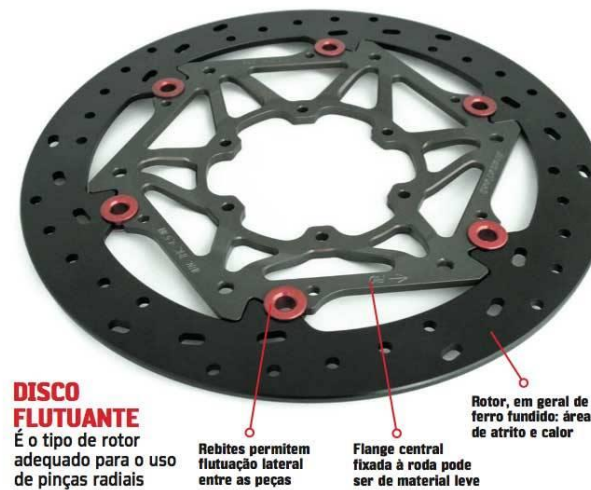


Figura 01: Exemplo de disco de moto comercial com flutuação não desmontável

Ao longo do projeto, essa ideia foi abandonada, por alguns motivos. Primeiramente, após conversar com algumas equipes de F-SAE do Brasil, foi possível perceber que a grande maioria delas não possui flange no disco. Além disso, a flange adicionaria mais fixações ao conjunto, o que torna o projeto mais complexo, uma vez que na história da equipe já tivemos problemas com perda de rosca no cubo de roda, antes de utilizarmos parafuso prisioneiro para fixar as rodas ao cubo. Por fim, não temos conhecimento de como fabricar as flutuações não desmontáveis, logo o projeto com as mesmas se tornaria mais arriscado. Sendo assim, concluímos que a flange representaria um aumento de dificuldade do projeto, que poderia não se pagar em ganhos.

Flutuações

No começo do projeto, tínhamos como ideia principal, aumentar o número de flutuações de 4 para 6, pois acreditávamos que o problema dos discos do F-18 e F-19, seria o número reduzido de flutuações. Porém, devido a geometria do cubo de roda, não foi possível aumentar a quantidade de flutuações. Sendo assim, mantivemos 4 flutuações.

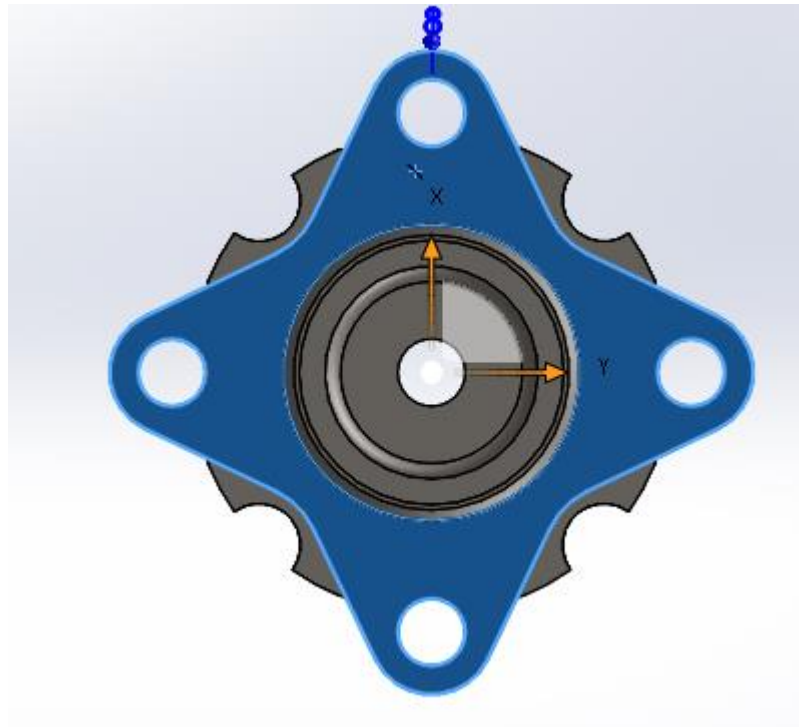


Figura 02: Cubo de roda. Região da fixação em destaque.

Devido a essa geometria, com 6 flutuações nós teríamos o problema de montagem que possuíamos quando nosso disco possuía 5 flutuações. Para contornar esse problema, pensei em aumentar a distancia das flutuações ao centro do cubo, possibilitando que o disco passasse ao redor dessa parte do cubo. Porém, isso não permitiria a utilização dos parafusos prisoneiros para fixar as rodas, uma vez que não haveria espaço para se introduzir os parafusos. Como os prisoneiros foram um avanço muito positivo para Suspensão, optei por descartar tal ideia. Devido a esses fatores, foram mantidas 4 flutuações.

Com o número de flutuações definido, havia mais uma questão a se definir: qual seria o diâmetro? Para responder essa pergunta, decidi primeiramente fazer uma simulação mais simplificada, aplicando um momento nas faces do disco e fixando a região das flutuações com dois tipos de fixação: *Fixed* e *Compression Only*. Comparei as tensões com diâmetros de 8 até 16 mm, variando de 2 em 2 mm, para as flutuações.

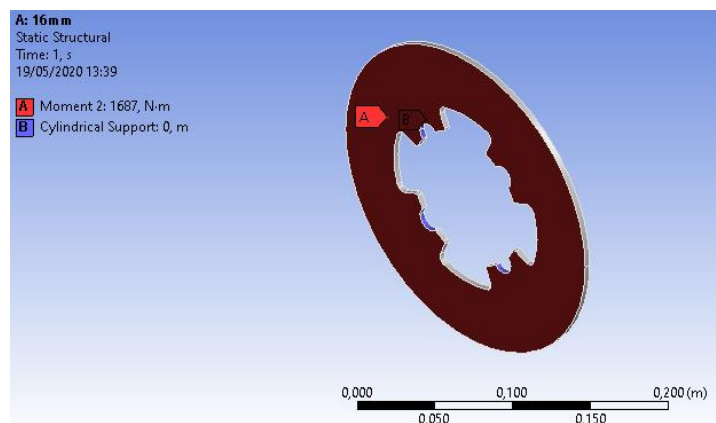


Figura 03: Simulação para comparação do diâmetro das flutuações

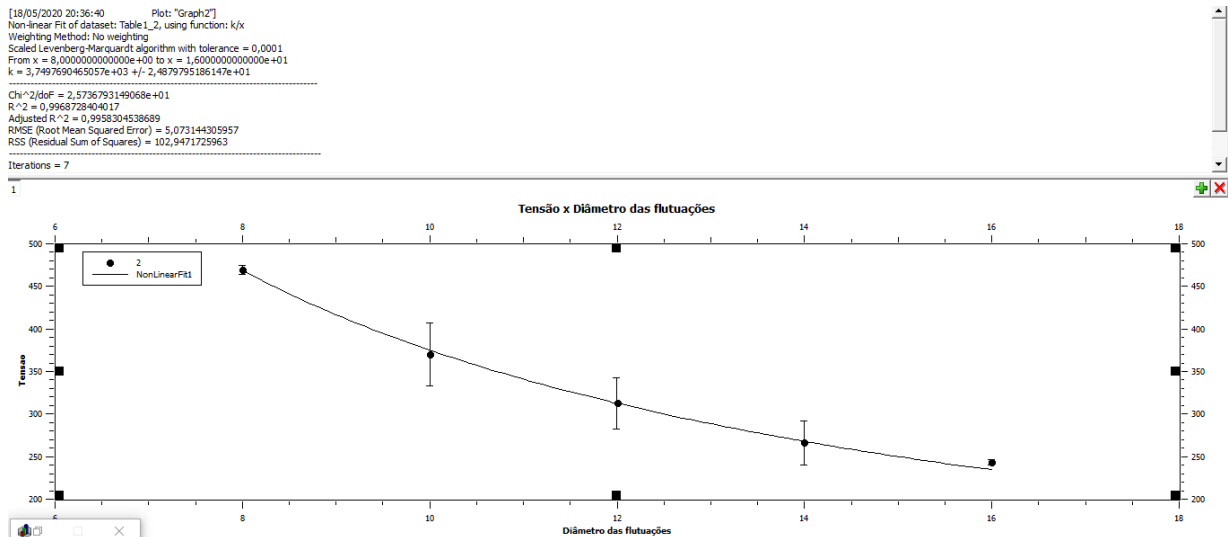


Figura 04: Gráfico tensão x diâmetro da flutuação (Fixed)

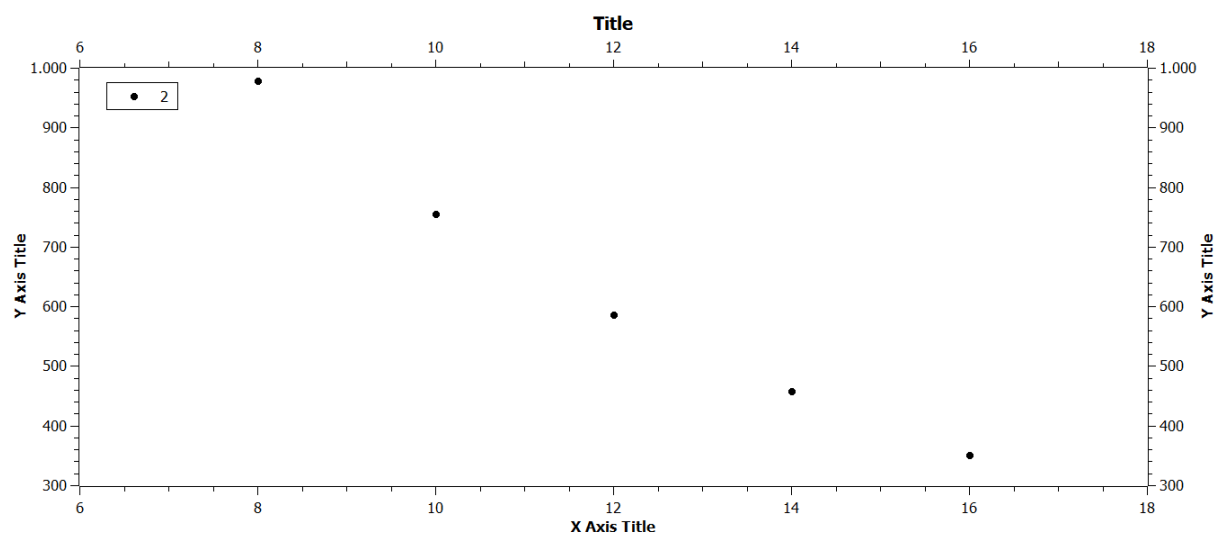


Figura 05: Gráfico tensão x diâmetro da flutuação (Compression Only)

O diâmetro escolhido foi 16mm. Por dois motivos: a menor tensão gerada na região de apoio com os discos e o anel elástico compatível resistiria a uma maior carga. O primeiro motivo podemos observar pelos gráficos, enquanto o segundo é possível ser observado nas tabelas de normas para anéis elásticos. Existem duas normas para anéis externos, a DIN 6799 e a DIN 471, que podem ter suas tabelas facilmente na internet. Existem algumas tabelas dessas no drive de 2020 em: *Dinâmica Veicular > Freios > Material_De_Consulta > Disco de Freios > Flutuações*. Essas normas descrevem também as tolerâncias permitidas dos eixos e ranhuras nas quais são colocadas, fato este que não foi respeitado em 2019. Por questão de maior disponibilidade em São Cristóvão, os anéis escolhidos foram da norma DIN 471.

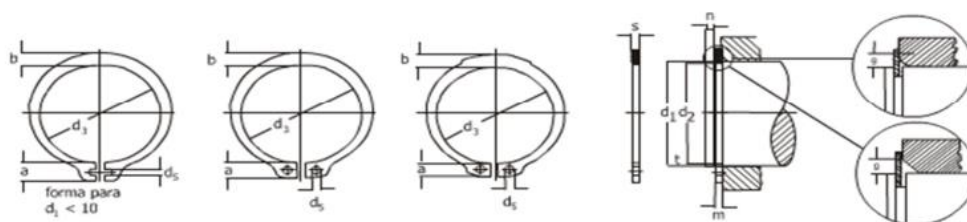


Figura 06: Parâmetros norma DIN 471

	ANEL								RANHURA				DADOS COMPLEMENTARES									
Código Reno para encomenda	d ₁	e	d ₃	Tol.	a max.	b m	d ₅ min.	Peso Kg/1000	d ₂	Tol.	m	t	n min.	P _N (Kg _f)	P _R (Kg _f)	g máx.	P _{Ra} (Kg _f)	F _{N2} (mm ²)	K (Kg _f mm)	n. adm. (RPI)		
501.003	3	0,40	2,7	+0,04-0,15	1,9	0,8	1,0	0,017	2,8	-0,04	0,50	0,10	0,3	15	47	0,5	27	0,9	206	360000		
501.004	4	0,40	3,7	+0,04-0,15	2,2	0,9	1,0	0,022	3,8	-0,04	0,50	0,10	0,3	20	50	0,5	30	1,2	193	211000		
501.005	5	0,60	4,7	+0,04-0,15	2,5	1,1	1,0	0,066	4,8	-0,04	0,70	0,10	0,3	26	190	0,5	130	1,5	738	1540000		
501.006	6	0,70	5,6	+0,04-0,15	2,7	1,3	1,2	0,084	5,7	-0,04	0,80	0,15	0,5	46	340	0,5	210	2,8	1040	1140000		
501.007	7	0,80	6,5	+0,06-0,18	3,1	1,4	1,2	0,121	6,7	-0,06	0,90	0,15	0,5	54	516	0,5	290	3,2	1475	1210000		
501.008	8	0,80	7,4	+0,06-0,18	3,2	1,5	1,2	0,158	7,6	-0,06	0,90	0,20	0,6	81	520	0,5	290	4,9	1420	960000		
501.009	9	1,00	8,4	+0,06-0,18	3,3	1,7	1,2	0,300	8,6	-0,06	1,10	0,20	0,6	92	1110	0,5	610	5,5	3000	850000		
501.010	10	1,00	9,3	+0,10-0,36	3,3	1,8	1,5	0,340	9,6	-0,06	1,10	0,20	0,6	101	1060	1,0	340	6,2	2820	840000		
501.011	11	1,00	10,2	+0,10-0,36	3,3	1,8	1,5	0,410	10,5	-0,11	1,10	0,25	0,8	140	1010	1,0	310	8,4	2610	700000		
501.012	12	1,00	11,0	+0,10-0,36	3,3	1,8	1,7	0,500	11,5	-0,11	1,10	0,25	0,8	153	960	1,0	300	9,2	2400	750000		
501.013	13	1,00	11,9	+0,10-0,36	3,4	2,0	1,7	0,530	12,4	-0,11	1,10	0,30	0,9	200	940	1,0	290	11,9	2320	660000		
501.014	14	1,00	12,9	+0,10-0,36	3,5	2,1	1,7	0,640	13,4	-0,11	1,10	0,30	0,9	215	950	1,0	295	12,9	2290	580000		
501.015	15	1,00	13,8	+0,10-0,36	3,6	2,2	1,7	0,670	14,3	-0,11	1,10	0,35	1,1	266	915	1,0	285	16,1	2160	500000		
501.016	16	1,00	14,7	+0,10-0,36	3,7	2,2	1,7	0,700	15,2	-0,11	1,10	0,40	1,2	326	910	1,0	285	19,6	2100	450000		
501.017	17	1,00	15,7	+0,10-0,36	3,8	2,3	1,7	0,820	16,2	-0,11	1,10	0,40	1,2	346	960	1,5	300	20,8	2160	410000		
501.018	18	1,20	16,5	+0,10-0,36	3,9	2,4	2,0	1,110	17,0	-0,11	1,30	0,50	1,5	458	1700	1,5	375	27,5	3710	390000		
501.019	19	1,20	17,5	+0,10-0,36	3,9	2,5	2,0	1,220	18,0	-0,11	1,30	0,50	1,5	484	1700	1,5	380	29,1	3640	350000		
501.020	20	1,20	18,5	+0,13-0,42	4,0	2,6	2,0	1,300	19,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	506	1710	1,5	385	30,6	3630	320000		
501.021	21	1,20	19,5	+0,13-0,42	4,1	2,7	2,0	1,420	20,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	536	1680	1,5	375	32,2	3540	290000		
501.022	22	1,20	20,5	+0,13-0,42	4,2	2,8	2,0	1,500	21,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	565	1690	1,5	380	33,8	3540	270000		

Figura 07: Norma DIN 471, o anel escolhido em destaque.

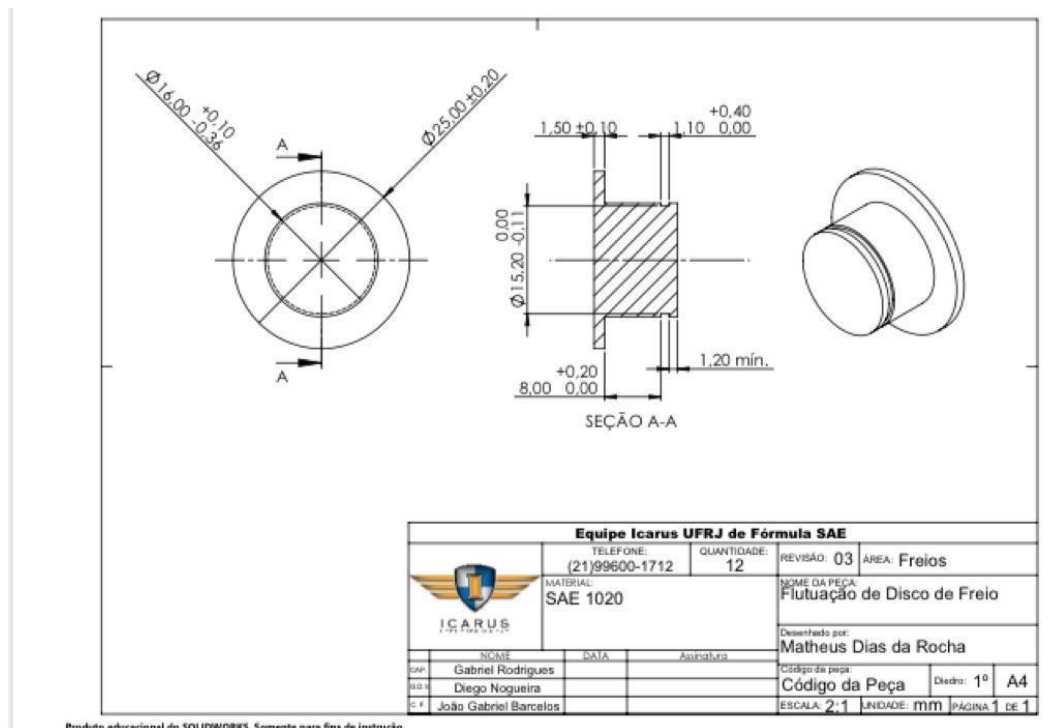


Figura 08: Desenho Técnico da flutuação.

Ondulações

Os discos feitos pela equipe possuíam ondulações na sua parte externa. Essas entradas foram adicionadas ao projeto da equipe, pois sem elas não é possível se desmontar a manga sem que seja desmontado o disco.



Figura 09: Discos feitos pela equipe com as ondulações

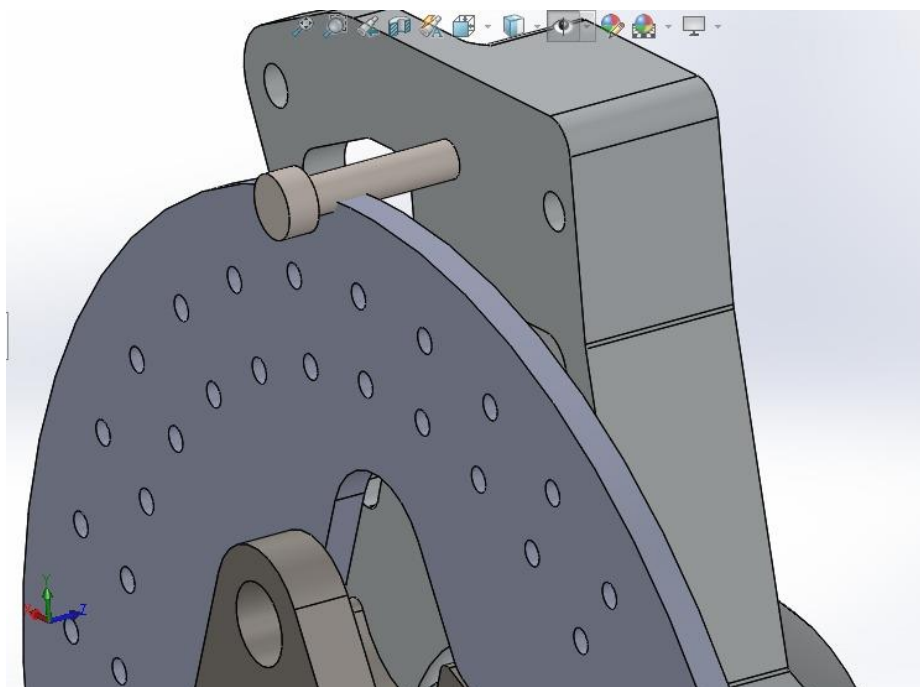


Figura 10: Parafuso que não consegue ser desmontado

Porém, as ondulações tiveram um pior comportamento segundo as simulações térmicas, além de diminuir a área de contato da pastilha com o disco, o que pode ser bastante prejudicial, porém não temos conhecimento sobre o assunto.

Para se chegar à decisão de adicionar as ondulações ou não, foi feita uma reunião com o pessoal de Suspensão, pois eles seriam os mais afetados em não se conseguir desmontar a manga. Como eles falaram que não seria necessário desmontar a manga a todo o momento, e caso necessário, a desmontagem do disco seria simples, optamos por não introduzir as ondulações. Como as mesmas apresentam uma única vantagem, facilidade de desmontagem da manga, e essa vantagem não se mostrou essencial, a decisão se mostrou bastante natural. Essa ideia surgiu a partir de um feedback do ex-capitão Lucas Varella.

Espessura do disco

O membro de transmissão Lucas Pessoa, responsável pelo projeto de cubo de roda neste ano, ao entrar em contato com o Seu Cilso, dono da Usetep (patrocinadora e local de fabricação do cubo), recebeu o conselho de se aumentar a espessura do local de apoio das flutuações, de 4 mm para 7 ou 8 mm. Essa mudança visaria mitigar os empenos que ocorreram no cubo atual que está no carro e afetaria também o disco, que deve possuir a mesma espessura.

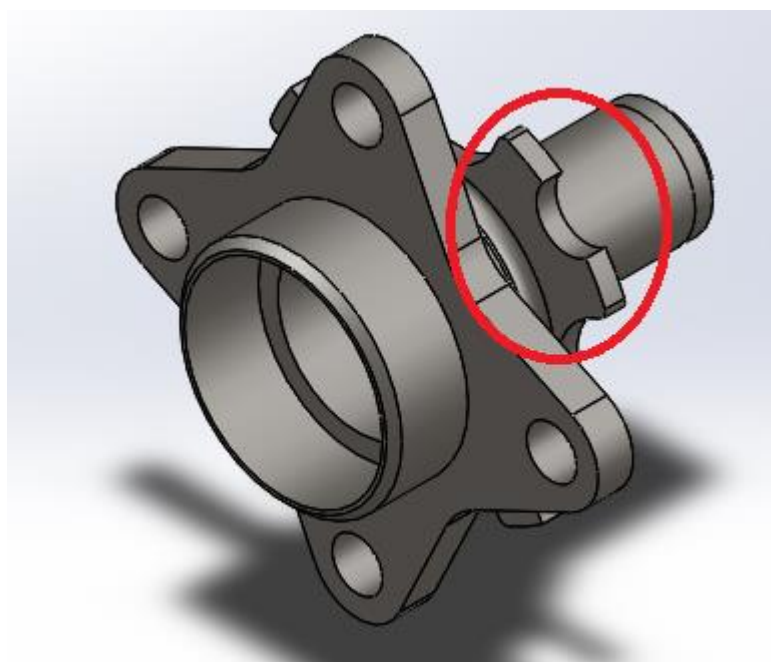


Figura 11: Local de apoio das flutuações



Figura 12: Cubo atual empenado

Foram feitas simulações com 3 espessuras: 4, 5 e 6 mm. Essas foram as espessuras escolhidas pois são espessuras usuais de chapas comerciais, e como o espaço entre o cubo e o suporte da pinça é muito apertado, alguma coisa maior que 6 mm já poderia nos causar problemas. Uma planilha contendo os resultados das simulações se encontra no drive de 2020 em: *Dinâmica Veicular > Freios > Freios_Projeto_2020 > Disco 2020 > Planilhas*.

<div>  <div>Análise de espessuras Disco 2020</div> </div>													
Geometria	Volume (cm³)	Massa (g)	Varição	Tensão Mec	Varição	C.F (Mec)	Temperatura 1 freia	Varição	Temperatura estacionária	Varição	Tensão Termomec	Varição	C.F (Termomec)
Refino 4mm	106,35	834,21	0,00%	230,46	0,00%	3,330423538	254,38	0,00%	601,53	0,00%	618,91	0,00%	1,606043345
Refino 5mm	133,69	1042,782	25,00%	245,06	-17,83%	4,056143514	217,29	-14,58%	526,36	-12,40%	486	-21,47%	2,04526749
Refino 6mm	160,40	1251,354	50,00%	200,89	-31,69%	4,875177732	192,83	-24,20%	473,77	-21,24%	402,93	-34,90%	2,46692974
	0	-100,00%		-100,00%		##DIV/0!		-100,00%		-100,00%		-100,00%	##DIV/0!
	0	-100,00%		-100,00%		##DIV/0!		-100,00%		-100,00%		-100,00%	##DIV/0!
	0	-100,00%		-100,00%		##DIV/0!		-100,00%		-100,00%		-100,00%	##DIV/0!
Limite de escoamento do material		994											
Densidade do material (g/cm³)		7,8											

Figura 13: Tabela comparando as diferentes espessuras

Os melhores resultados foram apresentados pela geometria com 6 mm. Porém, acreditamos que um aumento de 50% na espessura (de 4 para 6), talvez fosse grande demais, uma vez que já apresentamos no passado recente da equipe problemas com as flutuações se chocarem contra o suporte da pinça. Por isso, optei por 5 mm, uma vez que aparentemente nos ajudaria na questão dos empenos sem comprometer demasiadamente o espaço entre flutuação suporte.

Escolha do Material

Ao fazer uma pesquisa com outras equipes, pude perceber que a maioria não utiliza aços inox para fazer seus respectivos discos, sendo que a maioria utiliza o aço carbono 1045. O ex membro João Rafael, projetista do disco em 2018, já havia me dado um feedback positivo para a troca de material do disco, então decidi pesquisar a cerca do material, para compará-lo com o aço 420 temperado e revenido que utilizamos.

Propriedades	Aço Inox 420 Temperado e Revenido	1045 Temperado e Revenido
Densidade (g/cm ³)	7,8	7,85
Módulo de Young (Gpa)	200	206
Coef. De Poisson	0,24	0,29
Limite de resistência a tração (MPa)	1420	1584
Limite de escoamento (MPa)	994	1069
Dureza (HB)	420	450
Calor Específico (J/g°C)	0,46	0,486
Condutividade Térmica (W/mK)	24,9	49,8
Coeficiente de expansão térmica a 100°C (µm/m°C)	10,3	11,5
Preço (BRL/kg em 2013)	2,58	1,2

Figura 14: Tabela comparando comparativa entre os materiais

Como se pode verificar pela tabela, os materiais apresentam propriedades mecânicas muito similares, porém o 1045 apresenta características térmicas mais interessantes (calor específico e condutividade térmica). A única desvantagem do 1045 seria eu maior coeficiente de expansão térmica, porém seu preço acredito que seja seu maior benefício. A depender do fornecedor, seu preço pode ser a metade ou até o terço do aço martensítico 420 que utilizamos.

Como uma das premissas da equipe em 2020 é o baixo custo, optei pelo 1045. Uma planilha comparando simulações com ambos materiais, assim como uma matriz de escolha de material (feita de maneira desonesta, com o objetivo de selecionar o aço escolhido previamente) pode ser encontrada no drive de 2020 em: *Dinâmica Veicular > Freios > Freios_Projeto_2020 > Disco 2020 > Planilhas*.

Evolução das Geometrias

Ao ler relatórios de discos passados, senti falta de passos intermediários quando se tratava da geometria do disco. Por isso, irei dedicar esta seção para apresentar as inúmeras geometrias que foram concebidas durante esse ano.

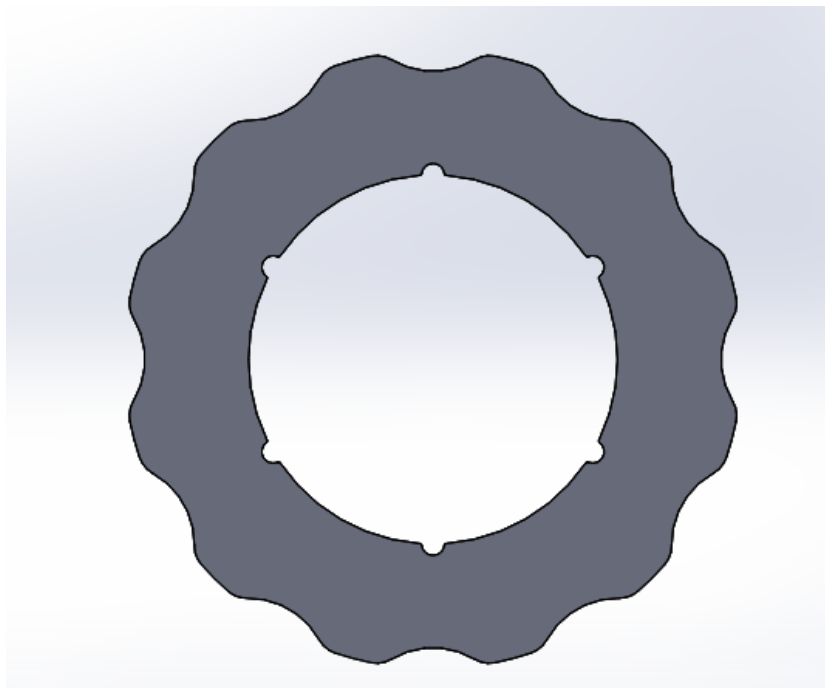


Figura 15: Uma das primeiras versões do disco

Ao iniciar o projeto, pensávamos em utilizar 6 flutuações, como foi dito. Além disso, as flutuações estavam posicionadas a uma distância maior do centro, pois ainda estávamos cogitando utilizar flange. Quando descartamos a possibilidade de utilizarmos a flange, e optamos por retirar as ondulações, fizemos os estudos para definir o diâmetro das flutuações, porém a sua quantidade passou a 4.



Figura 16: Versão com 16 mm de diâmetro de flutuação

A versão acima apresenta um ângulo bem fechado em sua parte interna, por isso passei para a seguinte geometria.



Figura 17: Versão com ângulos maiores

A versão acima foi a primeira a ter simulação térmica. Ela ainda apresentava uma tensão grande na parte interna. Para mitigar essa tensão, além de facilitar ainda mais a montagem, tive a ideia de utilizar a própria geometria do cubo de roda, ampliada em 1,1x.

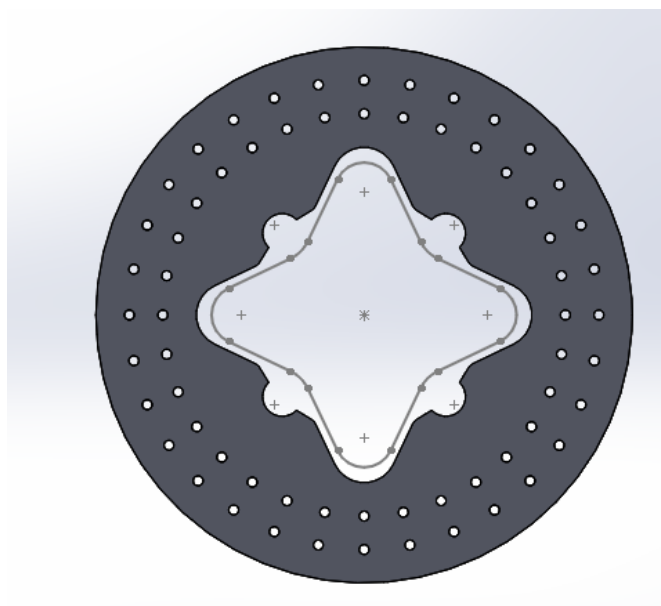


Figura 18: Versão com geometria do cubo, alívios adicionados.

Como pode ser visto na foto, é possível ver que nessa geometria foram adicionados furos com 4mm de diâmetro. Foi com essa versão que foram feitas as análises de espessuras e de material. Uma vez que ambos foram definidos, busquei refinar mais disco, principalmente na região perto dos apoios das flutuações.

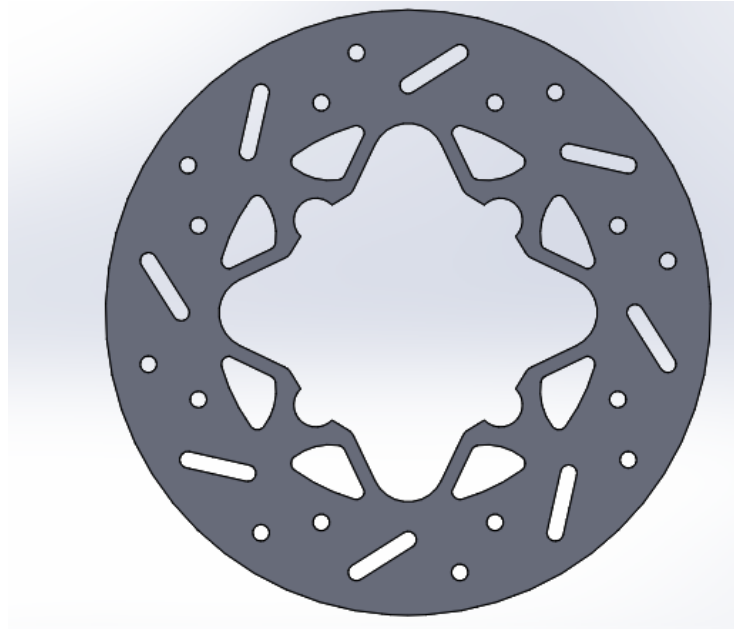


Figura 19: Versão muito refinado

Como essa geometria apresentou muitas mudanças, acabei ficando sem referência sobre como melhorar a geometria, que apresentou resultados ruins. Para poder ser mais assertivo, retirei os refinamentos perto da flutuação (“bracinhos”) e tinha como objetivo primeiro definir a parte externa, que entra em contato com as pastilhas. Algumas configurações foram testadas e a que apresentou melhores resultados foi a configuração da figura 18. Os rasgos, como a figura 19 possui, e furos maiores apresentaram resultados piores segundo as simulações, o que é um pouco contra intuitivo. O único motivo que explica o fato é a expansão térmica. Com um diâmetro maior, e consequentemente uma área maior, a expansão absoluta será maior, o que leva a uma maior tensão.

Com a região externa definida, refinei a outra região. Baseei-me na geometria da figura 19, porém reduzi um pouco o refino e cheguei à geometria final.

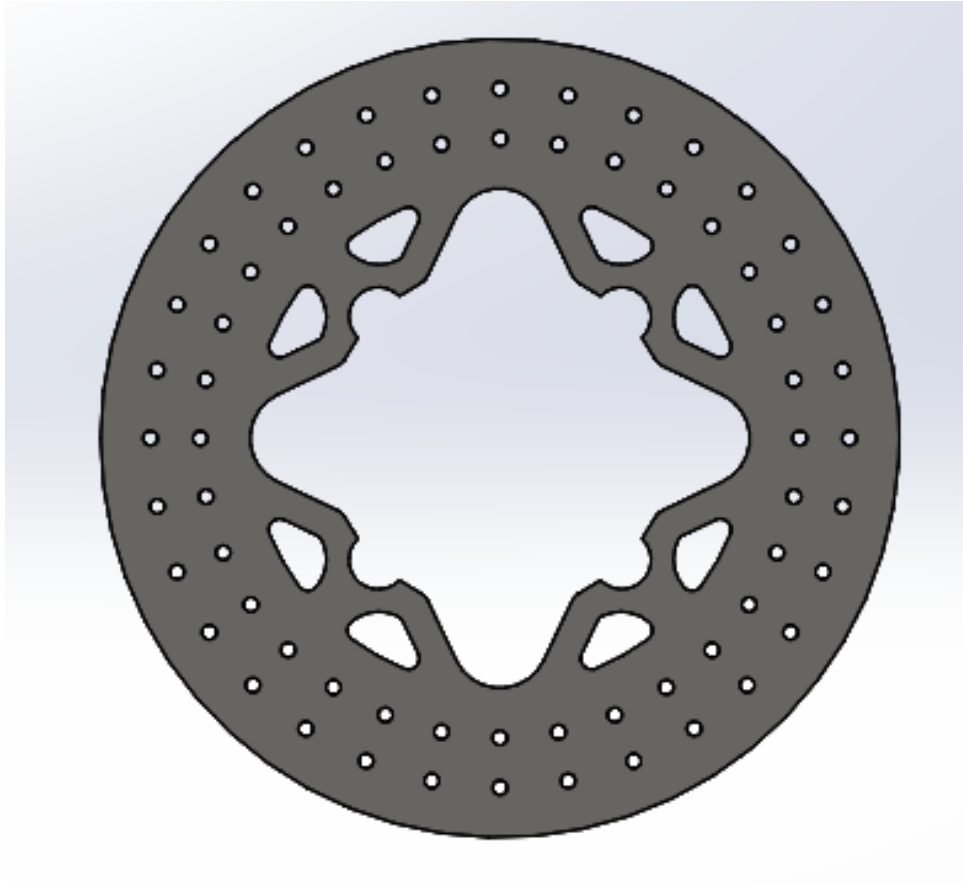


Figura 20: Versão final

Resultados finais das simulações

Essa seção tem como objetivo, além de apresentar os resultados obtidos nas simulações com a geometria final do disco, analisa-los brevemente. O limite de escoamento do aço 1045 temperado e revenido utilizado para o cálculo de fator de segurança foi de 1069 Mpa.

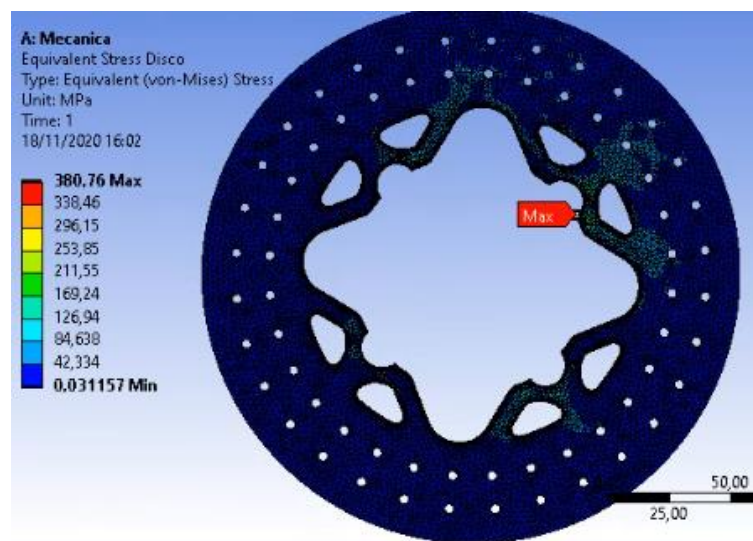


Figura 21: Resultado simulação mecânica

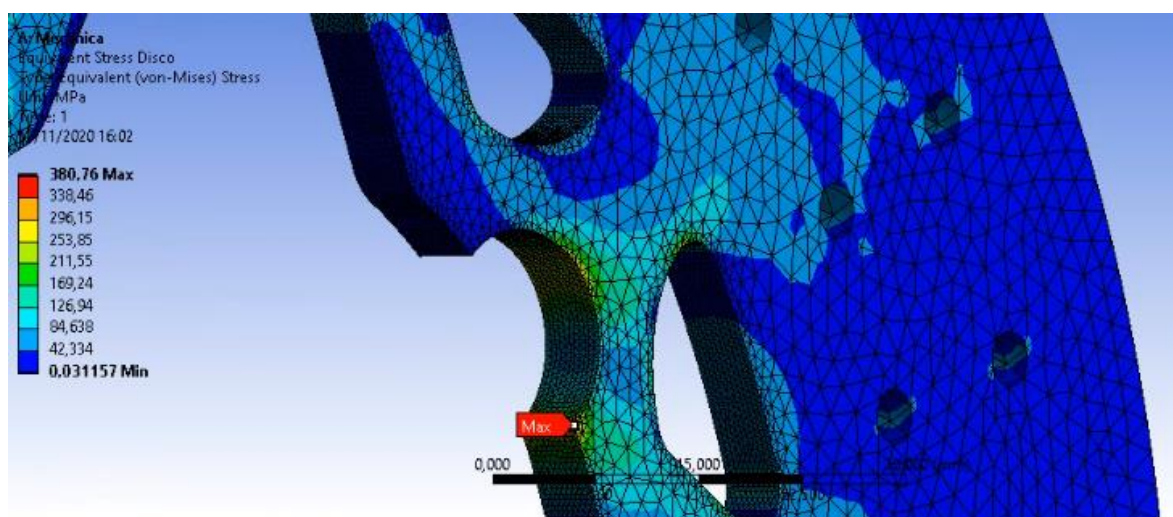


Figura 21: Detalhe simulação mecânica

F.S: 2,8

Podemos ver que as tensões no disco devido ao torque de frenagem são bem pequenas, segundo a simulação. O ponto de tensão máxima é muito concentrado e em uma região de geometria “ponteaguda”, o que provavelmente impute erros a simulação. Além disso, acredito que a região não seja crítica ao projeto, devido sua rigidez.

Simulação Térmica

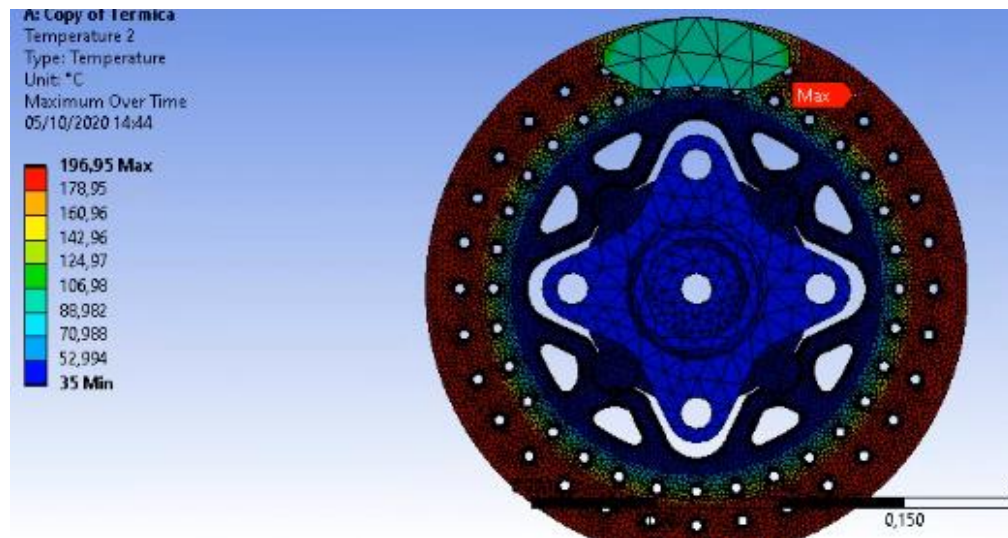


Figura 22: Resultado simulação térmica com 1 frenagem

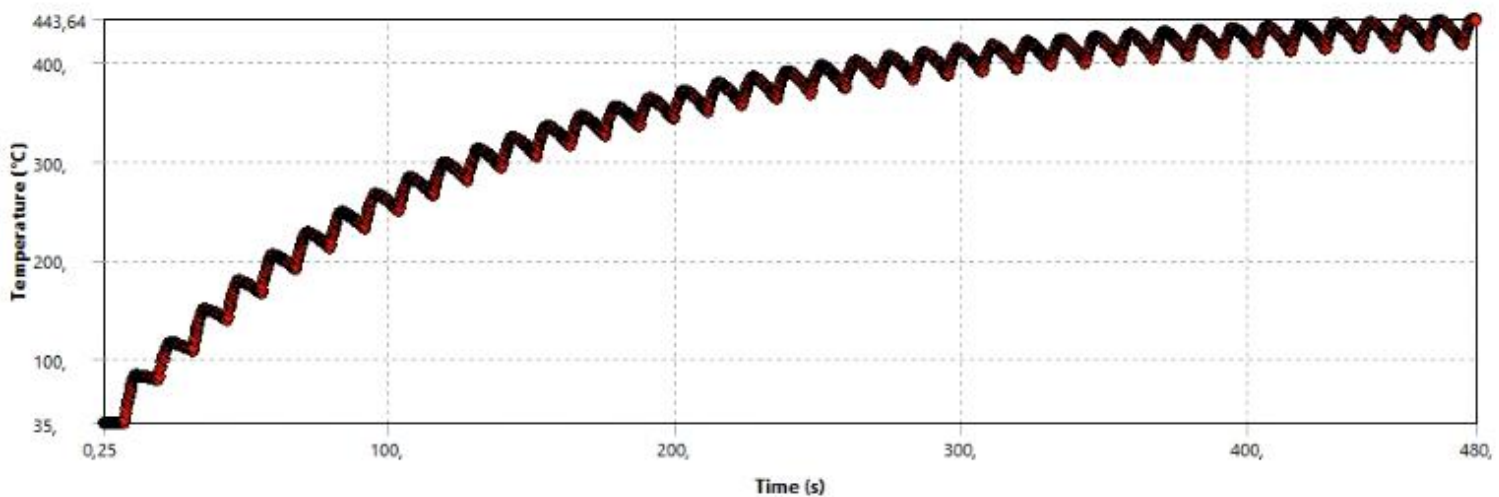


Figura 23: Resultado simulação térmica com múltiplas frenagens

Esses resultados aparentam ser muito altos, porém foram utilizados em situações extremas, ou em uma frenagem brusca ou em uma quantidade absurda de frenagens subsequentes. Acredito que no ano que vem, com um tempo maior para os treinos, possamos nos aprofundar melhor na captação de dados sobre frenagem e a temperatura dos discos.

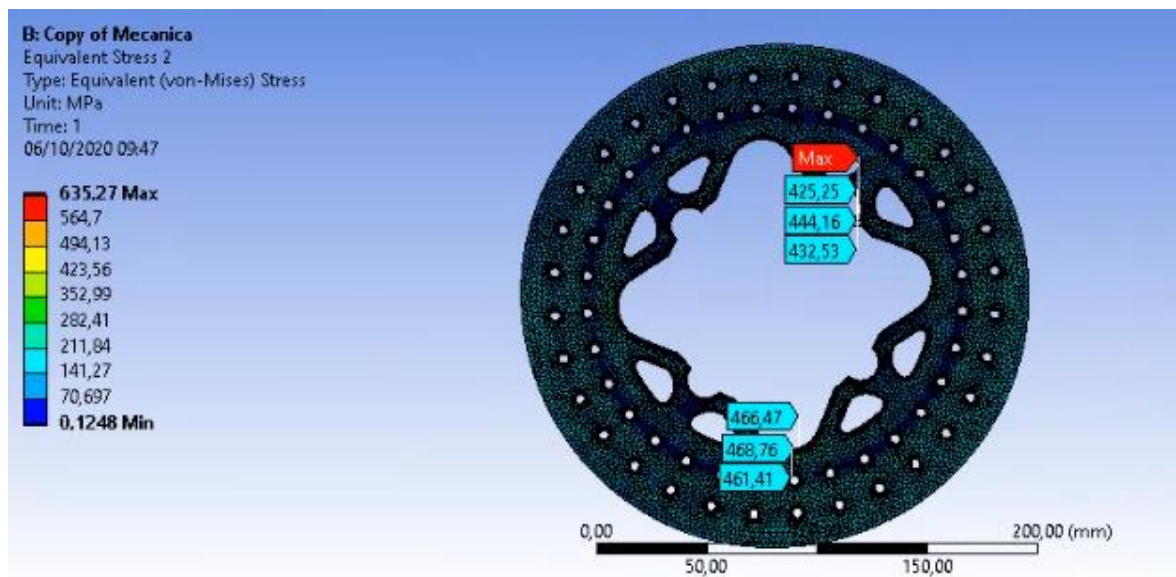


Figura 24: Resultado simulação termomecânica

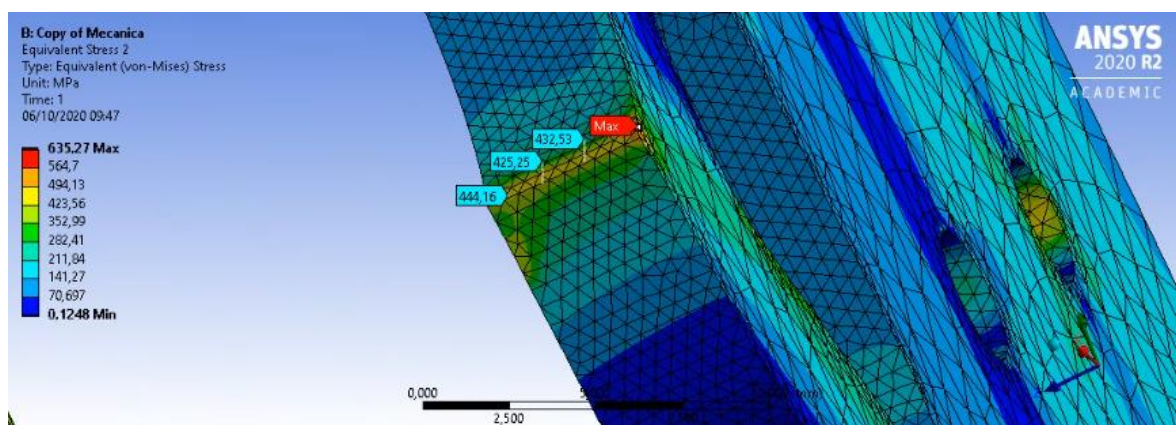


Figura 25: Detalhe flutuação

Assim como na simulação mecânica, a região de máxima tensão é praticamente um ponto. Como é possível ver na figura 25, a tensão ali perto já é bem menor, por isso utilizei a outra região de maior tensão para calcular o fator de segurança.

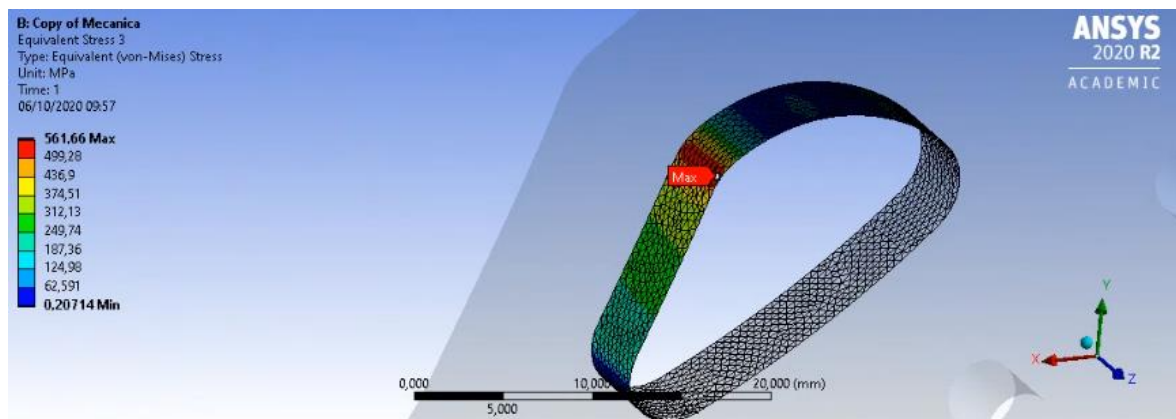


Figura 26: Detalhe região dos bracinhos

F.S: 1,9

O fator de 1,9 é bem próximo ao de 2,0, que fora estipulado como objetivo do projeto.

Fabricação

É de responsabilidade de freios, além da fabricação do disco em si, fabricar as flutuações. Por isso, irei dividir essa seção para retratar o que foi feito em relação aos seguintes tópicos: flutuações, corte do disco e tratamento térmico do disco.

Flutuações

Um dos objetivos do projeto é aumentar sua confiabilidade. Para isso, necessitamos de um disco de freio que não se desmonte ao frear (problema do projeto passado), ou seja, precisamos que a interação flutuação com disco, cubo e anel elástico seja muito bem feita. Como mostrado anteriormente, os anéis elásticos possuem normas bem claras, que determinam as medidas e tolerâncias do eixo e do rasgo nos quais é utilizado. Esse conhecimento não existia na equipe (até onde eu sei), por isso para o próximo disco queremos fabricar as flutuações com o máximo de precisão e respeito às normas possível. Com isso, foi cogitado terceirizar o serviço, com a contratação de um torneiro profissional, porém essa ideia foi descartada devido ao custo. O menor orçamento que recebi foi de R\$ 30,00 /peça, o que daria um total de R\$480,00. Como o tarugo necessário para a fabricação (1 pol.) custa R\$ 150,00 o varão de 6 metros (orçamento feito na Duas Pátrias), optamos por fabricar as peças internamente.

Vale ressaltar que os torneiros contatados são profissionais ou empresas de fora da UFRJ. Devido a pandemia, a maioria dos laboratórios da universidade está fechados, porém em um momento futuro, quando as coisas retornarem a seu estado normal, é extremamente interessante procurar algum técnico ou torneiro por perto, que possivelmente faça o serviço com um custo baixo ou até de graça. Para orçar a peça é necessário realizar o desenho técnico contendo as tolerâncias.

Corte do disco

As principais formas de se cortar chapas são: corte a laser e corte a jato d'água. Ambas já foram utilizadas na equipe, porém apresentam algumas diferenças. Não irei ser técnico (até porque não possuo todo esse conhecimento), mas a vantagem de se cortar a água, é a não criação de ZTA (zona termicamente afetada). O plasma do corte a laser gera essas zonas, que representam zonas cuja microestrutura da liga pode ter sofrido alguma alteração, acarretando em mudanças pontuais de propriedades, o que é totalmente indesejável. Porém, a grande vantagem do corte a laser é seu menor custo se comparado ao corte a água.

Para se orçar o corte do disco, é necessário enviar a vista frontal do mesmo em .DWG ou em .DXF, que podem ser obtidas pelo SolidWorks, salvando como nestas extensões. Acho importante abrir o arquivo gerado em um AutoCad para ver se está tudo correto.

Enviei os CAD's nos formatos citados para algumas empresas, cotando o corte de 3 discos, e os orçamentos foram os seguintes:

Nome da Empresa	Tipo de corte	Preço do corte (total, 3 unidades)	Inclui material	Preço do material
MRT Busmar	Jato d'água	R\$ 1147,89	Sim	192,93

LGV	Jato d'água	R\$ 1751,13	Não	N/A
CalMetal	Laser	R\$ 591,00	Sim	Incluso no corte
OPMAC	Jato d'água	R\$ 690,00	Não	N/A

Das empresas acima citadas, as que ficaram interessadas em apoiar a equipe foram a MRT Busmar e a OPMAC. A primeira pediu para que retornasse o contato no futuro, pois devido à pandemia estão passando por problemas financeiros. A segunda empresa já nos apoiou em 2018 com o corte dos discos, então manter essa relação seria interessante. Com a MRT Busmar, tentamos contato pelo e-mail mas só obtivemos resposta quando enviei os CAD's pelo meu poli-mail. Já com a OPMAC, o contato foi feito pelo e-mail da equipe.

Acredito que a melhor opção seria realizarmos com a OPMAC, uma vez que já realizamos anteriormente o serviço com eles, além de como iremos fornecer o material, podemos testar o mesmo antes da fabricação, para garantir que o mesmo possui as características que desejamos. Ao comprar o material diretamente da empresa de corte, não conseguimos garantir, antes do corte que o material utilizado seja aço carbono 1045 ou um outro qualquer. A única exigência da OPMAC é que a chapa deve possuir dimensão mínima de 700x300 mm.

Tive uma grande dificuldade em orçar chapas de 1045 com 5 mm de espessura. Só obtive o retorno de uma empresa que possuía chapas de aço que poderíamos utilizar. A empresa se chama Tenax e o orçamento deles, para uma chapa de 3/16" (4,76 mm) com dimensões de 800x400 mm, foi de R\$ 190,00. Outras empresas só possuíam chapas com espessuras maiores. Idealmente a chapa orçada não seria utilizada, pois não possui os 5 mm desejados pelo projeto, porém acredito que sua utilização é válida, uma vez que a diferença entre as espessuras é menor que 5%. Caso o negócio seja fechado, novas simulações podem ser feitas para se verificar o fator de segurança da peça.

Tratamento Térmico

O tratamento térmico realizado em 2018 pela equipe nos discos (Têmpera e Revenimento) foi realizado no Laboratório de Laminação e Tratamentos Térmicos, cujo orientador em 2018 era o professor Juan Garcia de Blas (jgarcia@metalmat.ufrj.br). Enviei um e-mail para o professor para o professor, porém não obtive retorno, e fiquei sabendo que o mesmo não está frequentando o Laboratório pois é grupo de risco para o COVID e o mesmo se encontra fechado desde março. Recebi a orientação de alguns alunos de Metalurgia de entrar em contato a professora Rafaella Martins Ribeiro (rafaella@poli.ufrj.br) para realizar o serviço. Segundo esse grupo de alunos, a professora possui em seu laboratório um forno para tratamentos térmicos, além de ser muito solícita. Estou entrando em contato com ela por e-mail e pelo seu LinkedIn. Esses professores podem nos auxiliar na realização do tratamento, não só com a disponibilidade do forno, mas também com o conhecimento.

Ao se realizar a compra do material é necessário que o fornecedor especifique o fabricante do aço, para que possamos entrar em contato com o mesmo pedindo informações pertinentes sobre a realização do serviço.

Segundo o professor Célio Albano, o problema das ZTA's causadas pelo corte a laser pode ser corrigido com o tratamento térmico, dependendo da forma como for feito. Caso se coloque a peça em um tempo suficientemente na temperatura de austenização, antes de se realizar a têmpera e o revenimento. Portanto, em uma eventual proposta de patrocínio para corte a laser, tornando o projeto

com um custo consideravelmente menor, já sabemos como contornar os problemas causados pelo tipo de corte.

Conclusão

A equipe no ano de 2020 possui 3 premissas: confiabilidade, simplicidade e baixo custo. As duas últimas, acredito que tenham sido atendidas plenamente, uma vez que em todo o projeto, soluções complexas foram evitadas, focando sempre em dar continuidade no trabalho que já vinha sendo desempenhado; além de conseguir, quando possível, reduzir o custo do material e dos serviços, mantendo qualidade. Sobre a confiabilidade, acredito que não pude concluí-la 100%, uma vez que aumentei o tamanho das flutuações, porém não há como se garantir que as mesmas não possam se desmontar no momento da frenagem. Pensar em uma forma de estudá-las pode ser o principal ganho por projeto, porém acredito que seja extremamente complexo, o que provavelmente deve nos levar a um processo de tentativa e erro.

Acredito que durante a parte de projeto, foquei muito na parte das simulações, tentei a todo o momento aprimorá-las e deixá-las um patamar acima. Acredito que tenha dado o meu melhor, e tenho certeza que entrego as simulações melhores e com mais material de estudo (relatórios e vídeos), mas não posso deixar de dizer que pude fazer isso devido às limitações que tivemos nesse ano de pandemia, além do trabalho excelente de membros anteriores a mim. Quem pegar o projeto de disco no futuro deve sempre aprimorar o trabalho que já possuímos, numa constante evolução. Para as simulações, acredito que mais esforços deveriam ser gastos não na forma como fazemos as mesmas, mas sim quais os inputs numéricos devem ser colocados. Acredito que o modelo teórico já é bom, mas acho que falta conhecimento sobre os valores que colocamos, como: força, torque, taxa de calor, convecção, e etc. Isso pode ser feito ano que vem, junto dos treinos, onde podemos adquirir os dados de aceleração e também de temperatura dos discos. Outra coisa boba que devemos fazer, que era feito na equipe, é testar os materiais que utilizamos, para saber verdadeiramente quais são as propriedades dos mesmos.

Porém, acredito que poderia ter sido mais cauteloso com a fabricação. Acho que minha falta de conhecimento sobre materiais atrapalhou um pouco o começo do projeto, então recomendo fortemente que quem pegue esse projeto no futuro, tenha alguma noção (cursei a matéria de Princípio da Ciência dos Materiais – PCM e me ajudou bastante). Como seria inviável fabricarmos neste ano o disco, acabei por relaxar de certa maneira com esse quesito.

Além do mais, só consigo enxergar o disco dando uma grande mudada, caso o projeto do cubo de roda seja totalmente alterado. Um projeto única porca (*“single nut”*) tornaria o projetista do disco muito mais livre, podendo trabalhar com menos restrições. Por mim, enquanto mantivermos do jeito que tá, só conseguiremos manter facilidade de montagem se optarmos por 4 flutuações, ou utilizarmos flange.

Por fim, acredito que eu já tenha comentado tudo que consigo lembrar sobre dicas para o futuro. Neste último parágrafo gostaria de agradecer a todos os membros da equipe de 2020 pela ajuda neste ano e principalmente aos ex-membros Lucas Varela, Felipe Rodrigues, Eduardo “Duduzinho” Araújo e Leonardo Rezende. Também não poderia deixar de agradecer ao Philippe Egmont e ao Bruno Seixas, consultor técnico da SIMEC, por terem me ajudado imensamente junto com as simulações do disco.

19 de novembro de 2020

MATHEUS DIAS DA ROCHA
MEMBRO DE FREIOS
M-DIASDAROCHA@POLI.UFRJ.BR

