

# DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DE UM DISCO DE FREIO DIRECIONADO À UM VEÍCULO FORMULA SAE\*

Carolina Berton Sanches<sup>1</sup>  
Vinícius de Araújo Salmazo<sup>2</sup>  
Miguel Ângelo Menezes<sup>3</sup>

## Resumo

O objetivo do presente trabalho é apresentar a metodologia empregada no projeto de um disco de freio para um veículo Formula SAE, analisando-se possíveis materiais a serem empregados, geometrias favoráveis a durabilidade e eficiência dos mesmos, simulações estruturais sobre todo o conjunto idealizado. Além disso, descreve-se as condições e características do processo de fabricação do componente desenvolvido escolhendo aquele voltado a produção de poucas unidades do componente apresentando acabamento final adequado, passando ainda por etapas finais de validação e testes dinâmicos sendo submetido a condições reais de operação.

**Palavras-chave:** Disco de Freio; Fabricação; Materiais; Corte a Laser; Formula SAE.

## DEVELOPMENT AND MANUFACTURING OF A BRAKE DISC FOR A FORMULA SAE VEHICLE

### Abstract

The current assignment presents the methodology used in the design of a brake disc for a Formula SAE vehicle, analyzing possible materials to be used, geometries favorable to its durability and efficiency, structural simulations at the whole idealized set. In addition, the conditions and characteristics of the manufacturing process of the developed component are described, focusing on the production of a few units of the component, presenting adequate final finishing, passing through final stages of validation and dynamic tests being submitted to real operating conditions.

**Keywords:** Brake Disc; Manufacturing; Materials; Laser Cutting; Formula SAE.

<sup>1</sup> *Graduanda em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica - Área de Materiais e Processos de Fabricação, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP/FEIS), Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica - Área de Materiais e Processos de Fabricação, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP/FEIS), Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.*

<sup>3</sup> *Professor Assistente Doutor, Ph.D., Departamento de Engenharia Mecânica - Área de Materiais e Processos de Fabricação, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP/FEIS), Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um Formula SAE envolve o projeto, manufatura e testes na área de engenharia automotiva e, com a finalidade de validar as escolhas realizadas, torna-se importante a exequibilidade de toda concepção anterior. A competição abrange análise de projetos e relatórios específicos, além de testes estáticos de segurança e avaliação de desempenho dinâmico em percursos. Devido à isso, o desenvolvimento do presente trabalho, que abrange projeto e confecção de um melhor componente – baseado em histórico de equipe – é de suma importância para a segurança do veículo e pilotos envolvidos. Participando então de iniciativas desse perfil, os alunos são incentivados a validar suas escolhas de projeto e métodos de manufatura, a fim de desenvolver sua experiência em projetos factíveis. O presente trabalho tem por finalidade apresentar a metodologia empregada no projeto de um disco de freio para um veículo Formula SAE, analisando-se materiais, geometrias, simulações estruturais sobre todo o conjunto idealizado, além de descrever as condições e características do processo de corte a Laser efetuado no componente.

Com o objetivo de realizar um novo componente da área de acionamentos, é necessário entender o funcionamento do sistema como um todo, o qual possui como componentes finais da linha, pinças e pastilhas, além do próprio disco de freio. Esses componentes operam de acordo com a pressão aplicada na linha de freio, que aciona os pistões da pinça, os quais movem as pastilhas, e posteriormente essas, atiram-se com o disco, fazendo com que a rotação deste, diminua. Esse processo acontece pela conversão de energia cinética em térmica, principalmente. Além disso, os discos sofrem grandes esforços mecânicos e desgastes, portanto, para que seja projetado, vários parâmetros são considerados - como, materiais, geometria, tipo de fabricação, entre outros - a fim de melhorar o desempenho do sistema e prevenir possíveis falhas ou fraturas e, conseqüentemente, melhorar sua vida útil.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Primeiramente, definiu-se as etapas necessárias para realização do projeto, sendo estipuladas da seguinte maneira: determinação do material em que o disco seria confeccionado - ponderando também seu processo de fabricação - desenvolvimento da geometria mais adequada em conjunto com análises por elementos finitos, realização da manufatura do componente e, posteriormente, validação do projeto através de testes dinâmicos com o disco instalado no veículo sobre condições controladas.

Para a deliberação do material, considerou-se como critério de comparação boas propriedades mecânicas e térmicas, sendo os valores estabelecidos a partir de pesquisa em empresas e fabricantes tangíveis. Além disso, todas as escolhas baseiam-se em custos - tentando garantir sempre os menores possíveis - um tópico de demasiada importância para a fabricação de cada um dos componentes de um veículo direcionado à competição Formula SAE. Os materiais selecionados foram Ferro Fundido FC200, Aço Carbono 1045, Aço Carbono 1095 e, por fim, Aço Inoxidável AISI 304. As propriedades utilizadas para comparação de todos os materiais referidos foram dureza Brinell, limite de escoamento, condutividade térmica em uma temperatura de 100°C, entre outras propriedades diversas necessárias para

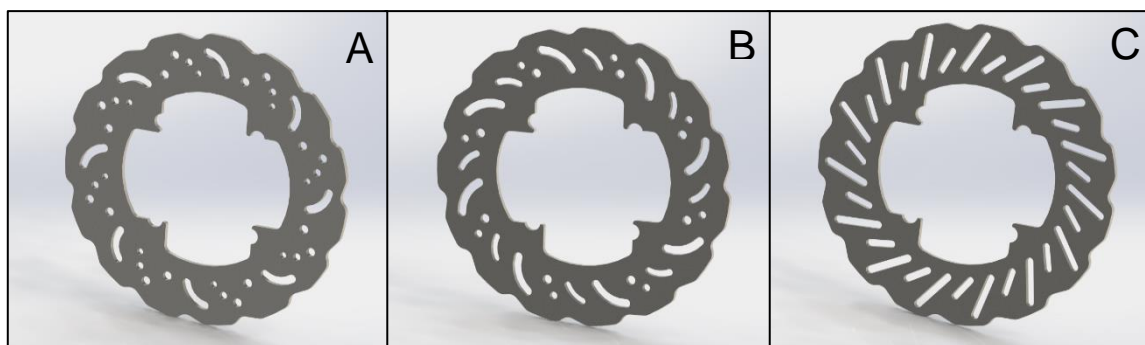
a caracterização do material. A Tabela 1 a seguir exhibe os materiais e suas principais propriedades que foram comparadas.

**Tabela 1.** Materiais para comparação e suas respectivas propriedades

MATERIAIS	DUREZA (BRINELL)	LIMITE DE ESCOAMENTO (Mpa)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)
Ferro Fundido FC200	210	195	50 (100°C)
Aço Carbono 1045	163	450	51.9 (100°C)
Aço Carbono 1095	197	525	49.8 (100°C)
Aço Inoxidável AISI 304	220	360	24.9 (100°C)

Dentre as informações de cada um dos materiais, pôde-se decidir as melhores opções para uso em um disco de freio, objetivando uma maior harmonia com as outras etapas. As diretrizes seguidas para a decisão do material foram: baixa condutividade térmica; alto limite de resistência; bom limite de escoamento e ótima usinabilidade.

Posteriormente, para idealizações e projeto da geometria do disco de freio foram feitas pesquisas de diferentes categorias, a fim de analisar desgaste, modelos de alívio de massa, além de verificar os melhores padrões destinados às maiores trocas térmicas e arrefecimento; os desenhos foram realizados no *software* SolidWorks®, e alguns dos elaborados são apresentados a seguir pela Figura 1.



**Figura 1.** Modelos de discos avaliados na etapa de desenvolvimento de geometria.

O design da geometria necessitou de elevada atenção nas deformações e concentrações de tensão em pontos específicos dos discos. Dessa forma, aliando as informações contidas na literatura, que apresenta geometrias amplamente aplicadas e validadas em veículos semelhantes, com simulações numéricas fazendo uso do *software* ANSYS®, em modo usuário, pôde-se reduzir as possibilidades de geometrias iniciais, atingindo-se assim a convergência àquela que melhor atende-se os parâmetros definidos para projeto.

Finalmente, tendo tanto a geometria quanto o material dos discos definidos, pôde-se então partir para a etapa de pesquisa e seleção do processo de manufatura mais adequado para confecção dos mesmos. Dentre esses, pode-se citar os processos de fundição, fresamento e corte a laser, cabendo a seleção daquele que melhor atendesse as necessidades visando baixo custo, disponibilidade e acabamento final satisfatório, aliado ainda a questão do baixo número de unidades a serem produzidas, visto se tratar de um veículo protótipo.

Dessa forma, posteriormente a escolha do processo foram produzidas quatro unidades do disco projetado, e cada um de seus *hats* - responsáveis pelo posicionamento e fixação dos discos no cubo da roda, realizando alguns ensaios sobre condições controladas com o veículo.

## 2.1 RESULTADOS

Dentre os materiais previamente citados, avaliando suas propriedades apresentadas e características de projeto sugeridas pela literatura, o material que melhor atendeu as necessidades impostas foi o Aço Inoxidável Austenítico 304, sendo este então o material escolhido para continuidade do projeto e posterior confecção dos componentes.

Tendo o material selecionado, partiu-se então para a etapa de desenvolvimento, análise e seleção da geometria que melhor resistisse às condições de operação. Dessa forma, com a finalidade de adequar esses parâmetros para o melhor desempenho e eficácia do sistema projetado, foram feitas simulações por elementos finitos utilizando o software ANSYS. Assim, selecionou-se a geometria “C” já apresentada na Figura 1, destacando-se das demais devido a sua menor massa, menor deformação, menor tensão máxima e conseqüentemente maior fator de segurança, além de um menor desgaste quando comparado com antigos discos já utilizados pela equipe. Os resultados numéricos obtidos nas simulações por elementos finitos são mostrados em forma de imagens das simulações relevantes nas Figuras 2, 3 e 4, apresentando as análises de deformações, tensões e fator de segurança realizadas com material Aço Inoxidável Austenítico 304 e modelo final de geometria.

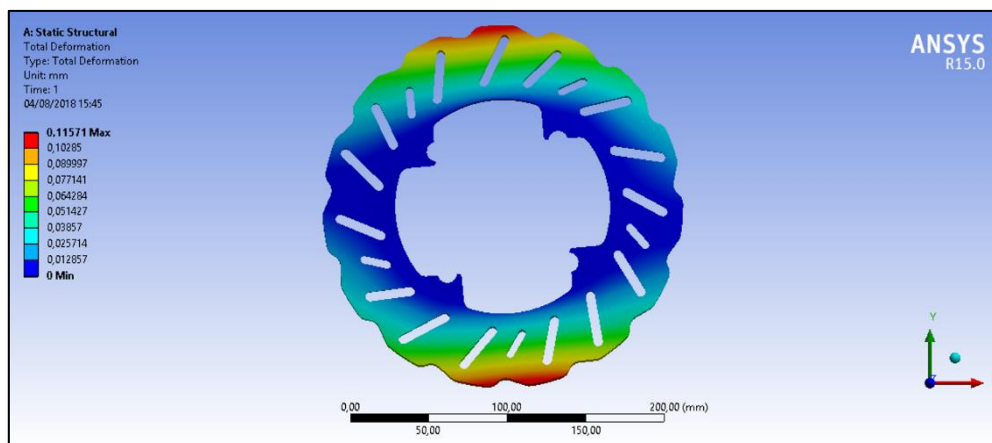


Figura 2. Resultado da análise de deformação total no disco de freio.

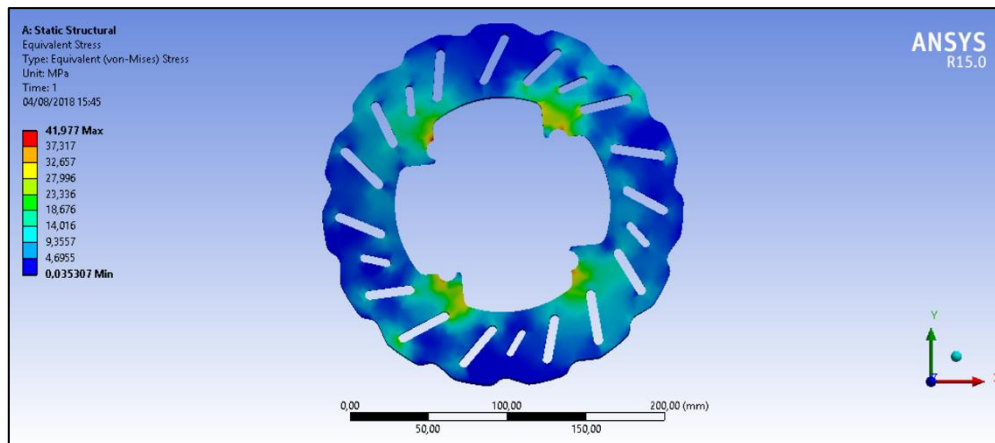


Figura 3. Resultado da análise de tensão no disco de freio.

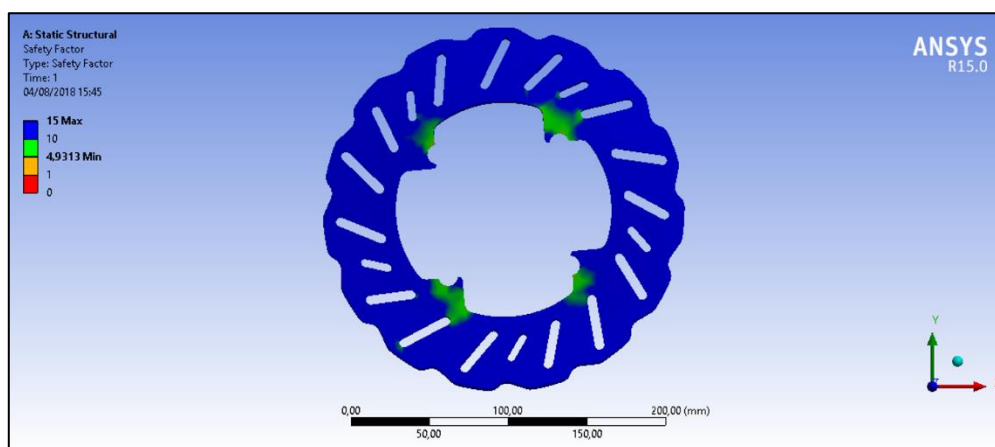


Figura 4. Resultado da análise de fator de segurança do disco de freio.

A Figura 5 mostra a versão final de projeto do disco, com a geometria selecionada e espessura de 6,35 mm, sendo seus demais acessórios para fixação no cubo da roda também inseridos na montagem.

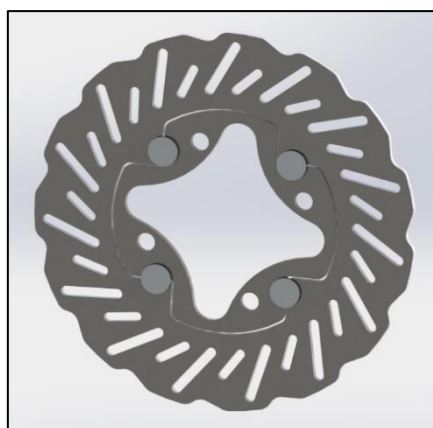


Figura 5. Modelo definido do disco de freio completo.

Tendo o projeto finalizado, iniciou-se a etapa voltada a confecção do mesmo. Devido às características positivas como: precisão, versatilidade, tempo, custo e acessibilidade; determinou-se como processo de fabricação dos discos o corte a laser, a fim de garantir a geometria desejada. Para isso, empregou-se o uso da máquina TruLaser 3030 (L49), sendo essa ajustada com parâmetros sugeridos pelo

manual (TRUMPF GmbH + Co. KG., 2017) para o corte do material escolhido de acordo com suas propriedades mecânicas, as quais são apresentadas no Tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros selecionados para o corte

Parâmetros	Valores
Gás utilizado	Nitrogênio
Potência	3000 Watts
Distância focal da lente	7,90 mm
Fenda de Corte	0,23 mm

Os cortes foram realizados em uma única chapa do material escolhido de dimensões: 1000x1000x6,35mm. Um dos discos cortados pode ser visto na Figura 6.



**Figura 6.** Disco de freio após o corte a laser.

## 2.2 DISCUSSÃO

Os resultados também foram satisfatórios com relação aos cortes, conforme esperado, apresentando significativa precisão e acabamento; não sendo necessário aplicar qualquer tipo de retrabalho para instalação e uso no veículo.

Por outro lado, como destacado nas análises, o fator de segurança mínimo atingido na simulação numérica ficou em torno de cinco, o que embora pareça elevado, é considerado aceitável visto se tratar de um componente de grande importância e de grande solicitação. Além disso, embora fosse possível uma redução de espessura, tal mudança não foi adotada a fim de garantir uma menor deflexão na extremidade do disco, não ultrapassando 0,2 mm de deflexão máxima. Essa condição foi estabelecida com o objetivo de prevenir desgastes prematuros do sistemas, uma vez que grandes deflexões resultam em condições não previstas nas análises efetuadas, como por exemplo vibrações excessivas.

Finalmente, com os discos confeccionados e seus demais componentes em mãos pôde-se realizar a instalação dos mesmos nos cubos das rodas, permitindo assim a realização dos testes dinâmicos sobre esses. Verificou-se a eficiência dos mesmos ao realizar a frenagem do veículo sobre as condições máximas previstas em projeto, onde o mesmo foi capaz de frear realizando o travamento das quatro rodas simultaneamente, sem qualquer dano. Após a realização dos testes de segurança, o veículo continuou para as provas seguintes desenvolvendo percursos que demandavam significativa atuação do sistema afirmando novamente a perfeita

operação dos discos. A Figura 7 mostra algumas fotos do disco instalado no veículo já após realização dos testes.

**Figura 7.** Disco de freio após instalação no veículo e testes.



### 3 CONCLUSÃO

A partir da pesquisa, metodologia aplicada e análises realizadas se tornou possível a fabricação do disco de freio e a observação de uma melhora satisfatória em relação aos anteriormente utilizados pela equipe, sendo essas melhorias: menor massa e melhor desempenho, por conta do material e geometria selecionados. Além disso, a avaliação da aplicação do corte a laser para confecção dos discos foi satisfatória, isto porque, além de apresentar boa precisão no corte e da grande versatilidade ao processar diversos tipos de formas e materiais, também é um processo relativamente barato e acessível, sobretudo, no contexto de um veículo de baixo custo, que necessita de peças projetadas sobre demanda e em pequenas quantidades.

### Agradecimentos

À UNESP, ao Convênio UNESP-SANTANDER, ao Departamento e ao Conselho de Curso de Engenharia Mecânica pelo apoio material e financeiro fornecido, bem como à empresa patrocinadora ITB®, a qual forneceu materiais e equipamentos para a produção dos discos trabalhados, ambos auxílios referentes ao ano de 2018.

### REFERÊNCIAS

- 1 Guesser, W. L., Baumer, I., Tschiptschin, A. P., Cueva, G., Sinatora, A., 2003. Ferros Fundidos Empregados para Discos e Tambores de Freio. Brake Colloquium, SAE Brazil, Gramado, RS. <  
[http://www.tupy.com.br/downloads/guesser/ferro\\_fund\\_freio.pdf](http://www.tupy.com.br/downloads/guesser/ferro_fund_freio.pdf)>
- 2 Kloeckner Metals, 2011. Manual Técnico de Aço Inoxidável. <  
<https://www.kloecknermetals.com.br/pdf/3.pdf>>
- 3 Limpert, R., 1999. Brake Design and Safety. United States of America: SAE Bookstore, 2nd ed. 529 p.
- 4 Puhn, F., 1985. Brake Handbook: How to choose, install, test & service brakes. Disc- & drum-brake design. Brake materials for racing or street. Air-cooling & water-cooling. Proportining valves & balance bars. Practical data & formulas. U.S.A: HPBooks, Inc, 2nd ed. 177 p.
- 5 Sanches, C. B. & Menezes, M. A., 2018. Desenvolvimento de Geometria, Comparação e Seleção de Materiais e Análise Estrutural de um Disco de freio Direcionado a um

- Veículo Formula SAE. Publicado em XXX Congresso de Iniciação Científica da UNESP - 1º Fase. Ilha Solteira, SP, Brasil. ISSN 2178-860X.
- 6 Sanches, C. B., Salmazo, V. A. & Menezes, M. A., 2018. Confecção de um Disco de Freio por Corte a Laser Voltado a um Veículo Formula SAE. Publicação em 20º Congresso de Tecnologia - 20º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica – SICT 2018. São Paulo, Brasil. ISSN 1518-9082.
  - 7 TRUMPF GmbH + Co. KG., 2017. Manual de instruções original, TruLaser 3030 (L49). Johann-Maus-Straße 2, 512 p.
  - 8 2018. Site: <<https://www.makeitfrom.com/>>
  - 9 2018. Site: <<http://www.ssab.com>>
  - 10 2018. Site: <<http://www.aperam.com>>
  - 11 2018. Site: <<http://arinox.com.br>>
  - 12 2018. Site: < <https://www.materiais.gelsonluz.com>>