

## **PROJETO DE FIXADORES PARA MONTAGEM DE SAPATAS EM LONAS DE FRENAGEM PARA CAMINHÕES DE TRANSPORTE DE CARGA**

**PIMENTEL, Ricardo, pimentel.egm@gmail.com<sup>1</sup>**  
**LANGER, Hugo Eduardo, hugo\_langer@yahoo.com.br<sup>2</sup>**  
**LINHARES, Joao Carlos, joacarloslinhares@gmail.com<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Sociedade Educacional de Santa Catarina, Rua Albano Schmidt, 3333, Boa Vista, CEP: 89206-001, Joinville – SC

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP: 97105-900, Santa Maria – RS

**Resumo:** O sistema de freio a tambor é largamente empregado no segmento automotivo, na linha leve, automóveis e pequenos veículos de carga, e na linha pesada, caminhões e similares. Um aspecto relevante é o custo-benefício, menor quando comparado a outros sistemas de frenagem como o freio a disco. O principal componente de um sistema de freio tambor é a sapata de frenagem, onde é montado o elemento de fricção, lona, que atrita entre sapata e tambor. A fixação entre lona e sapata de frenagem é realizada por fixadores, responsáveis pela estabilidade do conjunto. O desacoplamento entre sapata e elementos de fricção pode causar danos fatais devido à falha da principal função do sistema. Ao estudar os elementos fixadores destinados à função “frear”, observou-se pouca evolução no conceito desse tipo de componente nos últimos anos. Por tratar-se de um elemento de risco é necessário o uso de técnicas e procedimentos avançados de simulação dinâmica para chegar a um conjunto eficaz de parâmetros de definição de projeto. O projeto de um componente com tais características deve estar pautado na adequada definição de função, material e geometria, de maneira que a otimização desses parâmetros possa levar à segurança desejada e ao cumprimento da função global. O processo atualmente usado na montagem da sapata e lona de frenagem apresenta inúmeras restrições: (01) Material utilizado na fabricação do elemento de fixação (rebite) de baixa resistência mecânica; (02) São utilizados muitos fixadores (rebites) na montagem da sapata; (03) Os fixadores utilizados não são reaproveitados, na troca da lona de frenagem utilizam-se novos fixadores na montagem da nova lona. Dessa forma, o desenvolvimento de um componente adequado às novas exigências de mercado, tanto no que se refere aos aspectos de solicitação, como no que diz respeito à reusabilidade e, portanto, de segurança, é a justificativa maior que se apresenta para a realização desta pesquisa.

**Palavras-chave:** Fixadores de sapatas de freio; Projeto inovador; Redução de acidentes rodoviários.

### **1. INTRODUÇÃO**

O sistema de freio a tambor é largamente empregado no segmento automotivo, tanto na linha leve, automóveis e pequenos veículos de carga, como na linha pesada, caminhões e similares, possuindo alta demanda neste segmento. Um dos principais aspectos deste tipo de equipamento é o custo-benefício, bem menor quando comparado a outros sistemas de frenagem, como o freio a disco, por exemplo.

O principal componente de um sistema de freio a tambor é a sapata de frenagem. Na sapata de frenagem é montado o elemento de fricção, que atrita entre sapata e tambor de frenagem. A sapata de frenagem deve dissipar o calor gerado proveniente da energia cinética e tem por principal função reduzir ou cessar o movimento do veículo.

O material fixado à sapata, resistente à fricção é normalmente constituído de um compósito que forma uma lona de frenagem montada na sapata através de fixadores. A fixação entre a lona e sapata de frenagem é convencionalmente realizada por fixadores que são responsáveis pela estabilidade do conjunto. Isso garante que as solicitações dinâmicas executadas pelo sistema de rodagem não causem o desacoplamento entre os componentes que atuam na frenagem do veículo. O desacoplamento entre sapata e elementos de fricção pode levar a danos fatais devido à falha da principal função do sistema de frenagem.

Tendo em vista tais aspectos, este projeto propõe o desenvolvimento de um novo fixador a ser utilizado na montagem entre sapata e lona de freio.

### **2. JUSTIFICATIVAS**

Ao estudar os elementos fixadores destinados à função mencionada anteriormente, observou-se pouca evolução no conceito desse tipo de componente ao longo dos últimos anos.

Trabalhos de desenvolvimento destinados ao aperfeiçoamento tecnológico de grande maioria dos elementos utilizados para este fim remontam de duas décadas. Entende-se que a falta de recursos computacionais que auxiliassem na verificação do cumprimento das funções requeridas para esse tipo de componente tenha sido o principal motivo da falta de avanços nessa área.

Por tratar-se de um elemento de risco cuja falha pode levar a acidentes de grandes proporções, torna-se necessário o uso de técnicas e procedimentos avançados de simulação dinâmica para chegar-se a um conjunto de parâmetros de definição de projeto eficazes. Assim, o projeto de um componente com tais características deve estar pautado na adequada definição de função, material e geometria, de maneira que a otimização destes três parâmetros essenciais de projetos possa levar à segurança que se deseja para o adequado cumprimento da função global, no caso a perfeição de frenagem.

O processo atualmente usado na montagem da sapata e lona de frenagem apresenta inúmeras restrições. Lista-se a seguir algumas das principais restrições:

- (01) Material utilizado na fabricação do elemento de fixação (rebite) de baixa resistência mecânica (aço baixo carbono sem tratamento térmico);
- (02) São utilizados muitos fixadores (rebites) na montagem da sapata;
- (03) Os fixadores utilizados atualmente não são reaproveitados, isto é, na troca da lona de frenagem utilizam-se novos fixadores na montagem da nova lona.

Dessa forma, o desenvolvimento de um componente adequado às novas exigências de mercado, tanto no que se refere aos aspectos de solicitação, como no que diz respeito à reusabilidade e, portanto, de segurança, é a justificativa maior que se apresenta para a realização desta proposta.

### 3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um novo conceito de fixador para ser utilizado no processo de montagem da sapata e lona de frenagem, tendo em vista os atuais requisitos de projeto, entre eles, resistência mecânica ao cisalhamento, funcionalidade, segurança e custo-benefício.

### 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os parafusos presentes em um projeto podem parecer um dos aspectos menos interessantes, no entanto, o sucesso ou falha de um projeto pode depender da seleção apropriada e uso de uniões. Além de que o projeto e manufatura de juntas é um negócio grande e representa parte significativa da nossa economia (Norton, 2004).

Tensão de Cisalhamento ou Tensão de Corte é um tipo de tensão gerada por forças aplicadas em sentidos opostos, porém em direções semelhantes ao material analisado (Dias, 2008). No cisalhamento de parafusos há dois tipos de cisalhamento (ou corte): o simples e o duplo. A diferença entre eles está no número de partes que o parafuso pode se romper.

As especificações técnicas para parafusos consideram o elemento isoladamente, sob cargas em função de sua propriedade mecânica, geralmente sobre o ponto de vista estático. A literatura apresenta o estudo de junções parafusadas sob carregamento estático de forma bem consolidada, porém, quanto à fadiga há poucos estudos.

Quando uma união é apertada, mas ainda não ocorre aplicação de cargas externas, cargas axiais  $F_b$  e a de compressão  $F_m$  entre os membros são iguais à força de aperto inicial  $F_i$ . Após a aplicação da carga externa ocorre um aumento da força no parafuso e um decréscimo da força de compressão entre os membros, sendo que a magnitude com a qual oscilam as forças  $F_b$  e  $F_m$  vai depender da elasticidade envolvida no sistema mecânico (Pizzio, 2005).

Apesar dos avanços tecnológicos nas indústrias automobilísticas, o projeto de novos materiais e componentes do sistema de frenagem é um desafio constante. O aumento da potência dos motores e, conseqüentemente a velocidade dos veículos, assim como o aumento da carga em veículos da linha pesada leva o sistema de freios a condições severas de operação.

O freio a tambor é um sistema de freio cujas forças de atuação são radiais a um rotor, sendo a superfície de contato do par de fricção cilíndrica. Os principais componentes e funcionalidades estão descritos a seguir e representados na Figura (1) e descritos a seguir:

- (01) Sapata de frenagem: Componente no qual a lona é fixada. Possui a função de transmitir as forças de atuação para a lona durante a frenagem (Halderman, 1996);
- (02) Lona de frenagem: Material de fricção conformado em formato cilíndrico e que é pressionado contra o tambor durante a frenagem. É fabricado geralmente em material compósito;
- (03) Pivô: É o ponto de ancoragem da sapata;
- (04) Tambor: É o componente girante do par de fricção. São geralmente fabricados em ferro fundido perlítico.

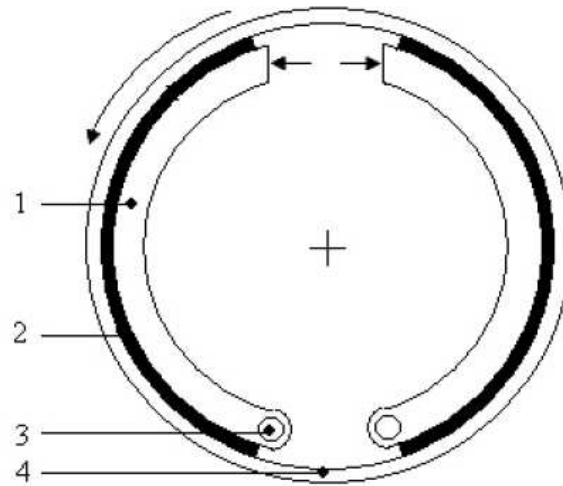


Figura 1. Freio a tambor. Fonte: Handerman, Mauricio B. (2008, pg 8).

O momento de frenagem ( $T$ ) em um sistema de sapatas duplas internas pode ser calculado usando-se a Eq. (1) (SHIGLEY, 2005). Sendo:  $T$ = momento de frenagem;  $f$  = coeficiente de atrito do material de fricção;  $\omega$  = largura das sapatas;  $r$  = Raio interno do tambor;  $\theta_1$ = ângulo entre a articulação e o início da sapata;  $\theta_2$ = ângulo entre a articulação e o final da sapata;  $\theta_m$ = ângulo entre a articulação e a região de pressão;  $p_m$ = pressão máxima da sapata direita;  $p_m'$  = pressão máxima da sapata esquerda.

$$T = f \cdot \omega \cdot r^2 \cdot \left[ \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\sin \theta_m} \right] \cdot (p_m + p_m') \quad (1)$$

## 5. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

A avaliação das contribuições do projeto proposto levou em consideração o fixador utilizado na montagem da sapata e lona de frenagem dos caminhões SCANIA. Os componentes do sistema de frenagem utilizado por outros fabricantes de veículos da linha pesada possuem um conceito similar.

As Figuras (2a) e (2b) mostram o conceito do fixador atualmente utilizado no processo de montagem de uma sapata de frenagem de caminhões convencionais. É um fixador tipo rebite construído com aço SAE 1010, com as dimensões indicadas. A partir destas informações, o componente idealizado prevê que para o novo processo de montagem de sapata e lona de frenagem sejam necessários apenas 12 (doze) fixadores para garantir os esforços e tensões requeridas, mantendo as especificações de segurança do produto.

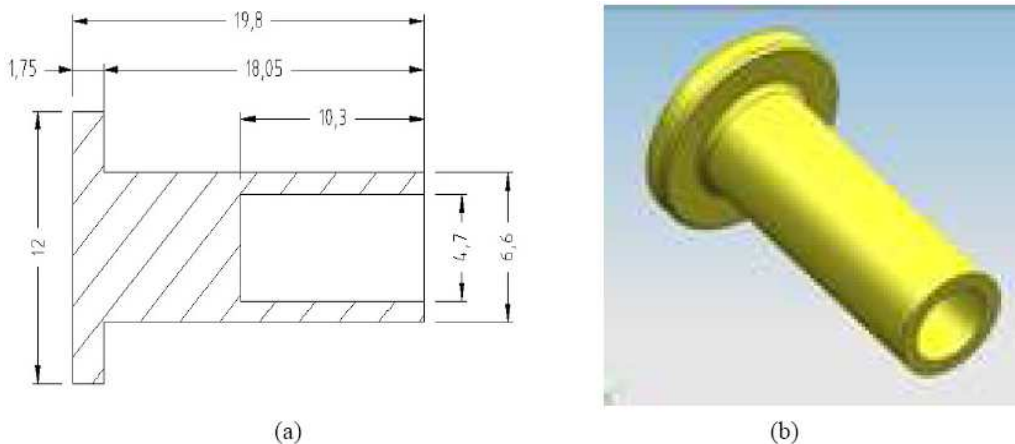


Figura 2. Fixador atual: (a) dimensões básicas; (b) vista isométrica.

Além destes aspectos, o fixador proposto foi projetado para ter um custo-benefício superior ao fixador (rebite) utilizado atualmente. Isso será possível pelo fato do novo fixador ser intercambiável, ou seja, poderá ser aproveitado nas substituições das lonas de freios com desgastes, tendo em vista, que o fixador atual não é reaproveitado por sofrer uma

deformação plástica durante a montagem. O material da sapata de frenagem é F<sup>o</sup>F<sup>o</sup> cinzento e o da lona de frenagem, compósito. São utilizados 16 (dezesseis) rebites, conforme mostrado nas Figs. (3) e (4):



Figura 3. Sapata de freio atual.

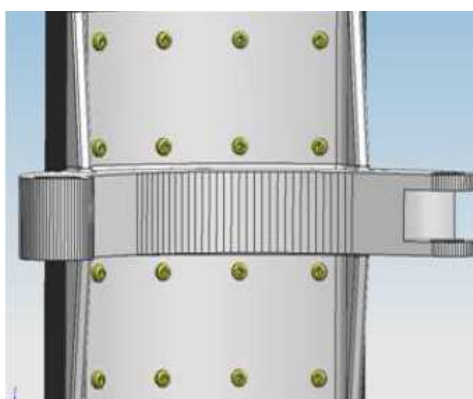


Figura 4. Detalhe dos pontos de rebiteamento elástico.

As Figuras (5a) e (5b) mostram duas vistas do fixador proposto que apresenta as dimensões básicas modelo atual, no entanto, com comportamento elástico proporcionado pelo engate flexível numa das suas extremidades.

A idéia pressupõe um ajuste dimensional adequado às partes materiais envolvidas em relação ao diâmetro e também ao comprimento interno do fixador. A montagem se dá a partir de uma pressão na parte superior do fixador que, por meio do efeito elástico proporcionado pela extremidade cônica ajustável aos furos alinhados do conjunto sapata e lona de frenagem, engata adequadamente na parte inferior realizando a montagem.

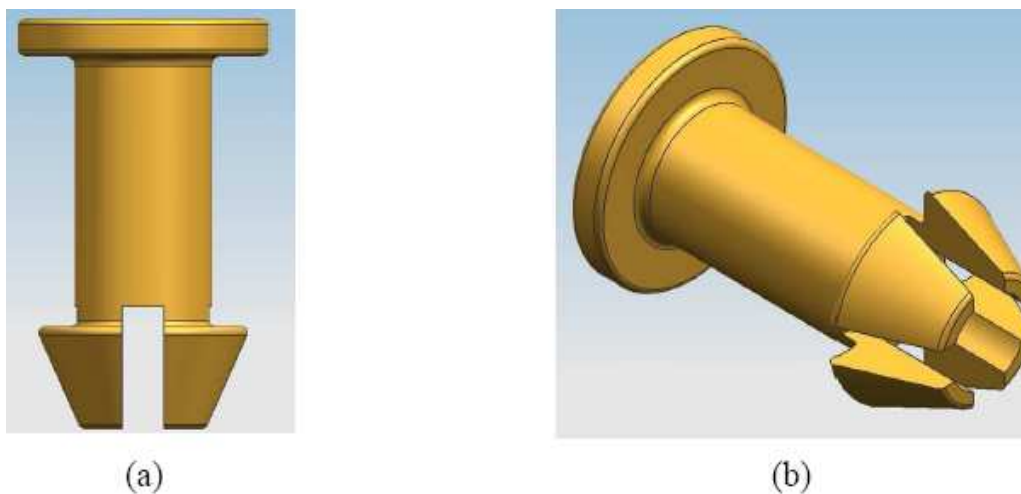


Figura 5. Fixador proposto: (a) vista lateral e (b) vista isométrica.

Para retirar o fixador é necessário proceder à contração da parte cônica o que permite a imediata desconexão da montagem, possibilitando o reaproveitamento do fixador.

## 5.1. Análise de Comportamento em Uso

Para a avaliação e comparação de desempenho entre o fixador atualmente utilizado e o fixador proposto foi realizada uma análise quase estática em *software* de CAE (*Computer-Aided Design*), (ANSYS, 2009). Foi possível modelar os comportamentos mecânicos (deformação) mediante a aplicação da força de cisalhamento real que atuará periodicamente no mecanismo. Para tal, foram considerados as seguintes condições de contorno: Diâmetro do tambor de freio: 380 mm; Largura da lona de freio: 256 mm; Coeficiente de atrito: 0,32; Limite de pressão para a montagem: 1 MPa; Capacidade de frenagem total adotada: 21000 N.m.

O momento fletor total foi considerado uniforme em toda a sapata e será proporcional ao número de fixadores utilizados na montagem da sapata e a lona de frenagem.

Com as condições pré-especificadas anteriormente, foi realizada a simulação quase estática da montagem, modelando-se numericamente os dois casos, atual e proposto. Assim, foi possível observar as deformações nos dois tipos de fixadores sob a ação das forças reais que atuam em cada caso: fixador atual = 7400 N e fixador proposto = 9870 N. A diferença entre as forças se deve principalmente a diferença do número de fixadores que é de 16 (dezesseis) para fixador atual e 12 (doze) para o fixador proposto.

Uma vez que as áreas de cisalhamento nas seções solicitadas próximas à seção tubular do rebite atual e à seção interrompida na parte cônica do fixador proposto são diferentes, é necessário fazer um ajuste nos valores das correspondentes áreas. Isso é feito a partir do cálculo dos parâmetros de projeto a partir dos valores das correspondentes tensões de cisalhamento ao escoamento dos materiais envolvidos. Além disso, foi necessário adequar a geometria na região da parte cônica em que ocorre o cisalhamento no fixador proposto. As Figuras (6) e (7) mostram as montagens simplificadas usadas nas simulações.

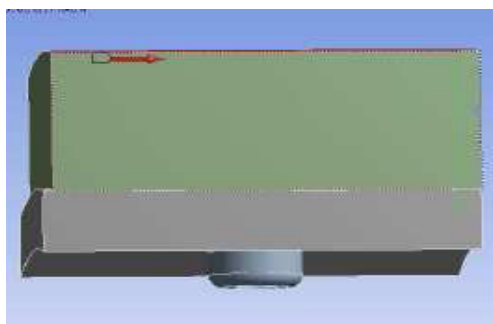


Figura 6. Montagem do fixador atual.

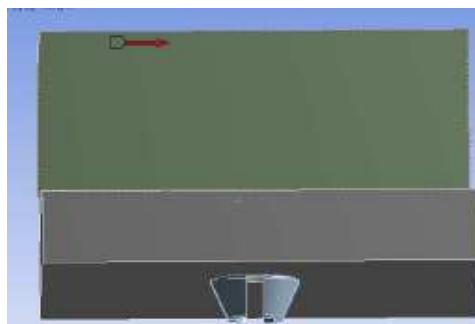


Figura 7. Montagem do fixador elástico proposto.

Para a realização da simulação do comportamento em uso dos fixadores foi considerado o momento fletor distribuído uniformemente na sapata de freio. Deste modo, os esforços mecânicos adotados para as análises devem ser distintos para cada fixador, tendo em vista, que estarão submetidos a cargas diferentes. As deformações para o fixador atual e fixador proposto, respectivamente, são mostradas nas Figs. (8) e (9).

O fixador atual apresentou uma deformação de 9,51 mm, enquanto o novo fixador sob a ação de uma força de cisalhamento maior apresentou uma deformação de apenas 0,21 mm na região de interesse. Isso evidencia uma notável e significa uma maior resistência mecânica do fixador proposto em relação ao fixador atual.

Um dos fatores que favorecem o comportamento otimizado do fixador proposto é o material escolhido, aço mola, que possui excelente comportamento às solicitações de flexão e torção. As Figuras (8) e (9) mostram representações típicas das regiões de maior probabilidade de fratura para os dois casos.

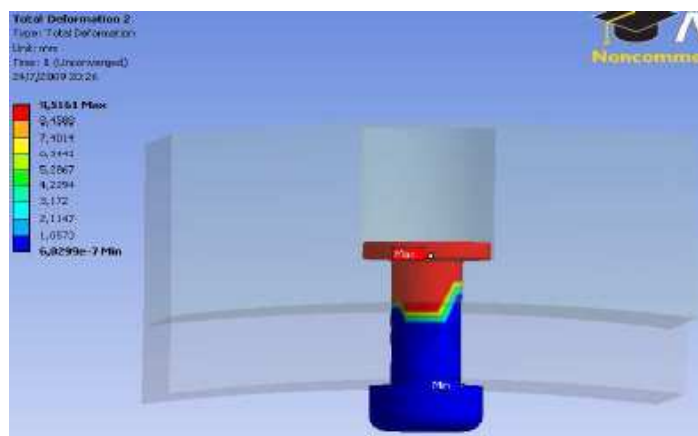


Figura 8. Análise das deformações do fixador atual.

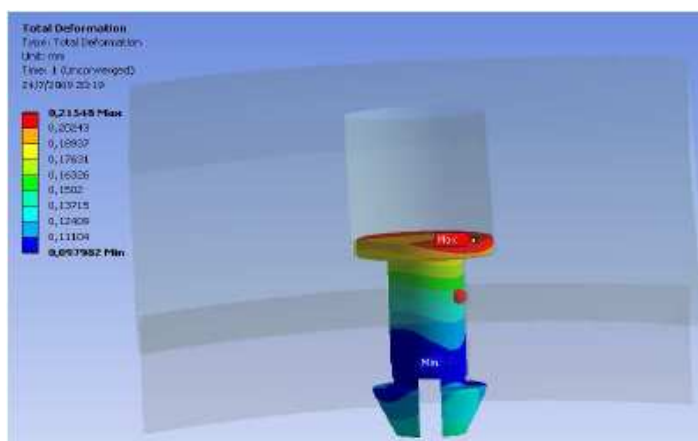


Figura 9. Análise das deformações do fixador elástico proposto.

## 5.2. Aplicações Potenciais do Dispositivo Proposto

Tendo em vista a atual estatística sobre o crescente número de acidentes rodoviários envolvendo veículos automotores de transporte de cargas nas rodovias do país e considerando o impacto social causado por este fato, pode-se concluir que existe aplicação potencial para o dispositivo aqui proposto.

Do ponto de vista de sua funcionalidade, o rebite elástico permite maior usabilidade, intercambiabilidade, durabilidade e facilidade na manutenção da função global das lonas de freios mecânicos e/ou hidráulicos do veículo. Isso implica a segurança de quem está ao volante e de quem, ao trafegar nas rodovias nacionais, estaduais e locais, depende, igualmente, da segurança da mobilidade dos veículos que proximamente trafegam.

O mecanismo que assegura o adequado funcionamento, ou seja, a realização da função global da lona de freio depende essencialmente de sua fixação ao tambor de freio. Para garantir que ocorra uma forte interação mecânica, baseada na fixação entre lona e tambor de freio, para o cumprimento desta função, muitas vezes, quando não é adequada a fixação pelos rebites usuais, ocorre um escorregamento local, ou seja, um deslizamento da lona em relação ao tambor, levando o elemento a falhar por fadiga. O rebite elástico permite a troca de lonas sem que sejam necessárias trocas, proporcionando vida longa aos rebites, em detrimento dos rebites usuais que devem ser inutilizados após a troca da lona de freio.

Numa visão mais ampla, a troca dos atuais tipos de rebites pelos rebites elásticos como propostos neste trabalho, levaria bastante tempo, uma vez que a frota de veículos automotores de grande carga no país é imensa. No entanto, se prevê que a redução do número de acidentes decorrentes deste tipo de falha, estimularia as autoridades governamentais e industriais do ramo a tomarem uma atitude mais drástica no sentido de patrocinar esse tipo de iniciativa.

As análises das fraturas representadas nas Figs (10) e (11) mostram a fragilidade do fixador atual quando submetido a força de cisalhamento adotada em que a fratura ocorre na região que une a sapata e a lona de freio. Esse tipo de falha não ocorre no caso do fixador proposto.

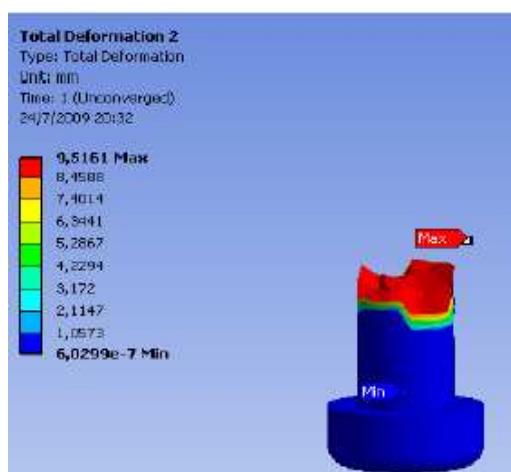


Figura 10. Região de possível fratura para o rebite fixador atual.

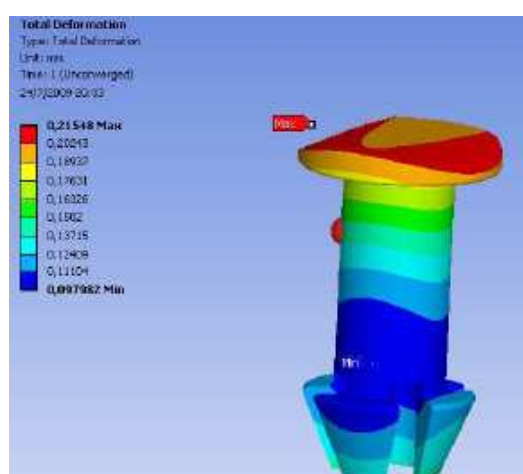


Figura 11. Região de possível fratura para o rebite fixador elástico proposto neste trabalho.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando o impacto no mercado consumidor, conforme apresentado na contextualização dos experimentos realizados com base na proposta de projeto documentada, acredita-se que decorrem alguns benefícios que merecem destaque. Em primeiro lugar o melhor desempenho em relação ao fixador atual, momentaneamente destacado pelas simulações quase estáticas realizadas. Isso, certamente será evidenciado com as verificações nos protótipos reais, posteriormente.

Em segundo lugar, destaca-se o custo benefício do componente, que prevê reutilização. Acredita-se que essa propriedade que repercute em ganho de qualidade, de forma alguma irá onerar o fabricante, já que o ganho substancial da qualidade certamente repercutirá num acréscimo na demanda de mercado. A análise de custo benefício realizada avaliou principalmente a questão do rendimento e eficiência que o novo fixador proporcionará em relação ao atual fixador. Sendo um dos fatores principais para esta conclusão o fato de que o fixador proposto terá uma vida útil superior ao fixador atual.

Outro aspecto importante é a perspectiva dos impactos gerados no mercado automotivo da linha pesada com a implantação do fixador proposto é de uma considerável redução do custo de manutenção do sistema de frenagem. Uma vez podendo ser reaproveitado em sucessivas trocas, desde que não afete o cumprimento de sua função global, o novo fixador não precisará ser descartado como ocorre como o fixador atual.

Outro fator preponderante e que acabará tornando-se um atrativo de mercado é a alta demanda deste tipo de fixador. Um caminhão com 2 (dois) eixos traseiros possui em média 8 (oito) sapatas de frenagem, duas em cada tambor de roda, o que representa em total de 96 (noventa e seis) fixadores. As Figuras (12) e (13) mostram duas vistas de uma montagem que apresentam uma sapata de frenagem com 12 (doze) fixadores, conforme proposto no projeto.

Como ressaltado anteriormente, do ponto vista técnico, ao analisar os benefícios gerados para a sociedade com a iniciativa proposta percebe-se aspectos de segurança envolvidos na preocupação dos autores pelo desenvolvimento e fabricação deste dispositivo, pois nessa perspectiva, será reduzido o número de acidentes com caminhões, considerando que, em grande parte, o motivo de tais acidentes seja a ausência de freios, ou seja, o não cumprimento da função de frenagem, adequadamente.

Ainda, em virtude do atual crescimento tecnológico no setor automobilístico, é notória a preocupação com aspectos de segurança nas estradas. Isso leva a crer que ações governamentais tenham que ser implementadas para que haja uma redução considerável no número de acidentes anuais no país. Certamente, isso deverá passar por uma reavaliação dos requisitos de projeto das autopeças que têm influência marcante na segurança dos veículos automotores.

Finalmente, o crescimento tecnológico junto às necessidades de mercado, uma vez guiadas pela crescente demanda por diferentes produtos, conduz ao aumento substancial de veículos nos mais variados meios de transporte que norteiam as tecnologias da mobilidade no país. Assim, com o surgimento de novas empresas que atuam neste setor e uma certeza e acaba direcionando as pesquisas em universidades para a criação de novas tecnologias, conforme se propõe com o atual projeto. Pode-se destacar ainda que os resultados obtidos e demonstrados no decorrer desta pesquisa são satisfatórios e recomenda-se para futuros trabalhos a pesquisa em novos materiais para a aplicação proposta neste estudo.

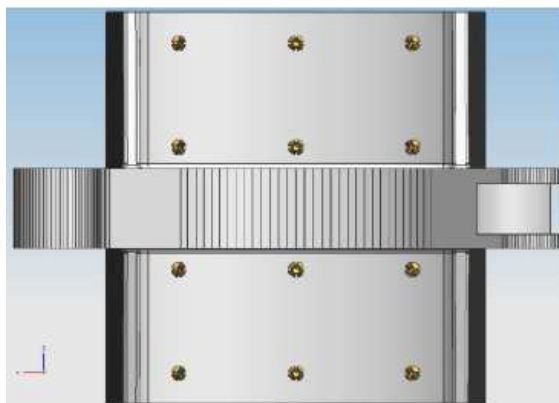


Figura 12. Vista anterior da sapata de freio com 12 fixadores do novo conceito.

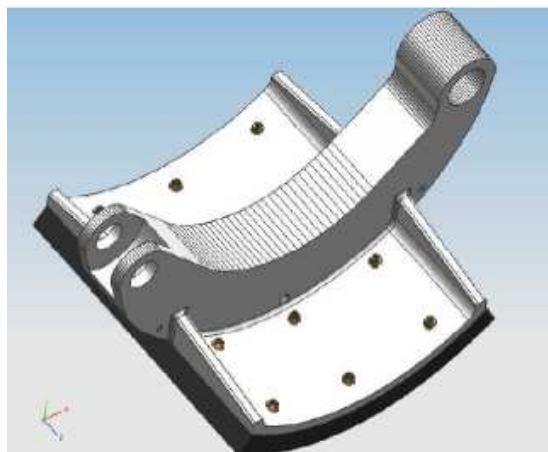


Figura 13. Vista isométrica da sapata de freio com 12 fixadores do novo conceito.

## 7. REFERÊNCIAS

- Ansys, Inc., Computer-Aided Engineering, Software de análise de sistemas mecânicos, Versão 11, Acadêmica, IST-Sociesc, 2009.
- Dias, José C.; Ensaio de cisalhamento; apostila; Universidade Federal de Itajubá; Minas Gerais, 2008. p.4;
- Handerman, Maurício B.; Variáveis de desempenho dos sistemas de freio; dissertação de mestrado; UFRGS; Rio Grande do Sul, 2008. p 1-9;
- Norton, Robert L.; Projeto de Máquinas. 2a Ed. rev. ampl. São Paulo: Bookman, 2006. 919 p.
- Pizzio, Everton; Avaliação da vida em fadiga de uniões parafusadas; dissertação de mestrado; UFRGS; Rio Grande do Sul, 2005. p 1-3;
- Sigley, Joseph E.; Mischke, Charles R.; Budynas, Richard G.; Projeto de Engenharia Mecânica. 7a ed. rev. ampl. São Paulo: Bookman, 2005. 960 p.



## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso, incluído neste trabalho.

# DRUM BRAKE FASTENERS DESIGN FOR FITTING SHOES ON THE BRAKE PADS ASSEMBLY IN THE TRUCK CARGO TRANSPORT

### *Abstract*

The drum brake system is widely employed in the automotive segment, in light line, mid and small vehicles, and in the heavy trucks line. A relevant aspect is the cost-benefit that is smaller when compared to other brake systems as the disc brake. The main brake system component is the brake pads, which is mounted on friction element, a canvas, that friction between brake pads and drum. The fixation between canvas and drum brake shoe is accomplished by fasteners elements, responsible for the whole stability. The decoupling between brake pads and friction element can cause fatal damage due to failure of the main system function. By studying the fixing elements for the function "stop", there was little evolution in the concept of this component in recent years. Since it is a risk element is necessary to use advanced techniques and procedures of dynamic simulation to reach an effective set of design defining parameters. The component design with these characteristics must be guided by the function, material and geometry appropriate definition, so that the optimization of these parameters can lead to the desired security and global function achievement. The process currently used in brake pads and canvas braking assembling presents numerous constraints: (01) Material used in the fastener manufacture (rivet) that present low mechanical strength, (02) Are used many fasteners (rivets) in brake pads assembling; (03) Fasteners used are not reused, in order words, in exchange canvas braking are used new fasteners in the new canvas assembling. Thus, the component development appropriate to the new demands of the market, both with regard to request aspects, as with respect to reusability and therefore, safety, is the greater than justification presented for this research realization.

**Keywords:** brake shoes fasteners; innovative design; road accident reduction.