

## A FÍSICA DOS PNEUMÁTICOS<sup>+</sup>\*

---

*Rafhael Brum Werlang*

Universidade Federal do Pampa

Campus Caçapava do Sul

Caçapava do Sul – RS

*Fernando Lang da Silveira*

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre – RS

### **Resumo**

*O objetivo deste trabalho é oferecer alguns elementos teóricos que contribuam para a elucidação de questionamentos sobre os pneumáticos, apontando o potencial do tema para problematizações. Discorre-se ao longo do texto sobre a evolução histórica do pneumático, bem como, sobre os conceitos físicos básicos necessários para a compreensão dos mesmos. Acredita-se que essa discussão, além de elucidar muitas dúvidas cotidianas sobre os pneus, possa servir de referência para professores, uma vez que, surpreendentemente o tema de pneus está ausente nos livros de física geral de Ensino Médio e Superior.*

**Palavras-chave:** *Pneumáticos. Pressão.*

### **Abstract**

*The objective of this paper is to provide some theoretical elements that contribute to the elucidation of questions about the tires, indicating the potential of the subject problematizations. We*

---

<sup>+</sup> Physics of tires

<sup>\*</sup> *Recebido: abril de 2013.  
Aceito: setembro de 2013.*

*discourse along the text on the historical evolution of the tire, as well as on the necessary basic Physics concepts to understand them. It is believed that this discussion, besides elucidating many everyday questions about the tires, it can be used as a reference for teachers, since, surprisingly, the subject of tires is absent in Physics textbooks of High School and University.*

**Keywords:** *Tires. Pressure.*

## **I. Introdução**

Os pneumáticos fazem parte do cotidiano há mais de um século, estando presentes em automóveis, aviões, bicicletas, carrinhos de bebê, brinquedos e em várias outras tecnologias que utilizam rodas. Considerados itens imprescindíveis para a sociedade contemporânea, tiveram origem no século XIX e passaram por muitas fases de desenvolvimento, antes de se apresentarem como os conhecemos hoje.

As ideias iniciais do pneu surgiram quando uma goma de borracha, utilizada para impermeabilizar tecidos, foi depositada sobre uma roda. Esta tentativa não foi muito bem sucedida, pois devido às flutuações de temperatura do ambiente e ao surgimento de fluxos de energia na forma de calor da borracha/tecido para o ambiente e vice-versa, a roda emborrachada, assim construída, manifestou sua deficiência ao derreter-se (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, 2012).

Por volta do ano de 1830, Charles Goodyear, acidentalmente, percebeu que, ao elevar a temperatura da borracha, com a presença de enxofre, conseguia manter as propriedades de elasticidade da goma de borracha em um amplo intervalo de temperaturas. Surgiu assim o processo que, atualmente, denominamos de vulcanização. Contudo, o processo de patente do pneumático somente foi solicitado no ano 1845 pelos irmãos Michelin (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, 2012).

Mais uma etapa da história dos primórdios do pneu ocorreu no ano de 1845, quando Robert Thompson inseriu um invólucro repleto de ar no interior dos pneus de borracha sólida (MÖDERLER, 2012).

Transcorridos quarenta e três anos da invenção de Thompson, John Boyd Dunlop, veterinário escocês, teve a mesma ideia e "reinventou" o pneu, ao improvisar uma câmara de ar de borracha flexível, envolvendo-a em uma lona e montando-a em um aro de madeira. Dunlop conseguiu a patente pela invenção da roda

pneumática, abrindo o caminho para o "século da mobilidade" (MÖDERLER, 2012).

Desde então, os pneumáticos passaram por várias etapas de desenvolvimento, a fim de permitirem maior segurança, durabilidade e conforto para os usuários. Essas modificações vão desde a inserção de lonas estabilizadoras, garantindo maior área de contato entre o pneu e o solo, até tecnologias mais contemporâneas, como o Sistema de Manutenção de Ar (AMT), desenvolvido recentemente nos laboratórios da Goodyear (GOODYEAR, 2012), o qual permitirá que os pneus mantenham a pressão ideal sem a necessidade de quaisquer bombas externas.

Os pneus são tão corriqueiros no dia-a-dia que nem refletimos sobre o seu processo de fabricação ou sobre as leis da Física que os regem.

Os professores, na maioria das vezes, perdem a oportunidade de discutir conceitos de Física utilizando objetos do cotidiano, como os pneus, que, por possuírem grande potencial para problematizações, são capazes de instigar e reter a atenção dos discentes de forma a promover uma aprendizagem mais significativa. De acordo com David Ausubel (1963, 1968), uma aprendizagem é significativa quando temos um processo de assimilação substantiva e não arbitrária do que se aprende a uma componente especificamente relevante da estrutura cognitiva. Especificamente sobre os pneus, os livros texto de Ensino Médio e Superior são omisso e desta forma os professores carecem de alguma referência bibliográfica sobre o tema. Pretendemos neste artigo oferecer alguns elementos teóricos que contribuam para a elucidação de questionamentos como os que seguem.

Você já parou para se questionar por que os pneus de automóveis derrapam ou emitem sons agudos quando adentram em uma trajetória curva ou quando “se pisa fundo no acelerador”? Ou por que os pneus de automóveis de Fórmula 1 têm sua temperatura aumentada com mantas térmicas e são mais largos que os pneus convencionais? Ou a razão de os pneus de bicicletas de corrida serem mais estreitos do que os das bicicletas de passeio? Ou por que os pneus de tratores possuem água no seu interior? Ainda, se você já calibrou os pneus de uma bicicleta, deve ter se perguntado por que a pressão é muito maior do que a pressão dos pneus de um automóvel?

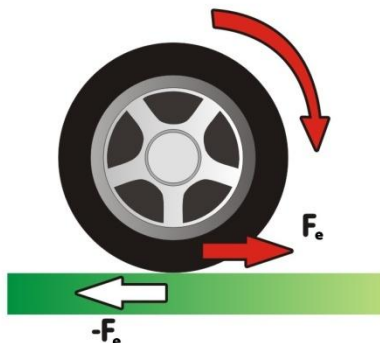
## **II. Discutindo a Física**

Para que possamos responder as questões sugeridas, precisamos recorrer a alguns conceitos básicos de física.

Primeiramente, precisamos discutir o papel do pneu em um veículo. Quando pensamos na física que está por trás do funcionamento de um veículo, o

pneu é um dos componentes mais importantes, já que é o responsável por fazer o veículo se movimentar ou parar. O leitor deve estar se perguntando, como o pneumático é o responsável pelo movimento do automóvel? Sim, o pneu permite que o torque motor do veículo promova uma força de tração, graças ao atrito com a pista de rolamento. Se lembrarmos das Leis de Newton, poderemos entender que o pneumático nas rodas de tração exerce uma força ( $-F_e$ ) sobre o solo ou pista de rolamento com sentido oposto ao do movimento do carro em relação ao solo, o qual por sua vez exerce uma reação ( $F_e$ ) de sentido oposto (Fig. 1), que será responsável por colocar, manter ou acelerar o movimento do veículo.

Além dessa função, os pneus exercem outros papéis fundamentais para o funcionamento do veículo. Eles são responsáveis, por exemplo, pela mudança de direção do automóvel, pela eficiência na frenagem, pela sua estabilidade, contribuindo também para, juntamente com as molas de suspensão e com os amortecedores, atenuar as vibrações e solavancos consequentes do pavimento de rodagem.



*Fig. 1 – Representação das forças de atrito que são exercidas em um pneumático e na pista de rolamento.*

Quando freamos o automóvel, a situação é diferente daquela que ocorre na tração dos pneus. O freio exerce uma ação na roda, interna ao automóvel, que se opõe ao seu giro. Então, o pneu empurra o chão para frente por atrito e o chão exerce uma força de atrito no pneu para trás, conforme descrito pela Terceira Lei de Newton, reduzindo assim a velocidade do veículo em relação à pista.

Assim sendo, a força de atrito e o coeficiente de atrito têm papéis fundamentais no processo de frenagem. Curiosamente, os pneus novos (sem desgaste) apresentam um coeficiente de atrito estático com a estrada (seca e pavimentada com concreto ou com asfalto) de aproximadamente 0,85, enquanto que o coeficiente de atrito dos pneus já desgastados por algumas centenas de quilômetros rodados

é maior, com valor aproximado a 1,0 (BOSCH, 2005, p. 423). Entretanto o desgaste dos pneus não deve ser tal que a profundidade do sulco na banda de rodagem atinja menos do 1,6 mm por outras razões que estão relacionadas à segurança.

A diferença no coeficiente de atrito entre os pneus novos e os desgastados sugere que se conteste uma indicação usual quando a troca envolver apenas dois pneus. Ao contrário do que frequentemente é preconizado, a preferência deve ser por pneus novos no eixo traseiro do automóvel, conforme, por exemplo, <<http://www.slideshare.net/BlogEticanosNegocios/a-petrobras-derruba-um-mito>> (acesso em: 08 set. 2013). Nas frenagens de emergência os pneus que mais colaboram para o efeito de “segurar” o automóvel são os pneus dianteiros e por isto não devem ser novos. Os pneus novos originam acelerações, em frenagens e em curvas, inferiores àquelas que podem ser conseguidas com pneus desgastados, pois tais acelerações dependem do coeficiente de atrito. Por outro lado, a possibilidade de ocorrência de acelerações maiores reflete em distâncias de frenagem menores, bem como maior segurança nas curvas (SILVEIRA, 2011). Quando os outros dois pneus forem trocados os pneus traseiros serão repassados para a dianteira, colocando-se um par de pneus novos atrás.

Agora vamos discutir por que os pneus de automóveis derrapam e por que emitem sons agudos quando adentram em uma trajetória curva ou saem do estado de repouso rapidamente. Para entendermos esses fenômenos, lembremos que a força de atrito entre o pneu e a pista pode ser estática ou cinética (dinâmica). A força de atrito estática entre duas superfícies em contato pode ser descrita, com boa aproximação, pela lei empírica  $F_e \leq \mu_e N$ . Nessa expressão,  $F_e$ , representa o módulo da força de atrito estática,  $\mu_e$  representa o coeficiente de atrito estático entre as superfícies e  $N$  representa o módulo da força normal às superfícies em contato. A expressão  $F_e \leq \mu_e N$  estabelece que exista um limite máximo para a intensidade da força de atrito estático entre as duas superfícies. Todavia, quando acontece o escorregamento entre as duas superfícies, a força de atrito será a dinâmica, geralmente menor do que a força de atrito estática máxima.

A força externa ao automóvel, que o impulsiona para frente, é usualmente uma força de atrito estático entre as rodas de tração e a pista de rolamento (exceto quando as rodas patinam ou deslizam sobre a pista, quando então vale o atrito cinético) (SILVEIRA, 2012).

Desse modo, quando “pisamos fundo no acelerador” do veículo, ou adentramos em uma curva muito fechada, ou com velocidade superior à velocidade em que não ocorre o escorregamento lateral dos pneus sobre a pista, a força de atrito deixa de ser estática, tornando-se dinâmica ( $F_d$ ), regida pela expressão  $F_d = \mu_d N$ , onde  $\mu_d$  é o coeficiente de atrito dinâmico. Existindo um escorregamento do pneu-

mático em relação à pavimentação, produzem-se pequenas perturbações do ar próximo ao pneu. Logo, o som é gerado pelo fluxo de ar que entra e sai da banda de rodagem dos pneus e pela turbulência do ar em torno do pneu do veículo.

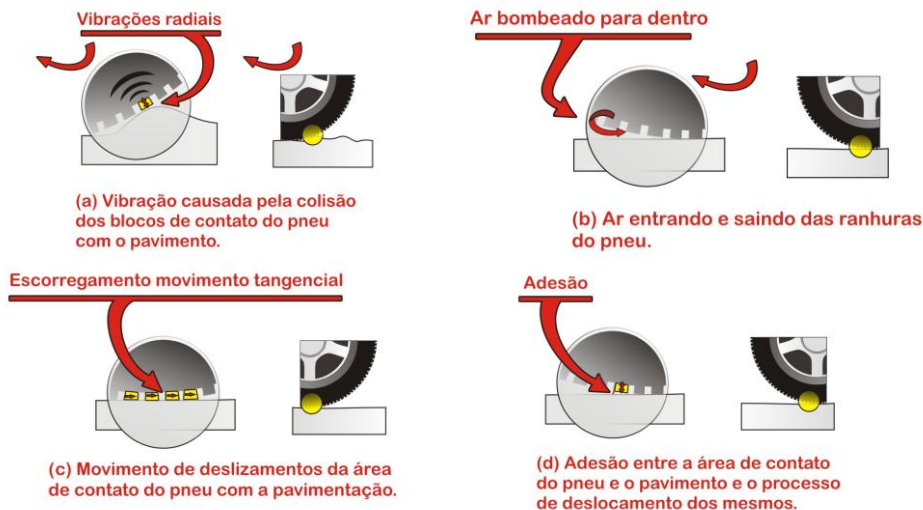
Nessa interface, do pneu com o pavimento, existem vários mecanismos de troca de energia, que eventualmente podem irradiar ondas sonoras. Existem ainda características da interface pneu/pavimento que podem amplificar a emissão de ondas sonoras (BERNHARD, 2012).

O primeiro mecanismo que discutiremos é o impacto do pneumático com a pavimentação, como mostrado na Fig. 2 (a). Esse impacto pode ser comparado com a percussão de um pequeno martelo de borracha contra a pista de rolamento. Usualmente, tanto o bloco de contato quanto o pavimento são elásticos (recuperam as formas originais depois de terem sofrido compressão), entretanto dissipam energia mecânica na forma de calor e de ondas sonoras (BERNHARD, 2012).

Um segundo mecanismo de produção de som, entre o pneu e a pavimentação, corresponde ao fluxo de ar na área de contato entre o pneu e o pavimento, especificamente nas ranhuras, que são comprimidas e distorcidas. O ar arrastado nessas passagens é comprimido e bombeado para dentro e para fora dos caminhos como mostrado na Fig. 2 (b). Devido aos efeitos de compressão e bombeamento do ar para fora das ranhuras do pneu, o som é gerado aerodinamicamente. Esse fenômeno é semelhante ao do som produzido por palmas (BERNHARD, 2012).

Um terceiro mecanismo capaz de gerar som nessa interface é o deslizamento da borracha sobre o pavimento. Quando o veículo automotor acelera ou freia, na área de contato do pneu com o piso, surgem forças de tração ou frenagem, capazes de distorcer a carcaça do pneu. Pode então acontecer que os blocos do pneumático deslizem sobre o pavimento de forma breve e em seguida parem de escorregar, como ilustrado na Fig. 2 (c). Essa ação de escorregar acontece muito rapidamente e gera tanto o ruído quanto vibração. Tal fenômeno também é observado em ginásios, quando os tênis dos atletas rangem em contato com o piso (BERNHARD, 2012).

Finalmente, porém não menos importante, existe um mecanismo de produção de ondas sonoras, denominado adesão. O contato entre a banda de rodagem do pneu e o pavimento provoca a aderência entre eles (fenômeno de ligação entre as moléculas das duas superfícies em contato). Quando o bloco de borracha do pneumático e o pavimento perdem o contato, como mostrado na Figura 2 (d), existe a liberação de energia na forma de som, provocada pela vibração da carcaça do pneu (BERNHARD, 2012).



*Fig. 2 - Características da interface pneu/pavimento que podem amplificar a emissão de ondas sonoras.*

Para que possamos entender melhor as derrapagens, precisamos discutir uma característica dos pneumáticos, o desenho da banda de rodagem. Quando possuem ranhuras, os pneus são classificados como pneus de nervura, já os pneus sem nervuras são normalmente nomeados de “slicks” (lisos). Um pneu “slick” é utilizado, unicamente, em piso seco, por oferecer uma maior superfície de contato com o pavimento do que um pneu com nervura, o qual, por sua vez, deve ser utilizado em pisos molhados.

Os pneus com ranhuras possuem banda de rodagem com formas diferentes, cada uma com uma função específica. A banda de rodagem possui uma nervura central, que mantém um contato “circunferencial” do pneu com o piso, proporcionando manobrabilidade e aderência do pneu com a pista de rolagem. Além disso, possui blocos, também denominados de “biscoitos”, responsáveis por proporcionar a tração e a frenagem e sulcos que são responsáveis pela drenagem (expulsão) da água e lama. Os drenos são sulcos auxiliares, que levam a água para fora da área de contato do pneu com o solo, aumentando sua aderência em piso molhado, minorando a possibilidade indesejável de aquaplanagem (formação de uma lâmina de água entre a pista e o pneu, capaz de suprimir o atrito da pista com

o pneu). As covas são pequenas ranhuras, que auxiliam na dissipação da energia na forma de calor, quando o pneu está aquecido (BRAZIL TIRES, 2012).

Todas essas características dos pneumáticos podem ser observadas na Fig.

3.

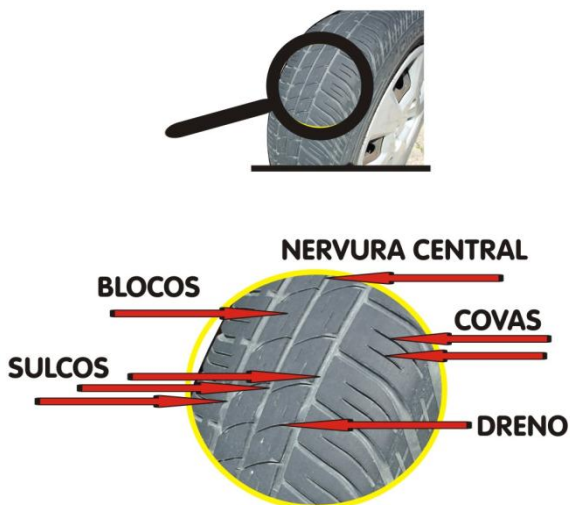


Fig. 3 – Características das ranhuras dos pneumáticos.

Para entendermos o uso de mantas térmicas nos pneus de Fórmula 1, precisamos perceber a importância da temperatura no desempenho do pneu pois esta afeta a capacidade que ele tem de suportar as tensões de cisalhamento, isto é, esforços longitudinais ou laterais ao movimento do pneu em relação à pista. Para baixas temperaturas, o desempenho do pneu será menor já que não resiste às tensões de cisalhamento originando esfrelamento (*graining*), isto é, a liberação de pequenos pedaços da borracha do pneu, semelhante ao que ocorre quando atritamos uma borracha escolar a um papel. Por analogia, é possível observar que se a borracha escolar for mais mole ou estiver a uma temperatura mais elevada, liberará uma quantidade menor desses pedaços ou farelos de borracha, assim como o pneu quando está na temperatura adequada. Portanto, o uso de mantas ou cobertores térmicos nas corridas automobilísticas propicia um pré-aquecimento dos pneus, para que eles atinjam mais rapidamente a temperatura ideal de uso, evitando um desgaste desnecessário por esfrelamento.



Normalmente, nas primeiras voltas de uma corrida, o piloto obtém os menores e melhores tempos, justamente porque a temperatura do pneu atinge a faixa ideal, o que proporciona uma melhor aderência à pista de rolamento.

Nas voltas seguintes, o pneu se desgasta, ou seja, perde a borracha da banda de rolagem, diminuindo sua capacidade de deformação (elasticidade) e de dissipação de energia na forma de calor, ocasionando uma alteração da sua temperatura e conseqüentemente um esfrelamento maior.

Outra questão interessante que nos propusemos a discutir é por que os pneus de carros de Fórmula 1 são mais largos do que os convencionais, ou seja, qual é afinal a influência da largura dos pneus no seu desempenho durante as corridas?

Uma concepção equivocada sobre a largura dos pneus, parte do pressuposto de que a intensidade da força de atrito estática máxima depende fortemente da área das superfícies que se atritam. Ao testar experimentalmente a suposta dependência da intensidade da força de atrito com a área de contato, muito antes de existirem os pneus, Leonardo da Vinci (1736-1806) inferiu não ser verdadeira tal suposição intuitiva, concluindo pela independência da área, mantido todo o resto constante, isto é, mantidas as naturezas de ambas as superfícies e a força de compressão entre elas, ou seja, a força normal (GILLISPIE, 2007, p. 1632). Dessa forma, a maior largura dos pneus dos carros de corrida não está a serviço de um ganho substancial (como o senso comum imagina) nas forças de atrito.

Então, qual é o real motivo dos pneumáticos dos carros de Fórmula 1 serem mais largos do que os comumente usados em automóveis? A razão primordial está relacionada ao grande desgaste que os pneus sofrem em uma corrida. Tal desgaste da banda de rodagem depende da pressão (força por unidade de área) exercida na região de contato. Ora, um pneu mais largo, além de estar sujeito a uma pressão menor do que um pneu estreito, também possui mais borracha para ser desgastada, permitindo assim que as trocas de pneus durante as corridas sejam menos frequentes.

E os pneus de bicicletas de corrida, não são mais estreitos do que os pneus de bicicletas de passeio ou de trilhas? Bem, nesse caso a explicação deve-se ao fato de que, quanto mais estreito for o pneu, maior será a pressão, de modo que o pneu não se achate demasiadamente. Essa indicação também se aplica aos pneus de automóveis. Adicionalmente, uma pressão elevada nos pneus diminui a região deformada em contato com a pista de rolamento. Quanto menor é a região deformada (mantido todo o resto constante), menor será a resistência ao rolamento, visto que nas rodas de bicicletas de corrida deseja-se a menor resistência ao rolamento

possível. A resistência ao rolamento não pode ser confundida com a força de atrito entre o pneu e a pista (SILVEIRA, 2012).

A força de atrito efetiva entre o pneu e a estrada, que é uma força de atrito estático ( $F_e \leq \mu_e N$ ), pode ser muito pequena quando comparada ao valor máximo possível (e usualmente o é), não porque ela dependa da área de contato, mas porque a força normal à pista de rolamento exercida na roda produz um pequeno torque que resiste pouco ao rolamento (com grandes deformações, esse torque resistente ao rolamento, é maior). Ou seja, alta pressão implica em pequenas deformações no pneu e, conseqüentemente, diminui a resistência ao rolamento.

A roda ideal seria aquela que não resiste ao rolamento, entretanto permite grandes forças de atrito entre a borracha e asfalto. Nesse caso, o coeficiente de atrito estático é próximo à unidade, possibilitando que o valor da força máxima de atrito seja semelhante ao valor da força normal. O atrito pode ser usado na roda como força motora (nas rodas de tração) ou como força resistente (quando freamos o carro ou a bicicleta) ao movimento do veículo e ainda para fazer curvas. Portanto, não se deseja eliminar atrito em rodas, mas sim minimizar a resistência ao rolamento.

Na Fig. 4 estão representadas as forças exercidas na roda dianteira de uma bicicleta que trafega com velocidade constante. A força normal ( $N$ ) não é exercida em um ponto imediatamente abaixo do eixo, estando deslocada para frente. Este deslocamento da força normal vem a ocasionar o que se denomina de resistência ao rolamento. Ou seja, é possível notar-se que em relação ao eixo da roda, o torque da força normal (torque resistente à rotação da roda), dado por  $N \cdot d$ , deve equilibrar o torque da força de atrito (torque motor para a rotação da roda), dado por  $F_e \cdot r$ , quando a roda se desloca com velocidade constante. Ou seja,  $N \cdot d = F_e \cdot r$ .

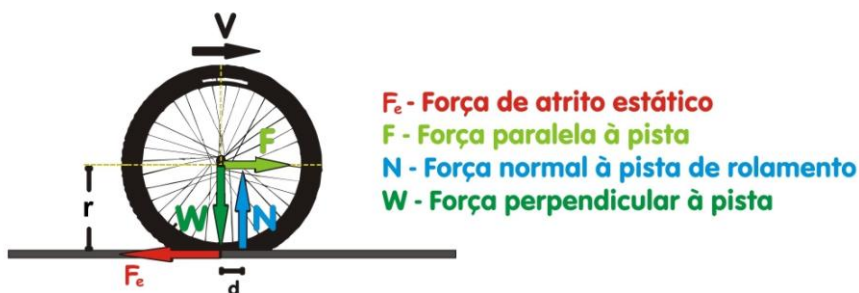


Fig. 4 – Diagrama das forças exercidas na roda da frente de uma bicicleta que trafega com velocidade constante.

Assim sendo,  $F_e = (d/r).N$ , onde a razão  $d/r$  corresponde ao chamado "coeficiente de resistência ao rolamento". Este coeficiente é usualmente muito menor do que o coeficiente de atrito estático entre a roda e a pista, tendendo para zero quando a distância  $d$  (braço de alavanca da força normal em relação ao eixo da roda) tende para zero ( $d$  igual a zero ocorreria na roda indeformável sobre um pavimento rígido). Em pneus de automóvel sobre uma pista de cimento ou asfalto, o coeficiente de resistência ao rolamento é cerca de 0,01, enquanto o coeficiente de atrito estático é próximo da unidade (SILVEIRA, 2012), possibilitando desta forma que a força de atrito efetivamente exercida seja cerca de 100 vezes menor do que a força de atrito máxima possível quando o freio e a tração não estão atuando (em SILVEIRA, 2012 encontra-se a discussão das ações na roda de tração). Uma roda indeformável, sobre uma pista indeformável, não resiste ao rolamento. Ora, para reduzir a distância  $d$  e, conseqüentemente, a resistência ao rolamento, precisamos reduzir a região deformada. Aumentando a pressão em um pneu reduz-se a região deformada, diminuindo então a resistência ao rolamento. Isso também explica o fato de os pneumáticos de bicicletas de corrida operarem com pressões manométricas de mais de 100 libras/pol<sup>2</sup> ou 100 psi (mais de 6 atm), enquanto que a pressão em um pneu convencional de automóvel usualmente não passa de 2 atm.

Outra questão interessante é por que a força normal se desloca para frente? A resposta se relaciona ao fato de que as deformações do pneu não são meramente elásticas, mas possuem uma componente de amortecimento ou de dissipação de energia mecânica. A resistência ao rolamento determina que haja perda de energia mecânica internamente ao pneu, causando o aumento da sua temperatura. Essa perda pode também acontecer na pista de rolamento, se esta for deformável, como por exemplo, uma pista de areia ou lama.

E qual é a explicação para a água no interior dos pneus de tratores? Como já discutimos, a grandeza física responsável pela tração no veículo é a força de atrito estática, e seu valor máximo é diretamente proporcional à força normal. Portanto, ao adicionar um líquido às rodas de tração do trator, estamos aumentando a intensidade do peso e da força normal. Logo, o enchimento parcial dos pneus com um líquido, ao invés de inflá-los apenas com ar, permite um incremento na força de atrito estática máxima e o trator poderá ser utilizado com maior propriedade para o seu fim, sem perder a aderência com a pista de rolamento em caso de elevada tração.

O lastro dos pneus de um veículo de tração consiste em um método de substituição de até 75% do volume de ar por uma solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). O cloreto de cálcio é escolhido principalmente por possibilitar um peso adicional de até 50% sobre o peso da água, sendo isto vantajoso do ponto de vista

da tração, e não é prejudicial à borracha, além de apresentar propriedades anti-congelantes (ALAPA, 2012).

### III. Processo de calibração

Agora você vai olhar para os pneumáticos dos veículos de uma forma diferente. Vai perceber que o funcionamento de um pneu depende de muita física e que é importante manter sua pressão e temperatura em valores adequados, a fim de evitar desgastes desnecessários das borrachas, melhorando a dirigibilidade do carro, diminuindo o número de acidentes e consumindo menos combustível.

Como discutimos, o pneu está cheio de ar ou, no caso dos tratores, de ar, água e cloreto de cálcio, e inevitavelmente esse ar tenderá a escapar para o exterior do pneu, onde a pressão é menor. Portanto, pouco a pouco o pneu tenderá a diminuir a pressão, deformando-se mais, aumentando a sua temperatura devido à maior resistência ao rolamento. Consequentemente, se o pneu não for mantido a uma pressão adequada, poderá desgastar-se rapidamente e até rasgar-se ou “estourar”.

Desse modo, o ato de verificação da pressão dos pneus (calibragem) deve ser repetido depois de alguns dias. Para realizar esse processo, convém consultar as tabelas de pressão fixadas no manual dos veículos. No entanto, deve-se observar que esses valores tabelados são válidos apenas para “pneus frios”, ou seja, pneus que se encontram na temperatura ambiente, que não tenham rodado nas últimas duas horas ou tenham rodado menos de três quilômetros em baixa velocidade. Para um pneu que apresente temperatura mais alta, normalmente a pressão será mais alta. Dessa forma, quando desejarmos calibrar um “pneu quente”, a recomendação é que a pressão deva estar cerca de 4 psi (0,3 BAR) acima da pressão do “pneu a frio”.

No caso de a pressão de um “pneu quente” estar acima do recomendado pelo manual, nunca se deve retirar o ar desse pneumático, já que normalmente o pneu demora de duas a três horas para esfriar. Portanto, retirar ar de um pneu quente irá provocar um caso de pressão baixa e todas suas desagradáveis consequências que afetam o desempenho e a durabilidade do pneu, aumentando o consumo de combustível (FIGUEIREDO *et al.*, 2012).

Desse modo, pense na física dos pneumáticos do seu veículo pelo menos a cada quinze dias ou quando viajar por um trajeto mais extenso. Esse pequeno exercício de física pode redundar em economia de combustível e aumento de segurança ao trafegar! E não se esqueça de medir a pressão do pneumático reserva (estepe).

## Referências

ALAPA. **Manual de segurança agrícola e off the road**. Pneus, rodas, câmaras do ar e válvulas. 1 ed. 2005. Disponível em:

<<http://www.alapa.com.br/alapav01/portugues/manuais/AlapaSeguranca.pdf>>.

Acesso em: 18 jul. 2012.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **História do pneu**. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=anip>>. Acesso em: 26 jun. 2012.

AUSUBEL, D. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.

\_\_\_\_\_. **Educational Psychology: a cognitive view**. 1 ed. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1968.

BERNHARD, R. J.; Wayson, R. L. **An introduction to tire/pavement noise**. The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways Purdue University, 2005. (Report, SQDH, 2005). Disponível em:

<<http://www.quietpavement.com/hotmixasphalt/docs/AnIntroductiontoTire-PavementNoiseofAsphaltPavement.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2012.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

BRAZIL TIRES. **Seja um expert: saiba tudo sobre pneus**. Disponível em: <<http://www.braziltires.com.br/novo/noticias/pneus.html>>. Acesso em: 27 jun. 2012.

FIGUEIREDO, J. A. de; COELHO, E. P; FIGUEIREDO F. A.; GERALDO J.; LIMA, I. F.; ARIMATÉIA, J. de; DINIZ, A. C. **Boletim Goodyear de Orientação Técnica**. Disponível em: <<http://www.goodyear.com.br/pneus/pneus-caminhoes-omibus/pdf/boletim-orientacao-tecnica.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

GILLISPIE, C. C. Leonardo da Vinci. In: GILLISPIE, C. C. (Org.) **Dicionário de biografias científicas**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

GOODYEAR. **New Goodyear Innovation Could Make Tire Pumps Obsolete**. 2011. Disponível em:

<[http://www.goodyear.com/cfmx/web/corporate/media/news/story.cfm?a\\_id=559](http://www.goodyear.com/cfmx/web/corporate/media/news/story.cfm?a_id=559)>

Acesso em: 26 jun. 2012.

MÖDERLER C. Deutsche Welle. **1845**: Patentado o primeiro pneu. Disponível em: <<http://www.dw.de/dw/article/0,,686295,00.html>>. Acesso em: 26 jun. 2012.

SILVEIRA, F. L. Um interessante e educativo problema de cinemática elementar aplicada ao trânsito de veículos automotores – A diferença entre 60 km/h e 65 km/h. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 468-475, ago. 2011.

Disponível em:

<<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/21757941.2011v28n2p468/19035>>. Acesso em: 09 set. 2012.

\_\_\_\_\_. Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1304, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/331304.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2012.