

PRESSÃO DE CONTATO NAS MÃOS DURANTE A DIREÇÃO DE VEÍCULOS BAJA

**Danilo Corrêa Silva (1);
Érica Pereira das Neves (2);
Gabriel Henrique Cruz Bonfim (3);
Guilherme da Silva Bertolaccini (4)**

(1) UNESP – Univ. Estadual Paulista, Campus de Bauru, PPGDesign, Doutorando
e-mail: danilo@idemdesign.net

(2) UNESP – Univ. Estadual Paulista, Campus de Bauru, PPGDesign, Doutoranda
e-mail: ericapneves@yahoo.com.br

(3) UNESP – Univ. Estadual Paulista, Campus de Bauru, PPGDesign, Doutoranda
e-mail: gabrielhcbonfim@gmail.com

(4) UNESP – Univ. Estadual Paulista, Campus de Bauru, PPGDesign, Mestrando
e-mail: guilhermebertolaccini@gmail.com

RESUMO

O volante é uma das principais interfaces entre o condutor e o veículo, sendo utilizado durante todo o tempo de movimentação. Nesse sentido, as mãos do condutor estão sujeitas à esforços para manter a estabilidade, movimentar lateralmente o veículo, bem como às vibrações transmitidas, decorrentes de irregularidades no terreno. O objetivo desse trabalho é avaliar a pressão de contato nas mãos durante a condução de dois modelos de veículos tipo baja. Esse tipo de veículo impõe elevadas cargas biomecânicas ao piloto, se comparado aos veículos de passeio. Os resultados apontam que o modelo recém desenvolvido melhorou os níveis de pressão nas mãos do condutor.

ABSTRACT

The steering wheel is a major interface between the driver and the vehicle, being used during all the movement time. In this sense, the driver's hands are subject to efforts to maintain stability, move laterally the vehicle as well as the transmitted vibrations arising from track irregularities. The aim of this study is to evaluate the contact pressure on hands while driving two models of vehicles type baja. This type of vehicle imposes high biomechanical loads to the pilot, compared to passenger cars. The results show that the newly developed model has improved the pressure levels in the driver's hands.

1 INTRODUÇÃO

Após o impulso tecnológico e industrial das duas grandes guerras, a indústria automotiva cresceu rapidamente, se expandindo de um pequeno nicho para fornecer uma das necessidades mais comuns dos dias atuais (MANSFIELD, 2013).

Um veículo é um conjunto de sistemas altamente complexo, que exige interação constante do condutor para que o mesmo controle o deslocamento longitudinal (aceleração, frenagem) ou lateral (curvas). Além disso, é comum que vários dos sistemas de um veículo sejam acionados simultaneamente. Com isso, dirigir também requer habilidades específicas para interpretar informações e acionar diversos controles simultaneamente (MEDEIROS, 2004).

O condutor obtém informações de diferentes mostradores (velocímetro, combustível, radio, luzes de alerta, sons, símbolos, espelhos, etc.) e gera saídas (pedais e volante, aciona botões, etc.) para controlar a movimentação do veículo ou modificar o estado de sistemas do veículo (rádio, ventilação, etc.). A depender das suas habilidades e dos recursos disponíveis, o condutor pode ou não tomar uma ação correta (BHISE, 2012).

A ergonomia aplicada à indústria automobilística está voltada a tornar o veículo mais seguro e confortável, considerando as interfaces com o condutor e o ambiente. Nesse contexto, a ergonomia é primordial, pois é a partir dela que se determinará a melhor forma de adequar o sistema para uso humano (TANABE, 2014).

Quando se trata de veículos para competição, esses aspectos são ainda mais evidentes, pois qualquer aspecto sub ótimo pode prejudicar o desempenho. Nesse sentido, além das melhorias técnicas no veículo, como sistemas de direção, frenagem ou suspensão mais eficientes, também é necessário otimizar o desempenho humano junto ao sistema.

Assim, o objetivo desse estudo é realizar uma análise exploratória da pressão de contato nas mãos durante a direção de dois modelos de veículo tipo baja em um percurso *off road*. Ambos os modelos foram desenvolvidos pela equipe PAC Baja, da UNESP campus de Bauru. O primeiro foi construído no ano de 2013 e o segundo em 2015.

1.1 Justificativa

As competições esportivas representam uma das principais fontes de inovação em produtos, processos e melhorias no desempenho humano na atualidade. Por se tratar de uma atividade *off road*, em terreno acidentado e voltado para a integralização de diversos fatores, como a segurança, resistência, desempenho e conforto, o estudo da interface dos veículos tipo baja abre espaço para melhorias em diversas outras áreas. Os problemas vivenciados pelo condutor desses veículos se assemelham ao de operadores de maquinários pesados de mineração, terraplanagem, etc. Inovações e melhorias na construção de veículos baja representam um futuro melhor também para essas áreas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Volantes de Direção

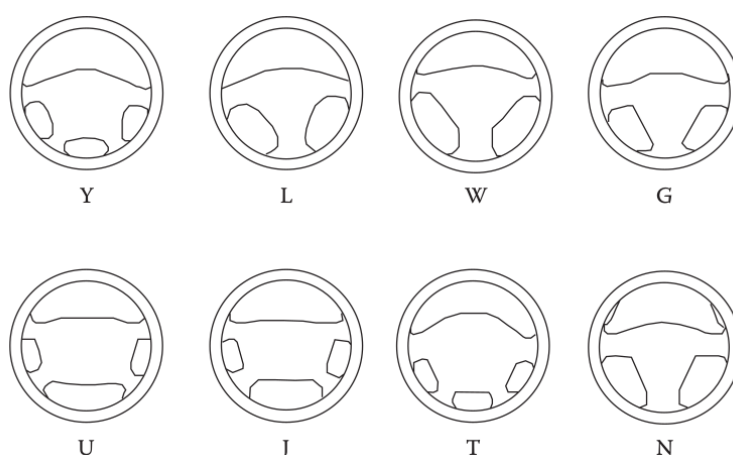
Um dos controles primários do automóvel é o volante. Os primeiros automóveis fabricados no século 19 eram direcionados por diversos tipos de controles, ao invés dos pedais e do volante. Como uma evolução natural das carruagens, tenderam a manter as mãos próximas às pernas e serem direcionadas por alavancas ou lemes (*tillers*) (MANSFIELD, 2013).

Os volantes utilizados atualmente foram desenvolvidos para aumentar o controle de veículos de corrida e começaram a ser introduzidos em veículos urbanos por volta de 1900. As mudanças nesse controle primário representaram uma evolução, causando o desaparecimento dos lemes à medida em que os requisitos de desempenho aumentaram e a combinação pedais/volante se mostrou superior (MANSFIELD, 2013).

Esse estabelecimento do volante como dispositivo de controle lateral do veículo foi em grande parte despercebido. Por outro lado, publicações e notícias a respeito de caixas de câmbios, turbo compressores e carrocerias foram e são bem comuns. Mesmo assim, o volante representa uma das principais interfaces com o condutor, tendo associadas a ele diversas variáveis primordiais na dirigibilidade do veículo, como a sua localização, ângulo, diâmetro e visibilidade através dele (BHISE, 2012).

Mesmo assim, Bhise (2012) afirma que o design dos volantes é um tema relativamente novo, que carece de estudos sistemáticos para o entendimento das variáveis que afetam sua percepção e conforto. Atualmente, isso é feito por meio das características técnicas do material, como a compressibilidade, dureza, coeficiente de atrito, acabamento superficial, textura ou cores. O autor relata um estudo realizado com oito modelos de volantes utilizados comercialmente quanto à percepção de uso. Os volantes avaliados podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 – Modelos de volante avaliados.



Fonte: Bhise (2012, p. 183).

Entre os aspectos analisados nesse estudo estão a percepção do aro e da região central do volante, incluindo dureza, aderência, dimensionamento e acabamento. Os resultados apontam que os volantes G e N foram considerados mais macios e, consequentemente, mais confortáveis. Estudos dessa natureza podem ajudar os fabricantes a determinar as características preferidas para um determinado mercado.

Por ser um dispositivo em contato constante com as mãos, o volante também é responsável por grande parte da percepção do condutor sobre o veículo. Folgas na direção, pneus furados, desbalanceados ou terreno acidentado transmitem sinais que, em grande parte, são percebidos através do contato com o volante.

As vibrações, por exemplo, demandam uma carga de trabalho maior ao condutor, uma vez que é necessário se adaptar ao ambiente físico a que estão expostos. Muitas vibrações são percebidas pelo condutor através do seu contato com o volante. Vibrações excessivas ou prolongadas são comumente associadas à reclamações de desconforto e fadiga (BHISE, 2012).

Quando se trata de competições com veículos tipo *baja*, o terreno é um dos principais fatores causadores de vibrações, muitas delas percebidas no volante. Além disso, as características construtivas do veículo podem influenciar a vibração e as forças exercidas pela mão no volante durante a direção.

Na interface das mãos com o volante, forças exercidas em pequenas áreas de contato podem causar elevadas pressões, acarretando diversos problemas. Com isso, a avaliação da pressão de contato pode ser entendida como uma variável de análise tanto da dirigibilidade do veículo (uma vez que os sistemas mecânicos influenciam a necessidade de aplicação de forças), como as de interface com o usuário e sua percepção (elevadas pressões estão associadas ao desconforto e até mesmo à dor).

2.2 Pressão de contato nas mãos

A mão humana é um dos principais sistemas biomecânicos do corpo humano. É através dela que se interage com a maior parte dos produtos de uso cotidiano. É capaz de realizar operações grosseiras, que exigem maiores esforços, e também precisas (KAPANDJI, 2000).

As lesões e distúrbios nas mãos estão associados à esforços acima dos funcionais, posturas extremas, vibrações e também pressões excessivas. As pressões excessivas impactam primeiramente na pele das mãos. Nesse caso há lesões superficiais, como as escoriações, ou mais profundas, como as vesículas (bolhas) causadas por calor, substâncias químicas ou meios mecânicos (WHITING; ZERNICKE, 2009).

As avaliações de distribuição de pressão estão ganhando espaço no mercado automotivo para otimização de componentes como assentos ou volantes (GARINEI; MARSILI, 2014). Além disso, há iniciativas para utilizar essa variável para verificar o estado de atenção do condutor (IMAMURA *et al.*, 2012). Os autores afirmam que o modo como o condutor segura o volante é um indicativo de suas intenções (ao fazer uma curva, por exemplo).

Garinei e Marsili (2014) realizaram um estudo sobre a distribuição de pressão entre as mãos e o volante em diferentes condições de direção de automóveis: em linha reta; durante mudanças de direção; e durante a frenagem. Para a avaliação foi utilizada uma matriz de sensores capacitivos fixados ao volante, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Avaliação de pressão de contato em um volante de automóvel.



Fonte: Garinei e Marsili (2014, p. 115).

Os resultados apontaram que, na direção em linha reta os valores de pressão ficaram em torno de 5kPa, concentrados principalmente no indicador e médio. Durante as mudanças de direção, a pressão aplicada chegou à 10kPa. Finalmente, durante a freada brusca ou aceleração rápida, a pressão alcançou o pico de 30kPa.

2.3 Projeto Baja SAE

A Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade (SAE - *Society of Automotive Engineers*) foi constituída em 1905 nos Estados Unidos. Lá também foi iniciado o projeto Baja SAE, com a primeira competição ocorrendo em 1976. No Brasil, a primeira competição nacional foi realizada no ano de 1995, em São Paulo/SP. A partir de 1997 a SAE Brasil passou a realizar eventos regionais em alguns estados da federação (SANTOS, 2015).

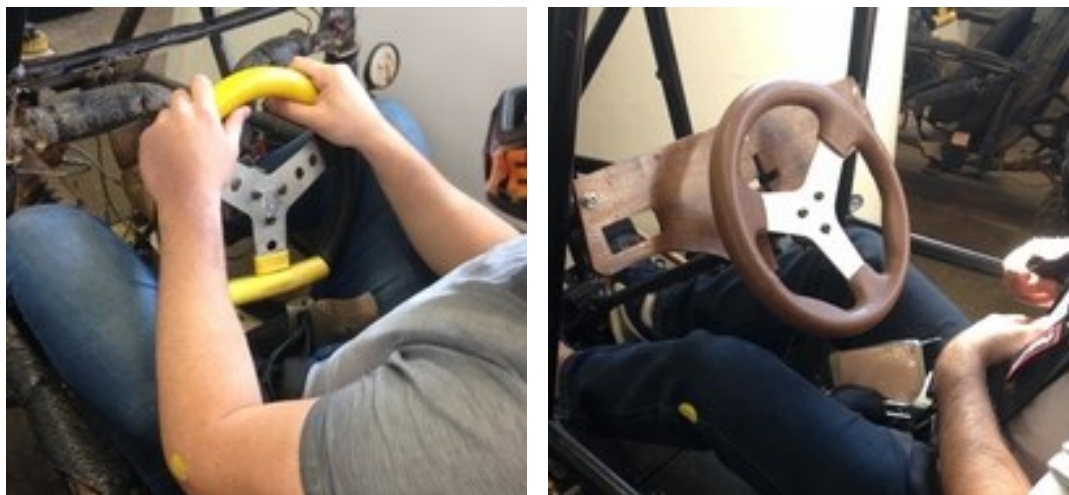
O evento inclui avaliações dos modelos competidores quanto aos quesitos de segurança, realizada por juizes de segurança credenciados. Além disso, são avaliados outros aspectos, como o conforto do condutor, esforços de pilotagem (volante, pedais e demais acionamentos), vibrações, dirigibilidade, etc. Todos esses aspectos compõem pontuação para a competição (SANTOS, 2015).

Em 2007 a equipe representante da UNESP, campus de Bauru passou a se chamar PAC Baja. Porém, a equipe participa de competições desde o ano de 1995, estreia da modalidade no país. No ano seguinte, a equipe da instituição sagrou-se terceira colocada na modalidade geral (PAC BAJA, 2015).

Atualmente a equipe está testando seu terceiro veículo, com modificações importantes na distância entre eixos, no sistema de suspensão, direção e freios. Com isso, tornou-se necessário avaliar o modelo novo para verificar as melhorias em relação ao anterior.

Cabe destacar que, embora os volantes tenham características similares em ambos os modelos, não se tratam do mesmo modelo. Ambos os volantes são fabricados em aço e acolchoados com elastômero de poliuretano, porém o modelo 2013 possui 300mm de diâmetro externo enquanto o modelo 2015 possui 330mm de diâmetro externo. A Figura 3 exibe os volantes utilizados nos veículos.

Figura 3 – Volantes dos veículos modelos 2013 e 2015, respectivamente.



Fonte: o autor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para esse estudo foram utilizados os dois últimos modelos de veículos baja produzidos pela equipe: o primeiro (A) construído em 2013 e o segundo (B) construído em 2015. A Figura 4 exibe os modelos avaliados.

Figura 4 – Veículos baja modelo 2013 (A) e modelo 2015 (B), respectivamente.



Fonte: o autor.

A avaliação de pressão de contato foi realizada com auxílio do *Sistema Grip Versatek Wireless* (Tekscan, CA/USA) acoplado a uma luva de tecido. O funcionamento e o processo de calibração desse sistema encontra-se descrito em Silva *et al.* (2015). Tal sistema inclui um par de sensores de pressão, que foram acoplados a um par de luvas de tecido, proporcionando um posicionamento adequado dos sensores nas mãos do sujeito.

Além disso, os sensores são conectados a braceletes, presos aos punhos do sujeito. Cada bracelete se conecta a uma unidade central (*datalogger*) por meio de cabos. Essa unidade se comunica com o laptop e o *Software Tekscan Research* por meio de conexão sem fio. O *laptop*, por sua vez, executa o software e registra os dados transmitidos pelo *datalogger*.

3.2 Casuística

Esse estudo contou com a participação voluntária de apenas um sujeito, o primeiro piloto da equipe PAC Baja - UNESP-Bauru. Trata-se de um homem, com idade de 21 anos, 1,75m de altura e 60kg sem histórico recente (até 12 meses) de sintomas musculoesqueléticos.

3.3 Procedimentos

O procedimento inicial consistiu na preparação do sistema, com a abertura do software e preparação para coleta de dados. O laptop foi inserido em uma mochila e afixado no teto do veículo por meio de cintas plásticas e fita adesiva. Em seguida, o sujeito já devidamente equipado com um macacão e demais equipamentos de segurança teve o cinturão acoplado em seu tórax, com o *datalogger* voltado para a parte anterior do corpo, de modo a permitir um apoio adequado às costas.

O sujeito calçou o par de luvas com sensores e, em seguida, teve os restritores de movimento do braço fixados. Esse dispositivo impede que o condutor mova seus braços para fora da gaiola de proteção durante um capotamento, prevenindo lesões mais graves. Os braceletes do sistema foram afixados na sequência, de modo a não serem danificados pelos restritores de movimento. A Figura 5 exhibe o detalhe das mãos e braços do condutor com o sistema montado.

Figura 5 – Detalhe do sistema montado nas mãos do condutor.



Fonte: o autor.

Com o sistema pronto para a coleta, o veículo foi levado ao ponto de largada. Uma vez que o laptop estava dentro da mochila, o início do registro se deu utilizando o botão “REC” do *datalogger*. Logo após o acionamento, o condutor recebeu o sinal para largada. A Figura 6 exibe o condutor durante o teste de pilotagem.

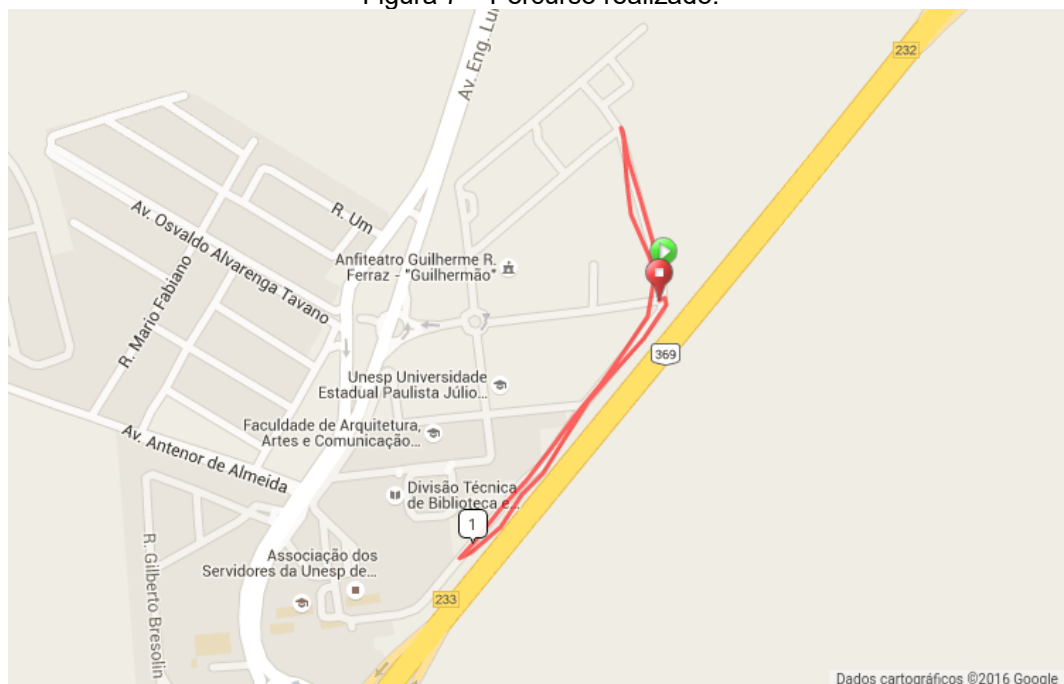
Figura 6 – Condutor durante a pilotagem do modelo 2015 (B).



Fonte: o autor.

O trajeto percorrido totalizou cerca de 1,6km. Após a largada, o veículo percorreu cerca de 250m até o ponto de retorno, realizando uma curva à esquerda. Logo em seguida, retornou pelo mesmo caminho e, no ponto de largada, realizou uma curva aberta à direita, percorrendo então mais cerca de 500m até o ponto de retorno, no qual realizou outra curva à esquerda, retornando no sentido contrário. A Figura 7 exibe percurso realizado plotado em um mapa.

Figura 7 – Percurso realizado.



Fonte: o autor.

O sistema só coletou dados de pressão concisos até o segundo retorno (marcado com o indicador de 1km na Figura 7). Talvez essa característica tenha ocorrido devido à turbulência causada pelo terreno acidentado.

Como a coleta foi realizada conjuntamente com outras avaliações dos veículos, após completar a volta com o modelo 2013, o condutor teve todo o equipamento removido (luvas, braceletes e *data logger*) e respondeu uma série de questionários relativos ao desconforto e diversos outros aspectos que serão tratados em outras ocasiões.

Nesse intervalo, houve a retirada da mochila e a gravação dos dados no *laptop*. A mochila com o *laptop* foi então afixada ao outro veículo e todos os procedimentos foram repetidos.

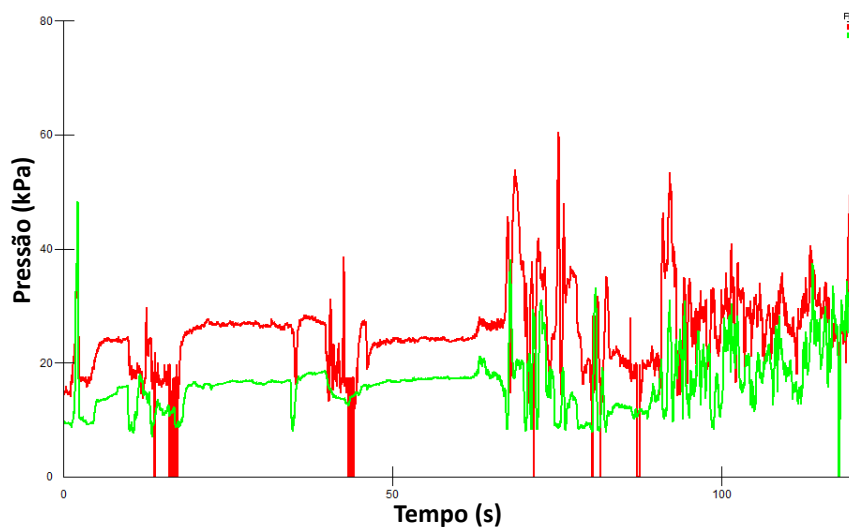
3.4 Análise dos Dados

Os dados foram visualizados e exportados por meio do *Research Software* fornecido com o sistema. Cada uma das 17 regiões sensíveis foram analisadas separadamente para cada mão e cada modelo de veículo. Em seguida, os dados foram exportados e tabulados em planilha eletrônica (LibreOffice 5.1) para análise com estatística descritiva. Foram calculados os valores médios de pressão de contato para todo o trajeto por região da mão.

4 RESULTADOS

Os resultados gerais apontam que a pressão total nas mãos durante o percurso com o modelo 2013 se manteve pouco acima de 20kPa na mão direita e pouco abaixo de 20kPa na mão esquerda. A Figura 8 exhibe a variação da pressão em toda a mão direita (linha vermelha) e esquerda (linha verde) durante o percurso realizado.

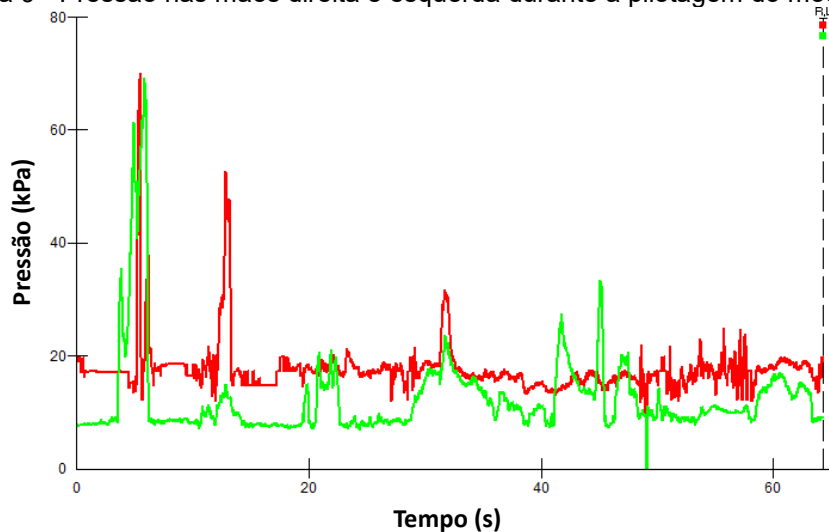
Figura 8 – Pressão nas mãos direita e esquerda durante a pilotagem do modelo 2013.



Fonte: o autor.

Para o modelo 2015, a pressão total nas mãos durante o percurso se manteve pouco abaixo de 20kPa na mão direita e em cerca de 10kPa na mão esquerda. A Figura 9 exibe a variação da pressão em toda a mão direita (linha vermelha) e esquerda (linha verde) durante o percurso realizado.

Figura 9 - Pressão nas mãos direita e esquerda durante a pilotagem do modelo 2015.

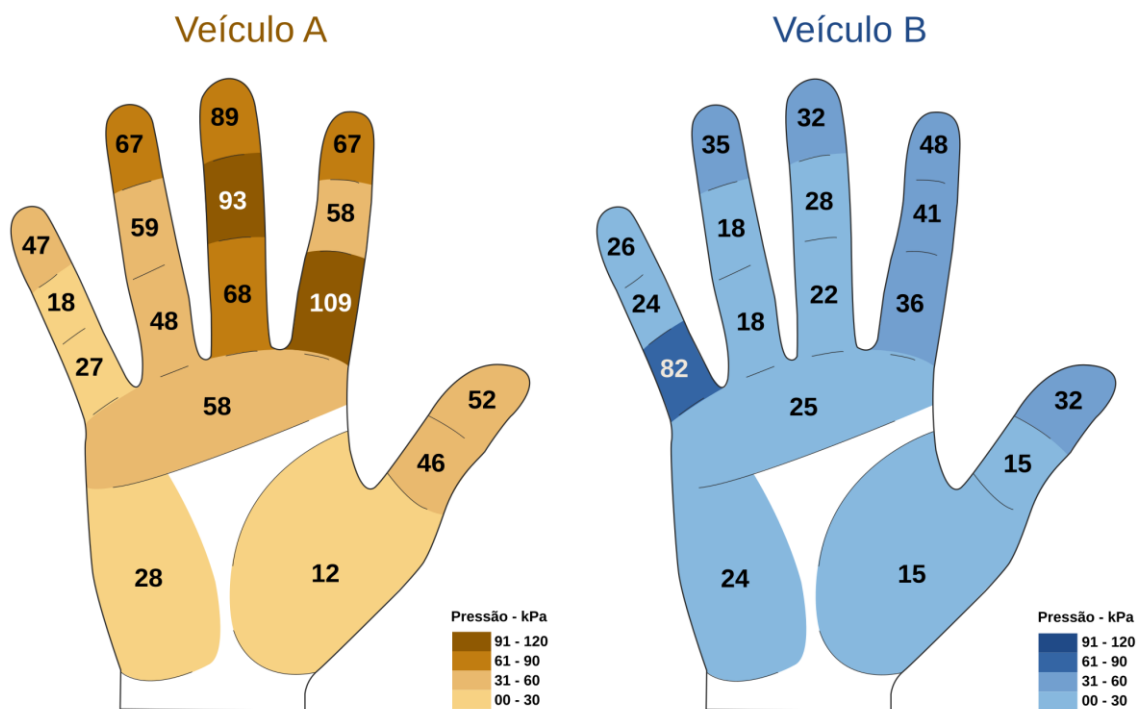


Fonte: o autor.

Quando as regiões da mão são analisadas isoladamente, os resultados apontam que os maiores níveis de pressão de contato com o veículo A se concentraram nos dedos indicador e médio, chegando a até 109kPa na região proximal do dedo indicador. As regiões proximal e distal do polegar, e também a distal do dedo anelar também apresentaram elevados níveis de pressão.

Para o veículo B os níveis de pressão são sutilmente maiores nos dedos indicador, médio e polegar. Porém, para esse veículo os níveis de pressão registrados foram sensivelmente menores que as do veículo A, chegando a 82kPa na região proximal do dedo anelar. A Figura 10 exibe a distribuição de pressão média, por região da mão direita, para os veículos A e B.

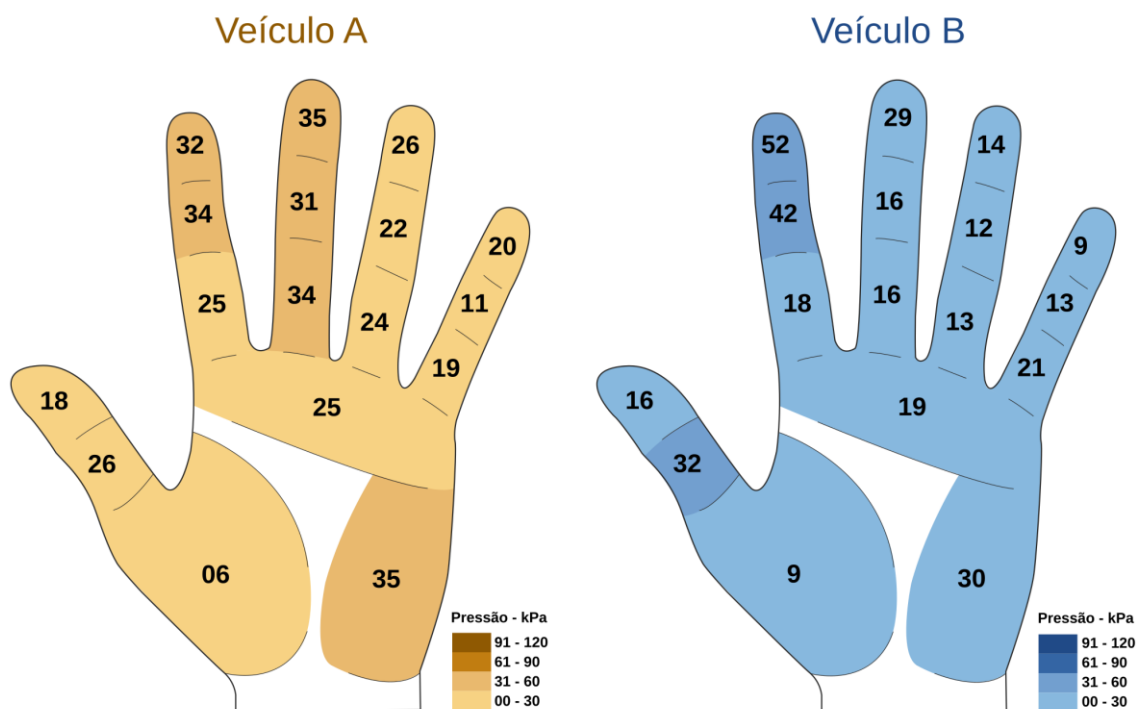
Figura 10 – Pressão de contato média em cada região da mão direita.



Fonte: o autor.

Quando são analisados os dados relativos à mão esquerda, percebe-se níveis de pressão geralmente menores, se comparados à mão direita. Os maiores níveis de pressão se encontram na região distal do dedo médio e hipotênar, para o veículo A (35kPa) e na região distal do dedo indicador para o veículo B (52kPa). A Figura 11 exibe a distribuição de pressão média, por região da mão esquerda, para os veículos A e B.

Figura 11 – Pressão de contato média em cada região da mão esquerda.



Fonte: o autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, os resultados indicam uma melhora sensível na distribuição e nos níveis de pressão nas mãos durante o percurso do veículo B (2015) em relação ao veículo A (2013). Porém, não é possível afirmar que a melhoria nos níveis de pressão de contato se deva exclusivamente ao modelo de volante utilizado nos veículos, pois diversos sistemas (direção, suspensão, freios, etc.) foram remodelados na nova versão.

Esses resultados apontam que as condições de dirigibilidade do veículo melhorou, uma vez que haverá menor solicitação das mãos durante o percurso. Estudos adicionais realizados simultaneamente podem apontar melhoras em outros aspectos, como o conforto, postura, atividade muscular e percepção estética.

Se comparados ao estudo de Garinei e Marsili (2014), percebe-se que a distribuição de pressão segue o mesmo padrão, sendo os dedos indicador e médio os mais solicitados. Já os níveis de pressão de contato durante a condução de veículos tipo *baja* parece ser bem maior, se comparados à veículos de passeio, estando em torno de 20kPa na maior parte do trajeto, enquanto que os autores relataram níveis em torno de 5kPa para situação normal de direção (linha reta).

Percebe-se aqui que a pressão também variou de acordo com o percurso, seja devido a aceleração, frenagem, curvas ou irregularidades no terreno. Garinei e Marsili (2014) também identificaram variações de pressão segundo a atividade realizada pelo condutor, sendo que durante as curvas os autores mencionam níveis em torno de 30kPa.

Adicionalmente, os resultados permitem identificar a carga biomecânica à qual o condutor está sujeito durante as três horas de duração da prova de resistência, ou “enduro”. Avaliar e melhorar as condições de dirigibilidade desses veículos pode ser um fator decisivo no desempenho obtido pela equipe.

6 AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Proc. 2013/24629-5) e CAPES.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHISE, V. D. **Ergonomics in the Automotive Design Process**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. v. 1

GARINEI, A.; MARSILI, R. Development of a new capacitive matrix for a steering wheel's pressure distribution measurement. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, n. 1, p. 114–119, 2014.

IMAMURA, T. *et al.* **Estimation for grasp behavior of vehicle driver by using steering wheel sensor system**. 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). **Anais...IEEE**, out. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6377950>>. Acesso em: 17 jan. 2014

KAPANDJI, I. A. **Fisiologia articular**. 5. ed. São Paulo: Editorial Médica Panamericana, 2000. v. 1

MANSFIELD, N. J. Human Response to Vehicle Vibration. In: GKIKAS, N. (Ed.). **Automotive Ergonomics: Driver-vehicle interaction**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. v. 1.

MEDEIROS, C. R. P. X. **Avaliação do Cockpit de Veículos Automotores do Transporte de Carga: Método Apoiado na Ergonomia e na Usabilidade**. Monografia (Pós Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_029.pdf> - Acesso em 10 jul. 2015.

PAC BAJA (São Paulo). **PAC Baja: História**. 2015. Disponível em: <<http://pacbaja.wordpress.com/about>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

SANTOS, A. B. **Estudo Ergonômico do do veículo Baja do Centro Universitário UNIVATES**. Monografia (Graduação) – Engenharia de Produção, Centro Universitário Univates, Lajeado/RS 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1000>>. Acesso em 10 jul. 2015.

SILVA, D. C. *et al.* **Mapeamento de pressão na interface mão-objeto: calibração de sensores Grip Versatek**. 4 Conferência Internacional de Design, Engenharia e Gestão para a Inovação. **Anais...** Florianópolis: 2015.

TANABE, A. Y. **Ergonomia no Processo de Desenvolvimento do Automóvel**. Monografia (Graduação) – Engenharia de Produção, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2014/09/TF-versao-final.pdf>> - Acesso em 10 jul. 2015.

WHITING, W. C.; ZERNICKE, R. F. **Biomecânica funcional e das lesões musculoesqueléticas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.