Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
06 a 10 de Novembro de 2022 | Águas de Lindóia – SP – Brasil

ANÁLISE DA PERFORMANCE DE CAPACETES PARA MOTOCICLISTAS: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA EM ENSAIOS DE IMPACTO

Leonardo F. Linhares[1*], Edilvando P. Eufrazio[1], Fábio S. Oliveira[1]e Felipe C. Amorim[2]

1 – Divisão de Engenharia e Conformidade de Produtos, Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Rio de Janeiro, RJ.
2 - Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC), Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET), Rio de Janeiro, RJ.
leonardo.linhares@int.gov.br

RESUMO

Capacetes para condutores de motocicletas constituem-se em um elemento essencial na proteção à vida em caso de impactos e ainda como um fator de mitigar possíveis lesões cerebrais. Dentre os diversos materiais que compõe o capacete destaca-se a calota interna do capacete, usualmente composta de uma única camada de EPS ou uma composição de diferentes densidades deste material. Diante disso, o EPS é uma parte sensível e importante no desempenho de uma das principais funções do capacete que é a absorção de impacto. Sendo assim, o trabalho traz uma comparação de resultados de ensaios de impacto em diferentes modelos e condicionamentos, tendo como questão de pesquisa identificar a influência da temperatura na absorção de impacto. De forma a entender o mecanismo da dissipação de energia proveniente de um impacto no capacete e investigar a relação de entre temperatura e resistência mecânica. Desta feita, os capacetes foram submetidos aos ensaios de impacto, conforme a norma ABNT NBR 7471/2015, em diferentes gradientes de temperatura. Após a tomada de dados realizou-se uma análise dos resultados por meio de uma análise não paramétrica por meio do teste H de Kruskal-Wallis em substituição a uma ANOVA. Como destaque-se tem que os resultados medianos de impacto sofrem influência em função da temperatura, evidenciando dispersões e a influência da temperatura nas propriedades mecânicas do capacete. O artigo evidencia as implicações da energia de impacto na cabeça do usuário e o mecanismo de proteção dos capacetes sobre essas solicitações. Foi constatado que, à medida que a temperatura de condicionamento varia, os resultados de impacto aumentam, implicando numa maior energia de impacto transmitida a cabeça do usuário, evidenciando que a temperatura é relevante na determinação da absorção da energia de impacto. Ainda como principais conclusões, tem-se que uma vez identificado que a temperatura exerce alguma influência do ponto de vista das propriedades mecânicas do capacete e consequentemente de sua potencial absorção de impacto é possível que estudo futuros apontem uma otimização em função de materiais que seja menos influenciados pelo fator temperatura e ainda identificar qual a implicação da diferenciação mediana da absorção de impacto em possíveis lesões cerebrais segundo o Head Injury Criterian (HIC).

Palavras-chave: *Capacete, Ensaio mecânico, Kruskall-Wallis, EPS.*

INTRODUÇÃO

Dentre os equipamentos de segurança para motociclistas, o capacete é considerado como o principal deles. O capacete é responsável pela segurança do usuário de forma a minimizar os danos no caso de um possível acidente e a ausência deste equipamento de proteção pode acarretar danos irreversíveis ao ser humano.
O capacete é constituído de diferentes tipos de materiais com o objetivo de se construir algo durável e que forneça a segurança necessária para se pilotar uma motocicleta. Os processos de controle de qualidade e homologação deste tipo de produto é muito bem estruturado e sempre visando a manutenção da integridade do usuário.
O objetivo do trabalho foi promover uma comparação entre as propriedades mecânicas de um modelo de capacete para motociclistas testado, a performance dentro do modelo considerando suas variações de temperatura e de tamanho e estabelecer a comparação entre os resultados considerando tamanhos e pontos de impacto definidos. A análise dos dados se dará mediante a demonstração gráfica de resultados e possibilitará relacionar o desempenho dos capacetes submetidos aos ensaios de impacto e sua eficiência em promover proteção dos usuários em caso de um acidente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A norma brasileira ABNT NBR 7471:2015[(1)], define os ensaios e metodologias que um capacete para motociclista deverá ser submetido para avaliação do seu desempenho como equipamento de segurança. Em todos os ensaios são determinados os parâmetros para atestar a conformidade, bem como o procedimento de execução dos ensaios.

Para este estudo, foram utilizados capacete para motociclistas de uma mesma marca e mesmo modelo, todos com o mesmo material de casco (ABS). O modelo era composto de uma amostra de 3 tamanhos distintos, a saber: 56, 60 e 61 cm. A fim de descaracterizar as informações dos capacetes, foi adotado a identificação de modelo A.
Foram testados ao todo 150 capacetes e distribuídos da seguinte forma:

- 30 capacetes em baixa temperatura de (-20±2) ºC, sendo 10 capacetes de cada tamanho e todos submetidos à mesma temperatura.
- 30 capacetes em condições ambientais de (25±2) ºC, sendo 10 capacetes de cada tamanho e todos submetidos à mesma temperatura.
- 30 capacetes em alta temperatura de (25±2) ºC, sendo 10 capacetes de cada tamanho e todos submetidos à mesma temperatura.
- 30 capacetes em alta temperatura extrapolada de (75±2) ºC, sendo 10 capacetes de cada tamanho e todos submetidos à mesma temperatura.
- 30 capacetes expostos ao condicionamento de umidade (1±0,1) l/min, sendo 10 capacetes de cada tamanho e todos submetidos à mesma temperatura.

Por limitações da estrutura laboratorial, não foi possível promover a extrapolação da baixa temperatura (-20 ± 2) °C, para a realização de testes de impacto. O controle de temperatura dos condicionamentos de todos os ensaios se deu através de equipamentos calibrados por laboratórios pertencentes a Rede Brasileira de Calibração (RBC).

Métodos

Segundo a ABNT NBR 7471:2015[1], os capacetes devem ser submetidos a diferentes condicionamentos para a realização dos ensaios de impacto. Os condicionamentos em que os capacetes devem ser submetidos para a realização dos ensaios são:

- Alta temperatura: O capacete deve ser exposto a uma temperatura de (50 ± 2) °C, por um período de 4 h a 12 h;
- Baixa temperatura: O capacete deve ser exposto a uma temperatura de (-20 ± 2) °C, por um período de 4 h a 12 h;
- Umidade: A superfície externa do casco deve ser exposta à pulverização com água, em temperatura ambiente, durante 4 h a 12 h, a uma vazão de (1,0 ± 0,1) L/min;

Visto que temos parâmetros de temperatura definidos e para manter uma linearidade na realização e avaliação dos resultados de ensaios de impacto, adotou-se a temperatura ambiente de 25 ºC, e temperatura de 75 ºC, como a extrapolação da alta temperatura. Logo, os condicionamentos em que os capacetes devem ser submetidos para a realização dos ensaios de impacto fora dos parâmetros de norma, são:

- Alta temperatura extrapolada: O capacete deve ser exposto a uma temperatura de (75 ± 2) °C, por um período de 4 h a 12 h;
- Temperatura ambiente: O capacete deve ser exposto a uma temperatura de (25 ± 2) °C, por um período de 4 h a 12 h, no ambiente do laboratório.

A justificativa de se extrapolar a alta temperatura neste trabalho, visa estudar o comportamento dos materiais que compõem o capacete em condições mais severas e demostrar qual seria o limite para a absorção de impacto do produto nessas condições.

Segundo a ABNT NBR 7471: 2015[1], cada capacete deve sofrer quatro ou seis impactos em duas ou três regiões distintas do casco, e através da Figura 1, se pode visualizar as regiões (a) frontal, (b) lateral e (c) topo, que são impactadas durante os ensaios e definidas a seguir:

a) na região frontal, nos pontos B e B1, situados no plano vertical longitudinal de simetria do capacete, acima do ponto B, e distantes entre si (15 ± 5) mm;

b) na região lateral, nos pontos X e X1, distando X1 de (60 ± 5) mm, medido a 45° para trás e para cima em relação a X;

c) P e P1, vizinho a P, para cima de um plano paralelo ao plano de base e passante pelo ponto A, distantes entre si (15 ± 5) mm, distantes dos outros pontos de impacto no mínimo 100 mm e distantes de qualquer borda no mínimo 60 mm.

Figura 1. Pontos de impacto definidos por região (Adaptado de De Sousa *et. al*, 2012)[2].

Visando atingir o objetivo proposto, fez-se uma avaliação paramétrica para verificar se há diferença estatisticamente significativa entre o valor mediano considerando as comparações paritárias conforme os testes de hipóteses propostos na sequência.

Para tal abordagem o mais natural seria o uso de um teste F com uma abordagem de análise de variância de 1 fator, porém não havendo o pareamento das amostras e ainda o pressuposto de normalidade sendo violado (BOX, 1953)[3], optou-se por uma abordagem não paramétrica. Utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis[4] que é utilizado na comparação de três ou mais amostras independentes. Ele indica se há diferença entre pelo menos duas destas amostras (KRUSKAL e WALLIS, 1952). A aplicação do teste utiliza os valores numéricos transformados em postos e agrupados num só conjunto de dados. A comparação dos grupos é realizada por meio da média dos postos (posto médio)

Para o cálculo da estatística de teste é utilizada abordagem através da equação (A):

$$H = (N-1)\frac{\sum_{i=1}^{g} n_i\,(\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{n_i} n_i(\bar{r}_i - \bar{r})^2} \quad (A)$$

Onde,

n_i *é o número de observações do grupo* i*;*

r_{ij} *é a classificação da observação* j *no grupo* i*;*

$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i}$ *é a classificação média de todas as observações do grupo* i*.*

$\bar{r} = \frac{1}{2}(N+1)$ *é a média de todos os* $\bar{r}_{ij}$*.*

Tendo o teste o seguinte p-valor: $P(\chi^2_{g-1} \geq H)$.

Para avaliar os diferentes tamanhos de capacetes, pontos de impacto e condicionamentos, formulou-se as seguintes hipóteses:

H_0: Comparativo dos valores medianos de absorção da energia de impacto dentro de um mesmo modelo considerando um mesmo tamanho, em diferentes condicionamentos e diferentes pontos de impacto;

H_1: Comparativo dos valores medianos de absorção da energia de impacto dentro de um mesmo modelo considerando um mesmo ponto de impacto, em diferentes condicionamentos e diferentes tamanhos;

H_2: Comparativo dos valores medianos de absorção da energia de impacto dentro de um mesmo modelo considerando um mesmo condicionamento, em diferentes tamanhos e diferentes pontos de impacto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores medianos dos ensaios de impactos realizados nos capacetes foram utilizados na construção de uma base de dados para que se testasse a hipótese de igualdade das medianas dos valores de absorção de impacto. A quantidade de corpos de prova foi considerada o suficiente para que se pudesse modelar de forma estatística o comportamento do produto mediante os ensaios. Pequenas dispersões de resultados médios de aceleração ocorreram à medida que as variações de tamanho, ponto de impacto e temperatura foram sendo exploradas no trabalho. Essas dispersões caracterizam a particularidade do produto, que, por se tratar de materiais.

```
> kruskal.test(dados_56)

        Kruskal-Wallis rank sum test

data:  dados_56
Kruskal-Wallis chi-squared = 99.719, df = 13, p-value = 1.881e-15

> kruskal.test(dados_60)

        Kruskal-Wallis rank sum test

data:  dados_60
Kruskal-Wallis chi-squared = 72.287, df = 13, p-value = 3.036e-10

> kruskal.test(dados_61)

        Kruskal-Wallis rank sum test

data:  dados_61
Kruskal-Wallis chi-squared = 97.44, df = 13, p-value = 5.189e-15
```

Figura 2. Teste de hipótese para mediana da absorção da energia de impacto.

A figura 2 traz os resultados para o teste de Kruskal-Wallis para cada conjunto de dados considerando os diferentes tamanhos e condicionamentos. Pela análise do p-valor percebe-se que ao nível de significância de 5% rejeita-se a hipótese nula (H_0). Desta feita, é possível perceber que há evidências estatísticas que corroboram uma diferente absorção de impacto em função de diferentes tamanhos e condicionamentos.

CONCLUSÕES

Os materiais que compõe o capacete, de forma clara e evidente, sofreram alterações em sua estrutura mediante às temperaturas que foram expostos para a realização dos ensaios de impacto. Os resultados de ensaio possibilitaram a construção de uma curva de comportamento do produto em diferentes condições, promovendo a análise com variações de tamanho, ponto de impacto e temperatura.

A norma brasileira, ABNT NBR 7471:2015[(1)], para os ensaios de impacto, determina um valor limite de aceleração linear máxima, ao qual é aceitável para que não haja lesão a cabeça do usuário em caso de impacto. O modelo de capacete estudado foi capaz, mesmo com a extrapolação de alta temperatura, atender ao requisito de 300 g de máxima aceleração, o que impediria uma lesão ao condutor.

Conclui-se que, por mais que haja variações de temperatura de exposição dos capacetes, o modelo objeto deste trabalho cumpriu sua principal função de proteção. Porém o estudo aponta que há uma diferença estatística da abosorção de impacto considerando os diferentes tamanhos e faixas de temperatura. No modelo em questão apesar da variação da mediana de absorção de impacto, o produto ensaiado respondeu bem à solicitação que ultrapassem os limites normativos, e obviamente, respeitando os limites de resistência dos materiais envolvidos, em suas temperaturas máximas de utilização.
Como trabalhos futuros os autores sugerem uma maior exploração e detalhamento das hipóteses e ainda o acréscimo de novos modelos ao estudo para avaliar o comportamento de diferentes marcas e materiais.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7471. Veículos rodoviários automotores - Capacete e viseiras para condutores e passageiros de motocicletas e veículos similares - Requisitos de desempenho e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2015.
2. De Sousa, R. A.; Gonçalves, D.; Coelho, R.; Teixeira-Dias, F. Assessing the Effectiveness of a Natural Cellular Material Used as Safety Padding Material in Motorcycle Helmets. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 2012.
3. BOX, G. E. P. NON-NORMALITY AND TESTS ON VARIANCES. Biometrika, v. 40, n. 3–4, p. 318–335, 1 Dez 1953.
4. KRUSKAL, William H. e WALLIS, W. Allen. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. Journal of the American Statistical Association, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF HELMETS FOR MOTORCYCLISTS: INFLUENCE OF TEMPERATURE IN IMPACT TESTS

ABSTRACT

Helmets for motorcycle riders are an essential element in protecting life in the event of impacts and also as a possible support mitigation factor. Among the different materials that make up the helmet, the inner shell of the helmet stands out, usually composed of a single layer of EPS or a composition of different densities of this material. Furthermore, the EPS is a sensitive and important part in the performance of one of the main functions of the helmet, which is shock absorption. Therefore, the work brings a comparison of test results and different tests, having as a matter of study the influence of temperature on impact absorption. In order to understand the energy dissipation mechanism from an impact on the helmet and investigate the relationship between temperature and mechanical resistance. This time, the helmets were selected for impact tests, according to the ABNT NBR 7471/2015 standard, in different temperature gradients. After taking the data, an analysis of the results was carried out through a parametric analysis through hypotheses. How the average impact results have an influence on the temperature function, on the influence of temperature on the helmet's characteristic properties. It is evidenced as implications of the impact energy on the users' heads and the users' protection mechanism on the requests. It was found that, as the conditioning temperature varies, the impact results increase, implying greater impact energy on the user's head, evidencing that temperature is relevant in determining the absorption of impact energy; Even as greater capacity, once identified from the point of view of the mechanical properties of the force point and consequently its potential to influence large capacity, it is possible that studies point to an optimization in some possible materials The temperature factor and identification still has the implication of impact absorption media in techniques designed according to the Head Injury Criter (HIC).

Keywords: *Helmet, Mechanical test, EPS.*